

シカ害のある流域における土壌の性質と渓流水質

東, 直子

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

智和, 正明

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

熊谷, 朝臣

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

大槻, 恭一

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

<https://doi.org/10.15017/15055>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 89, pp.29-38, 2008-03. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

論文

シカ害のある流域における土壌の性質と渓流水質*

東 直子**・智和正明**・熊谷朝臣**・大槻恭一**

抄 録

本研究では、九州大学農学部附属宮崎演習林内の、シカによる下層植生の食害がある流域における土壌の理化学性と渓流水質について現状を報告する。シカによる下層植生の食害のあるB流域と、シカ害が有り将来的にシカ防除柵による対策を予定しているC流域において不攪乱土壌を採取し、乾燥密度、間隙率、飽和体積含水率、飽和透水性係数といった土壌の物理性を測定した。また、土壌の化学性として土壌pHおよびECを測定した。B流域の方がC流域と比較して土壌の間隙率と土壌ECが高く、植物が水分・養分を利用しやすい土壌であることが示唆された。また、C流域のとくに斜面下部に砂礫が多く堆積していた。シカ害の無いA流域も含め3流域での渓流水質の比較を行ったところ、現段階ではシカ害による林床の状態の違いが渓流水質に顕著な差を生じさせてはいないことが明らかとなった。

キーワード：シカ害，下層植生，土壌の理化学性，渓流水質

*HIGASHI, N., CHIWA, M., KUMAGAI, T. and OTSUKI, K.: Soil and stream water characteristics of three small basins in Hirono, Shiiba Reserch Forest, Kyushu, Japan —underground vegetation damaged by deer—

**九州大学大学院農学研究科森林資源科学部門森林生態圏管理学講座

**Division of Forest Ecosphere Science and Management, Department of Forest and Forest Products Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Sasaguri, Fukuoka, 811-2415

1. はじめに

森林は降水が一度に河川に流出して急激に増水するのを抑制し(洪水調節), 降水を時間をかけてゆっくりと河川に流出させる(湧水緩和)働きを持つと言われている(有光 1987). このような森林の水源涵養機能は, 団粒が発達して孔隙に富み, 細～粗の様々な大きさの孔隙が存在することで, 透水性や保水性が高くなっている森林土壌において発揮されてきた機能である. しかし, 森林伐採などの人為的影響により, 土壌の透水性や保水性が低下するという土壌表層部の物理性の変化が報告され(荒木ら, 2002; 伊藤ら, 2002; 小野, 2001; 2005; 八木, 1997), 洪水時流出量の増加や湧水時流出水の減少を招くことが懸念される. 適切に管理されずに放置され, 荒廃した人工林の面積割合が年々増加するなかで, 森林のもつ水源涵養機能の評価が必要となっており(恩田, 2004), 森林の種類や手入れの仕方による土壌の変化が山地流域の流出現象にどのような影響を及ぼすのか, また, 水源涵養機能がいかに変化するのかを明らかにすることが求められている.

林床が裸地化することにより土壌表面が露出し, 雨粒が直接地肌をたたく. その衝撃で土壌団粒が破壊され, 土壌の細粒粒子によって形成された土壌クラストが土壌表面の透水性を低下させ, 表面流出や土壌侵食を発生させる(恩田, 2004). このような表面流出や土壌侵食は, 樹冠が鬱閉して下層植生が減少した管理放棄ヒノキ人工林で多く報告されているが(恩田, 2007; 辻村ら, 2006; 湯川・恩田, 1995), 土壌の透水性や保水性の低下を起因する林床の裸地化は, それ以外の森林においても発生し得る.

本研究の対象である九州大学農学部附属宮崎演習林の広野流域は, シカによる下層植生の食害によって, 林床の裸地化が進行している流域である. シカ害によって下層植生が乏しく, 樹木の生長も不良になっており, 今後, 土壌の物理的特性の変化に伴う流域からの流出水量・流出水質の変化が生じると予想される. このような流域の林床の状態変化が下流環境にどのような影響を与えるのかを明らかにすることは, 今後のシカ害対策を検討するうえでも必要不可欠である. そこで, 広野流域においてシカ害が無く下層植生の豊富な流域, シカ害の有る下層植生に乏しい流域, シカ害が有り将来的にシカ防除柵による対策を予定している流域を選出し, この3流域に2006年12月に量水堰を設置し, 水文気象要素の観測を開始した. 本研究では, シカ害の有る2流域における土壌の理化学性について報告する. 下層植生に乏しい土壌の性質が今後どのように変化していくのかを考察するために, まずは現在の状態を把握しておく. また, シカ害の無い流域を含めた3流域の渓流水質のモニタリング結果を報告し, 下層植生や土壌の差異が流出する渓流水の水質にどのような影響を及ぼしているのかについて考察した.

2. 試験地および測定方法

2.1. 試験地概要

本研究は宮崎県椎葉村にある九州大学農学部附属宮崎演習林29林班(32° 22' N, 131° 09' E)にある広野流域を対象として行った. この地域の年降水量は3500 mm, 年平均気温は13.6℃であり, 台風にとまなう激しい降雨が年に数回記録される. 白亜紀の堆積岩である砂岩, 頁岩, さらには緑色岩や千枚岩が分布する流域である(田中・岩松, 1993).

シカ害が無く下層植生の豊富な流域(A流域)は10 ha, シカ害の有る下層植生に乏しい流域(B, C流域)は各3 haであり, 隣接して存在する各流域からの流出水は大藪川に流入する. C流域は将来的にシカ防除柵による対策を予定している. 各流域は落葉広葉樹・常緑針葉樹混交林であり, ブナ, 落葉ナラ属, アセビ, ミズメ, モミ, ツガ, スギなどがある. しかし, BおよびC流域にはアセビやススキがわずかに存在するのみで, 高木は少ない. なお, 本流域を含む試験地についてはHaga et al. (2002)に詳述されている.

2.2. 土壌の性質

土壌の性質についての調査および試料採取は2007年5月末に行った. B, C流域で各1斜面を選定し, 斜面上部, 中部, 下部のそれぞれの地点で, 土壌表層0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cmの各層から100 ml円筒試料を3個ずつ, すなわち, 1-流域で計27個の不攪乱土壌サンプルを採取した(中野ら, 1995). また, 各部位で深度別に攪乱土壌を0.5-1 kg採取した.

土壌採取時に0 cm, 10 cm, 20 cm深において山中式硬度計を用いて土壌硬度を5回計測し, その平均値を示した. 中野ら(1995)を参考とし, 100 mL円筒に採取した不攪乱土壌サンプルを, 乾燥密度, 間隙率, 飽和透水係数の測定に供した. 飽和透水係数の測定は変水位法で行った. 攪乱土壌は実験室内にて風乾させたのち, 土壌pH, ECの測定に供した. 各層の土壌のpH(H₂O)(風乾土:H₂O=1:2.5)はガラス電極法(pHメータF-21, HORIBA), EC(風乾土:H₂O=1:5)はECメータ(CM-60V, TOA)で測定した.

2.3. 渓流水質

2006年10月より, A・B・Cの各流域の量水堰上流において隔週で渓流水の採取を行っている. あらかじめ1M-HClで洗浄した500 mLのフッ素加工ポリエチレン容器に採水後, 冷蔵保存の状態を試料を福岡へ輸送し, 実験室においてろ過処理を行った. ろ過には450℃で3時間熱処理したガラス繊維濾紙(Whatman GF/F, 孔径0.7 μm)を用いた. ろ過済みの試料はPFA製容器で冷凍保存しておき, 溶存有機態炭素(DOC)濃度を全有機炭素計(TOC-VCSH, Shimadzu・TOC-sievers900, セントラル科学)で測定した. また, 浮遊物質(Suspended Solution; SS)量を算出するため, ガラス繊維濾紙(Whatman GF/C, 孔径1.2 μm)を用いたろ過を行い, ろ過前後のフィルター重量を計量した. 未ろ過の試料を用いてpHおよびECの測定を行った. また, メンブレンフィルター(GLサイエンス-25A, 孔径0.45 μm)でろ過した試料で主要イオン濃度をイオンクロマトグラフ(DX-120, DIONEX)で測定した(智和ら, 2007). なお, 渓流水中のDOCと硝酸態窒素はともに森林内の土壌有機物が起源となっているため, 両者の間には密接な関係があるとする仮説があり(大手ら, 2006), 本研究では主要イオンのうち硝酸態窒素濃度の結果のみを示した.

3. 結果および考察

3.1. シカ害のある2流域における土壌の物理性

シカ害のために下層植生に乏しいB, C流域の土壌の物理性を, 各地点3サンプルの平均値で表1に示した. 一般的な土壌の乾燥密度は1.0 g cm⁻³であるといわれていることから,

B, C両流域の乾燥密度は小さく, 関東ローム土の 0.55 g cm^{-3} (中野1991)と同程度であった. とくに, 植物根が多く存在したB流域の斜面中部で小さい. 乾燥密度は有機物を多く含む土壌で小さくなるため, B流域の乾燥密度の小ささは, 根量の多さを反映したものと推察された. 対照的に, C流域の斜面下部で土壌の乾燥密度は 1.0 g cm^{-3} より大きい値であった. C流域の下部では植生がほとんど見られず, 植物根が存在するのは10 cm以深の層であり, また, 砂礫が多く堆積しているため, C流域下部は他よりも乾燥密度が大きいと考えられた.

表1 シカ害のある2流域における斜面部位・深度別の土壌の物理性

Table 1 Physical properties of soil in two watersheds damaged by deer.

流域	部位	深度	乾燥密度 g cm^{-3}	間隙率 %	飽和体積含水率 %	飽和透水係数 cm s^{-1}
B	下部	0-10cm	0.58	67.8	51.7	4.87×10^{-3}
		10-20cm	0.60	64.7	56.6	4.94×10^{-4}
		20-30cm	0.58	67.7	58.3	1.19×10^{-3}
	中部	0-10cm	0.49	63.7	53.3	1.07×10^{-2}
		10-20cm	0.32	80.3	70.0	2.70×10^{-3}
		20-30cm	0.27	81.0	71.0	6.07×10^{-3}
	上部	0-10cm	0.51	69.7	52.5	3.72×10^{-3}
		10-20cm	0.60	54.5	39.3	4.33×10^{-3}
		20-30cm	0.47	66.7	46.7	1.22×10^{-2}
C	下部	0-10cm	1.05	49.1	27.9	4.59×10^{-2}
		10-20cm	1.34	43.8	28.8	7.35×10^{-3}
		20-30cm	1.02	51.0	26.0	1.39×10^{-1}
	中部	0-10cm	0.64	62.6	38.7	2.71×10^{-2}
		10-20cm	0.61	66.8	42.6	1.60×10^{-2}
		20-30cm	0.68	66.5	42.7	2.05×10^{-2}
	上部	0-10cm	0.61	64.3	31.8	2.14×10^{-2}
		10-20cm	0.61	63.8	33.6	2.57×10^{-2}
		20-30cm	0.73	56.1	33.7	1.78×10^{-2}

間隙率はB, C流域ともに斜面中部10 cm以深で高い値を示した. 根も多く存在しており, 植物が利用可能な水分が豊富に存在する層であることが示唆された. 地質, 母材, 植生などによって森林土壌の間隙率は様々であるが, 50~88%の報告があり(有光, 1987; 久馬, 1997; 窪田ら, 1983; 大手ら, 1989), およそ60%というB, C流域の間隙率は, 森

林土壌においては低めの値であると考えられた。皆伐や複層林の上木伐採によって土壌中の間隙率が減少し透水性が低下することが報告されており(荒木・有光, 1984; 1985; 荒木ら, 2002), 下層植生の減少に伴って両流域での間隙率が減少している可能性がある。また, 森林伐採の前後で土壌中の全間隙量は変化しない場合でも, 粗孔隙が減って細孔隙が増加し透水性が低下することから(有光, 1987), 今後はB, C流域の間隙率だけでなく, 粗・細孔隙の比率の変化も注視していく必要がある。

飽和時の体積含水率はB流域斜面中部の10 cm以深で70 %と高い値を示した。一方, C流域の斜面下部では30 %以下と低い値を示し, 乾燥密度の高さや間隙率の低さと同様, この地点の土壌は砂礫を多く含むことを示唆する結果であった。

B流域の飽和透水係数はC流域のそれと比べて1オーダー小さく, シルト質～砂質土壌(中野ら, 1995)と同程度であり, C流域の透水性はB流域よりも高く, 細砂～砂質土壌(中野ら, 1995)と同程度であった。また, 土壌硬度の測定結果から(図1), C流域よりもB流域で土壌硬度が高く透水性がやや低めであることが示唆された。B流域は各斜面部位の表層0-10 cm深で土壌硬度が低いのに対し, C流域では10-20 cm深の層で土壌硬度が低くなっていた。畑作物の根の伸長抑制が顕著になる土壌硬度は, 山中式硬度計で18 mmであると言われているが(久馬, 1997), 両流域ともその硬度には達していない。

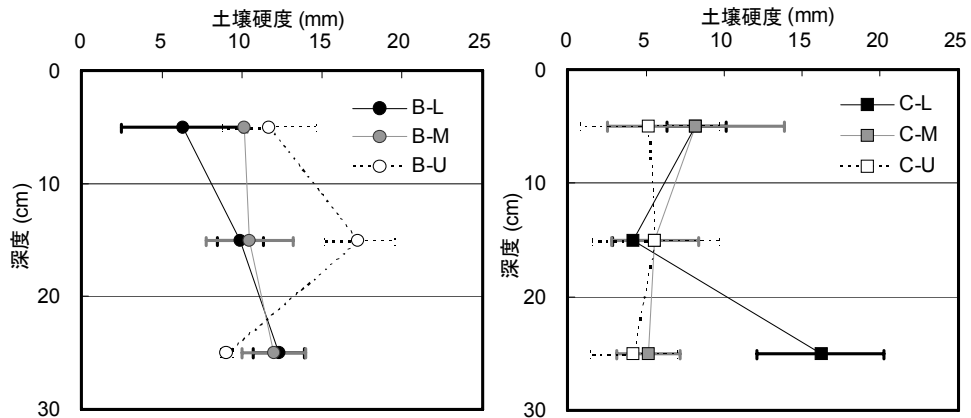


Fig. 1 Soil hardness in two watersheds. (L, M, U indicates lower, middle, upper parts of each slope. Horizontal bars represent standard deviation.)

図1 B,C流域における深度別の土壌硬度(L, M, Uはそれぞれ斜面下部, 中部, 上部. エラーバーは標準偏差)

3.2. シカ害のある2流域における土壌の化学性

各部位で深度別に採取した攪乱土壌を用いて測定した, 土壌pHおよびEC(水抽出)の結果を3サンプルの測定平均値で図2に示す。pHは両流域ともに5.0以下と酸性を示し, 乾性～弱乾性褐色森林土壌のpH(市川ら, 2002; 久馬, 1997)と同程度であることが明らかとなった(図2-a)。降水量が蒸発散量を上回る気候下では土壌はしだいに酸性化するため(久馬, 1997), 年間降水量が多い本研究流域においても, 特に表層で土壌pHが低くなっていると考えられた。土壌ECの値はB流域の斜面中部で高かった(図2-b)。

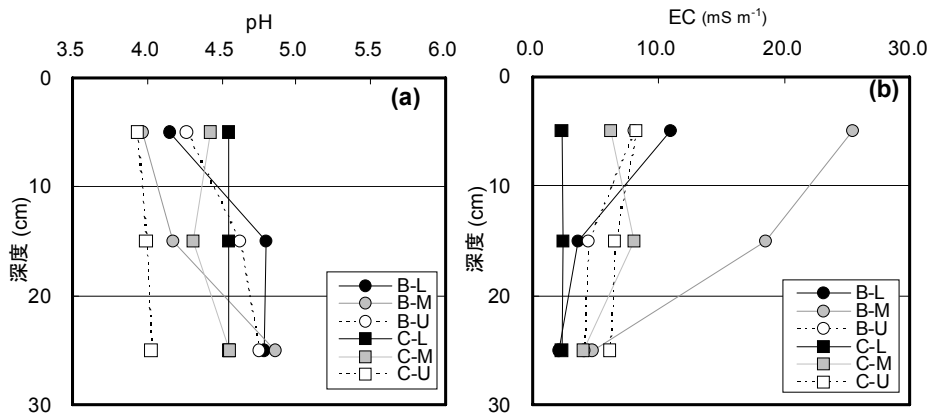


Fig.2 Water-soluble pH(a) and EC(b) in two watershed soils. (L, M, U indicates lower, middle, upper parts of each slope.)

図2 B,C流域における深度別の土壌pH(a)およびEC(b) (L, M, Uはそれぞれ斜面下部, 中部, 上部)

3.3. シカ害の有無による渓流水質の比較

シカ害を受けていないA流域と、シカ害によって下層植生に乏しい状態のB, C流域において測定した渓流水質の分析結果を、2006年12月から2007年10月までに隔週で採取した20サンプルの平均値で表2に示した。現在のところ、シカ害の有無により林床の状態が異なる流域間で渓流水質に顕著な差異は認められていない。しかし、B流域のECは同じ流域面積であるC流域の1.2~2.5倍高くなっており、A流域と比較しても有意な差が認められた($p < 0.001$, T検定)。これはB流域の斜面中部と下部において土壌ECの値が高いこと(図2-b)を反映したものと考えられる。また、B流域の渓流水中の硝酸態窒素濃度は、他の渓流水中の濃度(Konohira and Yoshioka, 2005)と比較しても高かった。本試験流域のように高温・多雨な環境下では土壌中の窒素の無機化が増加し、植物に吸収されてもお余剰の窒素が流出することが示唆されているが(小柳ら, 2002)、同じ条件下でB流域のみECや硝酸態窒素濃度が高い理由については、今後明らかにしていく必要がある。

溶存有機態炭素(DOC)濃度は、流域間で有意な差異は認められていない。他の森林流域の渓流水中のDOC濃度は $0.1 \sim 3.5 \text{ mg L}^{-1}$ であり(Konohira and Yoshioka, 2005; 小柳ら, 2002)、本試験流域の濃度は比較的低濃度である。渓流水中のDOC濃度は、試料採取日の流出水量と有意な正の相関があるとの報告(小柳ら, 2002)のように、本試験流域においても、大雨の後や降雨・降雪時で流出水量が増加したと考えられる日に採取したサンプルで、DOC濃度が上昇した。DOC濃度は表層土壌ほど高く、浅層の土壌水からの流出が増加する降雨時に、流量増加に対応して濃度が上昇するとされている(Katsuyama and Ohte, 2002; 大手ら, 2006)。したがって、今後、下層植生の乏しいB, C流域において洪水時のDOC濃度の上昇がA流域よりも顕著になる可能性がある。渓流水中のDOC濃度と硝酸態窒素濃度の間には負の相関が認められ(Konohira and Yoshioka, 2005; 小柳ら, 2002; 大手ら, 2006)、本試験流域の場合は硝酸態窒素が多く流出し、DOCが流出しにくい環境であることが示唆された。

表2には平均濃度しか示していないが、浮遊物質(SS)は晴天時で流出水量が低い場合には、3流域ともにほとんど0 mg L⁻¹であった。DOCと同様に大雨の後や降雨・降雪時で流出水量が増加したときのみSS濃度が上昇し、とくにB流域において、その変化が顕著であった。C流域は表層に堆積する土壌の透水性が高く(表1)、粒径も大きなものであると示唆され、そのためにB流域よりもSS濃度が低くなっていると考えられた。植物根が少ないB、C流域において、土砂流出は今後も洪水時に増加すると予想され、洪水時のサンプリングも強化していく必要がある。

表2 シカ害の有無によって林床の状態が異なる3流域の渓流水質
(2006年12月～2007年10月、隔週採取20サンプル平均濃度)

Table 2 Stream water quality in three watersheds.

流域	pH (H ₂ O)	EC (mS m ⁻¹)	DOC (mg L ⁻¹)	NO ₃ -N (μ mol L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)
A	6.72 (0.51)	2.11 (0.37)	0.74 (0.37)	8.87 (2.73)	8.12 (16.31)
B	6.73 (0.35)	2.78 (0.80)	0.71 (0.35)	16.18 (7.08)	8.08 (19.19)
C	6.75 (0.37)	1.53 (0.26)	0.80 (0.43)	11.23 (4.24)	6.74 (14.17)

* ()は標準偏差

4. おわりに

九州大学農学部附属宮崎演習林内の広野流域において、シカによる食害で下層植生の乏しくなった2流域の土壌の理化学性について調査した。B流域は特に斜面中部で土壌溶液中のEC値が高く、間隙率も高いため植物が水分や養分を吸収しやすい土壌であると考えられ、植物根の多さを裏付ける結果となっていた。C流域の斜面下部の表層には砂礫が堆積しており、その理化学性からは、透水性が高いのみで保水性が低く、有機物の量も少ない土壌であることが示唆された。本研究で示した両流域の土壌の性質が、今後どのように変化していくのか、特に間隙率や透水性の変化に注目してみていく必要がある。土壌の物理性の長期的な変化は、水分特性曲線の形状の変化でも観察されることから、両流域における水分特性の観測も今後の課題である。また、現在のところ、シカ害の有無による林床の状態の違いが、渓流水質に顕著な差を生じさせてはいないが、今後どのような変化を呈するのか、渓流水質のモニタリングを続けるとともに、各種水質項目と流出水量との関係も含めた考察が必要である。

謝 辞

九州大学農学部附属演習林・流域環境制御学研究室の教員および学生の方々には、現地土壌調査や試料採取において協力をいただいた。また、宮崎演習林の技術職員の皆様には渓流水採取に御協力いただいた。本研究は科学振興調整費重要課題解決型研究「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証実験」の補助を受けた。記して謝意を表します。

引用文献

- 荒木 誠・有光一登(1984)：皆伐施業による表層土壌の物理性的変化(I)－ヒノキ林皆伐跡地における湿式団粒分析の一例－. 日林誌**95**：195-198.
- 荒木 誠・有光一登(1985)：皆伐施業による表層土壌の物理性的変化(II)－ヒノキ新植地における表層土壌の孔隙組成と耐水性団粒の組成について－. 日林誌**96**：233-234.
- 荒木 誠・加藤正樹・宮川 清・小林繁男・有光一登(2002)：ヒノキ林における皆伐および間伐が表層土壌水分状態におよぼす影響. 森林立地**44**：1-8.
- 有光一登(1987)：土壌の構造と孔隙組成. 森林土壌の保水のしくみ. 創文. 185,199. pp.
- 智和正明・井手淳一郎・扇 大輔・田代直明・古賀信也・柴田英昭・佐藤冬樹・大槻恭一(2007)：北海道演習林及び福岡演習林における降水, 渓流水中の化学成分の特徴. 九大演報**88**：33-43.
- Haga, H., Kumagai, T., Otsuki, K. and Ogawa, S. (2002) : Transport and retention of coarse woody debris in mountain streams: An in situ field experiment of log transport and a field survey of coarse woody debris distribution. Water Resour. Res., **38** (8), doi:10.1029/2001WR001126.
- 市川貴大・深澤文貴・高橋輝昌・浅野義人(2002)：落葉広葉樹天然林のヒノキおよびスギによる人工林化が土壌の養分特性に及ぼす影響. 森林立地**44**：23-29.
- 伊藤江利子・吉永秀一郎・大貫靖浩・志知幸治・松本陽介・埜田 宏(2002)：関東平野におけるスギ林衰退と土壌要因. 森林立地**44**：37-43.
- 久馬一剛(1997)：最新土壌学. 朝倉書店. **89,126** pp.
- Katsuyama M. and Ohte, N. (2002) : Determining the sources of stormflow from the fluorescence properties of dissolved organic carbon in a forested headwater catchment. J. of Hydrology, **268** : 192-202.
- Konohira, E. and Yoshioka, T. (2005) : Dissolved organic carbon and nitrate concentrations in streams: a useful index indicating carbon and nitrogen availability in catchments. Ecological Research, **20** : 359-365.
- 小柳信宏・浦川梨恵子・生原喜久雄・戸田浩人(2002)：スギ・ヒノキ壮齢人工林小流域における降雨の移動に伴う溶存有機態窒素および溶存有機態炭素の動態. 森林立地**44**：11-20.
- 窪田順平・福巖義弘・鈴木雅一(1983)：山地小流域源頭部の表層土における流出特性と土壌水分変動について－滋賀県東南部の風化花崗岩山地における観測例－. 京大演報**59**：147-164.
- 中野政詩(1991)：土の物質移動学. 東京大学出版会. **4**pp.
- 中野政詩・宮崎毅・塩沢昌・西村拓(1995)：土壌物理環境測定法. 東京大学出版会. **15, 236**pp.
- 小野 裕(2001)：森林土壌における団粒の発達が土壌物理性に及ぼす影響. 日林誌**83**：116-124.
- 小野 裕(2005)：ヒノキ皆伐後の土壌の物理性変化. 日林誌**87**：36-44.
- 恩田裕一(2004)：森林の荒廃は洪水や河川環境にどう影響しているか. 緑のダム－森林・

河川・水循環・防災. 蔵治光一郎・保屋野初子著. 築地書館. **23,26pp.**

恩田裕一(2007)：人工林の荒廃と地表面流発生メカニズム. 森林水文学. 森北出版. **65-81pp.**

大手信人・鈴木雅一・窪田順平(1989)：森林土壌の土壌水分特性(I). 飽和-不飽和透水特性の鉛直分布の測定法と2, 3の測定結果. 日林誌**71**：137-147.

大手信人・川崎雅俊・木平英一・吉岡崇仁(2006)：森林から河川への炭素と窒素の流出. 地球環境と生態系. 武田博清・占部城太郎編. 共立出版. **148-151pp.**

田中健一・岩松暉(1993)：九州四万十帯日向大河内地域の地質. 九大演報**69**：31-53.

辻村真貴・恩田裕一・原田大路(2006)：荒廃したヒノキ林における降雨流出に及ぼすホートン地表流の影響. 水文水資源学会誌**19**：17-24.

八木久義(1997)：森林伐採に伴う土壌生態系の劣化とその復元の方策. 土壌圏と地球環境問題. 木村真人編. 名古屋大学出版会. **277pp.**

湯川典子・恩田裕一(1995)：ヒノキ人工林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(I)散水型浸透計による野外実験. 日林誌**77**：224-231.

(2007年10月31日受付；2008年1月11日受理)

Summary

We report the soil physico- chemical properties and water quality of stream in two watersheds, which were damaged by deer feeding in Shiiba Research Forest.

Bulk densities, volumetric contents of total soil pores, saturated volumetric water contents and saturated hydraulic conductivities were determined as physical characteristics, and water-soluble pH and EC were measured as chemical indicators in soil samples taken from three positions in the slope. Compared in site C, the volumetric contents of total soil pores and EC in site B were higher. This suggests that plants in site B have a greater tendency to use soil water and nutrients. In site C, especially in under position of the slope, a large amount of sand gravels were observed.

In comparison of water quality of stream in 3 sites including site A, which has not damaged by deer, there is no difference in three sites, which have different condition of forest floor by deer damage.

In the future plan, site C is surrounded by protecting net to avoid deer damage, and we continue to monitor the process of vegetation restoration and its effects on soil characteristics, comparing the control watershed, site B.

Key words: deer, underground vegetation, soil characteristics, stream quality