

ニホンジカの採食により下層植生が衰退した林地斜面における土壌の移動：九州大学宮崎演習林での事例

榎木， 勉
九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

高橋， 一太
九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻

<https://doi.org/10.15017/1654300>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 97, pp.1-6, 2016-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

ニホンジカの採食により下層植生が衰退した林地斜面における土壌の移動 —九州大学宮崎演習林での事例—

榎木 勉^{*1)}, 高橋一太²⁾

九州大学宮崎演習林では1980年頃からシカの個体数増加に伴い落葉広葉樹林林床のスズタケ (*Sasa borealis* (Hack.) Makino et Shibata) の衰退がみられ、三方岳団地の多くの林地では約20年の間、下層植生がほぼ存在しない状態が維持されている。本研究では、長期間にわたるスズタケの消失が林地斜面における土砂移動に及ぼす影響を明らかにするために、スズタケが残存する林地 (ササ有区) とスズタケが消失した林地 (ササ無区) において、土砂受け箱とスプラッシュカップを用いて土砂移動量と土砂飛散量を測定した。ササ無区のほうが樹冠通過雨量は多かったにもかかわらず、土砂移動量と土砂飛散量は少なかった。ササ無区では表層土壌に含まれるレキの割合が大きかった。レキには雨滴衝撃からの保護、透水性の増加などの効果があることから、ササ無区でのレキの多さが、土砂移動量、土砂飛散量を抑制した原因の一つと考えられた。移動土砂や飛散土砂に含まれるレキの割合は表層土壌よりも少なかったことから、今後長期にわたり細土の流亡が継続すると、残存する土壌に含まれるレキの割合が増加することが考えられる。

キーワード: スズタケ, スプラッシュカップ, 土砂箱, レキ, 経過時間

Since around 1980, *Sasa borealis* (Hack.) Makino et Shibata on forest floor has been impoverished with increase in the density of sika deer (*Cervus nippon*) in the Shiiba Research Forest, Kyushu University. Understory vegetation in a considerable area of the Sampoudake-danchi had been eliminated for around 20 years. To evaluate the effects of the long term elimination of understory vegetation on the soil movement, we measured amounts of moved soil and of splashed soil with soil trap and splash cup, respectively, on slopes of the forest with and without *S. borealis*. The amounts of moved and splashed soils were smaller in the forest without *S. borealis*, though the amount of throughfall was larger. The ratio of gravel in the surface soil of the forest without *S. borealis* was larger than that with *S. borealis*. The larger amount of gravel is a reason of smaller amounts of the moved and splashed soils in the forest without *S. borealis*. The ratios of gravel in the moved and splashed soil were smaller than that of the surface soil. Long-term erosion of fine soil could create the higher ratio of gravel in the surface soil.

Keywords: elapsed time, gravel, *Sasa borealis* (Hack.) Makino et Shibata, soil trap, splash cup.

1. はじめに

近年、日本各地でニホンジカ (*Cervus nippon*, 以下シカ) の過度の採食圧による下層植生の衰退 (古林・山根1997; 猿木ら2004; 松井ら2011; 崎尾ら2013) や更新の阻害 (Takatsuki & Gorai 1994; Tsujino & Yumoto 2004; Kumar *et al.* 2006; Murata *et al.* 2009) が観察されている。シカ密度の増加に伴う下層植生の衰退は森林土壌の物理特性を変化させる (古澤ら2006; 柳ら2008)。下層植生による植被は雨滴衝撃による飛散土砂やクラスト化を抑制し、土壌の高い浸透能を維持 (井上1987; 湯川・恩田1995; 平岡ら2010) する。また、落葉による地表の被覆 (若原ら2008; 海ら2012) や根系の発達 (Gyssels *et al.* 2005) は土壌流亡を抑制する。シカによって下層植生が衰退した林地においては、これらの機能が低減し、リターや表層土壌の流出が

増加する (古澤ら2003; 初ら2010) ことが懸念されている。すなわちリターの流出による土壌の浸透能の低下や、表層土壌の流出による水質の改変など森林の水源涵養機能に対するシカの過度な採食圧の影響が危惧されている。

シカの個体数増加により衰退した植生の回復には課題も多く (前迫・高槻2015)、今後長期間にわたって下層植生が回復しない森林が多く存在する可能性がある。しかし、落葉による地表の被覆 (若原ら2008; 海ら2012) や表層土壌やリターの流出 (古澤ら2006; 柳ら2008) に関するこれまでの研究は下層植生が消失し長期間経過した林地では実施されていない。そこで本研究では下層植生が現存する林地とシカの採食によって下層植生が約20年間に渡って下層植生が消失している林地とにおいて土砂移動の違いを比較し、長期間に渡る下層植生の消失が林地斜面に与える影

Enoki T. and Takahashi K., Soil movement on forest slope with impoverished understory vegetation induced by sika deer grazing in Shiiba Research Forest, Kyushu University

* 責任著者 (corresponding author) : E-mail: enoki@forest.kyushu-u.ac.jp 〒811-2415 福岡県糟屋郡篠栗町津波黒394

¹⁾ 九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

Division of Forest Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

²⁾ 九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻

Department of Agro-environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

響を検討した。

九州大学宮崎演習林（以下、宮崎演習林）ではスズタケ (*Sasa borealis* (Hack.) Makino et Shibata) を優占種とする下層植生が全域でみられたが（辻木ら 1977）、1980 年ごろからスズタケの衰退がみられ（猿木ら 2004; 村田ら 2009）、2004 年には三方岳団地のスズタケはほとんど消失した（村田ら 2009）。スズタケの密度低下はシカの個体数増加に伴って生じており（井上・小泉 1996）、スズタケ群落が衰退した三方岳団地の多くの林地では、約 20 年の間、下層植生がほぼ存在しない状態が維持されている（村田ら 2009）。本研究では、スズタケが残存する林地とスズタケが長期間消失した林地において土砂受け箱（塚本 1998）とスプラッシュカップ（Morgan 1978）を用いて土砂移動量と土砂飛散量を測定した。

2. 方法

2.1 調査地

調査は宮崎県東臼杵郡椎葉村大河内に位置する宮崎演習林で行った。標高 600m に位置する宮崎演習林事務所前における 2002 から 2011 年までの年平均気温は、13.1℃、年平均降水量は 2833mm であった。月降水量は 7 月で最も多く平均 473mm であった。2002 年から 2011 年の期間で月降水量の最大値は 2011 年 6 月の 1236mm であった。宮崎演習林事務所前での積雪は一年に数日観察される程度であるが、林地は標高が 1000m 以上あるため積雪の頻度はこれよりも高いと考えられる。宮崎演習林の天然生林植生は、ブナ、ミズナラ、カエデ類、シデ類などの落葉広葉樹とモミ、ツガなどの針葉樹が混成した温帯性落葉広葉樹林からなる。

2.2 調査区設定

スズタケが現存する津野岳団地に属する 6 林班内 (N 32° 22′ 35″, E 131° 05′ 50″) およびスズタケがほぼ完全に消失した三方岳団地に属する 35 林班内 (N 32° 23′ 55″, E 131° 10′ 21″) に調査区を設定した。本研究では、両調査区をそれぞれササ有区とササ無区とした。両調査区とも地質は主に後期白亜紀の四万十層群を基盤とした砂岩・泥岩からなり、土壌型は Bd 型が出現した。両調査区とも胸高周囲長 15cm 以上の樹木の種、周囲長、位置が記録されている（榎木ら 2013）。それぞれの調査区内に 3 つの 20m × 20m の調査プロットを設定した。各調査プロット中央付近

表 1. 胸高周囲長 15cm 以上の樹木の立木密度、胸高断面積合計、最大樹高および傾斜のササ有区とササ無区での比較
3 つの 20m × 20m の調査プロットの平均値（標準偏差）を示す。傾斜の算出方法は本文参照のこと。

	ササ有区		ササ無区	
立木密度 (ha ⁻¹)	2317	(784)	1050	(511)
胸高断面積合計 (m ² ha ⁻¹)	43.6	(14.4)	30.9	(7.3)
最大樹高 (m)	20.3	(2.0)	18.1	(0.8)
傾斜 (度)	34.2	(2.6)	30.7	(6.1)

に斜面に沿って 10m のラインを 5 本設定し、各ラインの両端の高低差から 5 つの傾斜を算出した。異なる林地間での比較を行うため、土砂移動に影響を及ぼすと考えられる下層植生以外の因子として斜面の傾斜（若原ら 2008）、凹凸度、林冠高などの森林構造（南光 2013）は林地間で有意な差がないように設定した（表 1）。調査プロット内で優占する林冠構成種は、津野岳団地ではモミ、ミズメ、ミズキ、コハウチワカエデ、ツガ、三方岳団地ではミズナラ、ツガ、ミズメ、クリ、ホオノキであった。いずれの調査プロットとも林冠はほぼ閉鎖しており、林冠ギャップは見られなかった。

2.3 下層植生および土壌

各プロットを 10m × 10m に 4 分割し、それぞれの中央に 2m × 2m 枠を設置し、生育するスズタケと樹高 30cm 以上胸高周囲長 15cm 未満の樹木の幹数と幹高を測定した。各プロットの 5 箇所の地表面に 20cm × 20cm の方形区を設置し、A₀ 層を採取した。採取した試料は 70℃ で 48 時間乾燥させた後、重量を測定した。A₀ 層を採取した後、直下の鈳質土壌を 100cm³ の採土円筒を用いて A 層および B 層から採取した。鈳質土壌は各地点各層からそれぞれ 3 サンプルずつ採取し、それらを各地点各層ごとに一つにまとめた。採取した試料は 70℃ で 48 時間乾燥させた後、A 層および B 層は細土 (<2mm)、レキ (≥2mm)、リターおよび根に区分して重量を測定した。

2.4 樹冠通過雨量

両調査区の樹冠通過雨量をポリ容器を設置して測定した。内容量 20 リットルのポリ容器を用い、降水を受けるための内口径 18cm の漏斗をつけて地面に固定した。降水の取り組み口は地面から 50cm の高さとした。ポリ容器は各調査区の林外に 3 個ずつ、各プロットに 5 個ずつ合計 36 個を設置した。林内のポリ容器は、プロット中央付近の等高線に沿って配置し、それぞれが直近の上層木の樹幹と樹冠の端のほぼ中央に位置する様に設置した。林外のポリ容器で得られた雨量を林外雨量、プロット内で得られた雨量を樹冠通過雨量とした。ポリ容器は 2013 年 4 月に設置し、2 ~ 8 週間の間隔で溜まった雨水の重量を測定し、雨量に換算した。

2.5 土砂受け箱およびスプラッシュカップの設置

斜面に沿った土砂移動量を測定するために土砂受け箱（塚本 1998）を設置した。土砂受け箱による土砂移動量の測定では単位面積あたりの土砂侵食量は求められないが、土壌侵食強度の直接的指標としての林地表面物質の移動量が実測される。なお、本調査地では土砂移動は降雨のみでなく凍結融解に起因するものも含まれるが、両者は区別していない。土砂受け箱は 2012 年 8 月に各プロットに 5 個ずつ設置した。

土壌侵食の最初の段階であり、土壌の剥離過程に影響をおよぼす雨滴侵食を実測するためにスプラッシュカップ

(Morgan 1978) を設置した。スプラッシュカップによる測定では、雨滴により剥離、飛散した土壌を回収することで単位面積あたりの土壌剥離量が得られる。土砂受け箱は受け口が幅 25cm、高さ 15cm、奥行きが 20cm の木製で、受け口の下辺には前方へ水平に 5cm 張り出すステンレス製のエプロン板を取り付け、背面に 30 メッシュのネットを張りつけた。スプラッシュカップは開口部が直径 20cm、高さ 20cm のバケツの底面の中心部直径 10cm の円をくり抜き、高さ 6cm に切った内径 10cm の塩化ビニル製のパイプをはめ込んで作成した。パイプの内側は蓄積していたリターを取り除き、鉍質土壌を露出させた。スプラッシュカップは 2012 年 9 月に各プロットに 5 個ずつ設置した。

土砂受け箱およびスプラッシュカップで採取したサンプルは 1～2 ヶ月間隔で 2013 年 9 月まで回収を行った。得られたサンプルは全て 70℃ で 48 時間乾燥させた後、細土 (<2mm)、レキ (≥2mm 粒径) およびリターに区分して重量を測定した。スプラッシュカップ内に落下したリターの重量をリターフォール量とした。

3. 結果

3.1 下層植生および A₀ 層蓄積量

ササ有区におけるスズタケの幹数は 2.9 本 m²、最大幹高は 118cm であった (表 2)。稚樹の立木密度は 0.1 本 m² と非常に小さかった。ササ無区では、スズタケは生育しておらず、稚樹の立木密度は 0.33 本 m² とササ有区よりもやや多かった。

A₀ 層蓄積量は、ササ有区で 6.14 Mg ha⁻¹、ササ無区では 6.39 Mg ha⁻¹ で調査区間に有意な違いはみられなかった (U-test, $p > 0.05$, 表 2)。

3.2 樹冠通過雨量

雨量測定期間中 (2013 年 4 月 25 日～11 月 12 日) の樹冠通過雨量はササ有区では 1,687mm、ササ無区では 2,272mm とササ無区で多かった (U-test, $p < 0.01$, 表 2)。林外雨はササ有区では 2,519mm、ササ無区では 2,456mm と調査区間に有意な差はなかった (U-test, $p > 0.05$)。

表 2. 下層植生および A₀ 層蓄積量、林外雨量、樹冠通過雨量のササ有区とササ無区での比較
稚樹は樹高 30cm 以上 2m 未満の本木を対象とした。

	ササ有区		ササ無区	
スズタケの幹数(m ²)	2.9	(3.4)	0	(-)
スズタケの最大幹高(m)	1.57	(0.72)	-	(-)
稚樹の幹数(m ²) *	0.1	(0.04)	0.33	(0.31)
A ₀ 層蓄積量(Mg ha ⁻¹)	6.14	(1.98)	6.39	(2.05)
林外雨量(mm)	2,519	(31)	2,456	(57)
樹冠通過雨量(mm) *	1,687	(438)	2,272	(645)

* は両区間で有意な差があることを示す (U-test, $p < 0.05$, $n = 12$)。A₀ 層蓄積量は $n = 15$ 、林外雨量は $n = 3$ 、樹冠通過量は $n = 15$ 、林外雨量は $n = 3$ 。林外雨量の測定期間は 2012 年 4 月 25 日～2013 年 11 月 12 日まで。

3.3 リター移動量、土砂移動量、土砂飛散量、リターフォール量

調査期間中 (2012 年 8 月 29 日～2013 年 9 月 18 日) のリター移動量はササ有区では 330g m⁻¹、ササ無区では 335g m⁻¹ と有意な違いはみられなかった (U-test, $p > 0.05$, 表 3)。土砂移動量は、ササ有区では 224g m⁻¹、ササ無区では 56g m⁻¹ とササ有区がササ無区より多かった (U-test, $p < 0.01$)。

調査期間中 (2012 年 9 月 12 日～2013 年 9 月 18 日) の土砂飛散量は、ササ有区では 12.4g m⁻²、ササ無区では 8.6g m⁻² とササ有区がササ無区より多かった (U-test, $p < 0.01$)。リターフォール量はササ有区では 4.47Mg ha⁻¹、ササ無区では 8.51Mg ha⁻¹ とササ無区がササ有区より有意に大きかった (U-test, $p < 0.01$)。

表 3. 林床でのリター移動量、土砂移動量、土砂飛散量、リターフォール量のササ有区とササ無区での比較

	ササ有区		ササ無区	
リター移動量(g m ⁻¹)	330	(193)	335	(219)
移動土砂量(kg m ⁻¹)**	224	(132)	56	(33)
飛散土砂量(g m ⁻²)**	12.4	(0.7)	8.6	(1.4)
リターフォール量(Mg ha ⁻¹)**	4.47	(1.67)	8.51	(4.28)

** は両区間で有意な差があることを示す (U-test, $p < 0.01$, $n = 15$)。

リター移動量と土砂移動量の測定期間は 2012 年 8 月 29 日～2013 年 9 月 18 日まで、土砂飛散量とリターフォール量の測定期間は 2012 年 9 月 12 日～2013 年 9 月 18 日まで。

3.4 森林土壌、移動土砂、飛散土砂の土性

A 層の細土重はササ有区、ササ無区の間で有意な差はなかったが、レキの重量およびレキ率 (細土重量に対するレキ重量の比) はササ無区で有意に大きかった (U-test, $p < 0.05$)。B 層も細土重、レキの重量およびレキ率は調査区間で有意な差はなかった (U-test, $p > 0.05$) が、レキの重量およびレキ率はササ無区でかなり大きかった。A 層のレキ率はササ有区、ササ無区とも B 層よりも大きかった。移動した土砂および飛散した土砂のレキ率はササ無区で大きかった。また、それらは A 層、B 層に含まれるレキの割合よりも小さかった。

4. 考察

ササが消失した林地ではササが残存する林地よりも樹冠通過雨量が多く、降雨の植生による遮断率はササが残存する林地と比較して小さかった。樹冠通過雨量と土壌侵食量には相関関係が見られることから (若原ら 2008; 初ら 2010)、本研究においてもササ無区では土砂の移動量や飛散量が多くなることが予想された。しかし、両調査区においてリター移動量には差がなく、移動土砂量と飛散土砂量はササ無区の方が少なかった。

測定期間中のリター移動量は両調査区とも 330g m⁻¹ 程度であった。この値は、林床にササが生育する大台ヶ原の針広混交林において本研究と同様の土砂受け箱を用いて測定された 1 年間の値 (149.9 g m⁻¹, 古澤ら 2003) よりもかな

表4. 森林土壌, 移動土砂, 飛散土砂の土性のササ有区とササ無区での比較
レキ率は細土重量に対するレキ重量の比を%で示した値。

	ササ有区		ササ無区	
A層	2317	(784)	1050	(511)
細土重 (g 300ml ⁻¹)	122.4	(21.2)	114.1	(18.5)
レキ重 (g 300ml ⁻¹) **	7.7	(5.2)	37.4	(24.6)
レキ率 (%) **	6.5	(4.3)	34.8	(22.3)
細根量 (g 300ml ⁻¹)	0.92	(0.64)	1.23	(0.57)
B層				
細土重 (g 300ml ⁻¹)	129.6	(21.7)	112.4	(9.6)
レキ重 (g 300ml ⁻¹)	6.9	(5.7)	29.3	(21.8)
レキ率 (%)	5.2	(3.8)	26.8	(18.8)
細根量 (g 300ml ⁻¹)	0.9	(0.82)	0.66	(0.58)
移動土砂				
細土重 ((g m ⁻²) **)	216	(125)	51	(28)
レキ重 ((g m ⁻²)	6.8	(6.3)	5.1	(7)
レキ率 (%) *	3.8	(2.9)	9.1	(12.2)
飛散土砂				
細土重 ((g m ⁻²) **)	12.1	(4.1)	7.7	(2.1)
レキ重 ((g m ⁻²) *	0.33	(0.21)	0.93	(0.99)
レキ率 (%) *	2.7	(1.3)	11.5	(11.1)

*と**は両区間で有意な差があることを示す(それぞれU-test, $p < 0.05$, $p < 0.01$, $n = 15$)。

移動土砂および飛散土砂の値は, それぞれ2012年8月29日~2013年9月18日, 2012年9月12日~2013年9月18日に採取された土砂の値。

り大きかった。本調査地ではリターの移動についてはササの有無に関わらず大きかったと言える。本調査地は傾斜が30度程度と古澤ら(2003)の試験地の6~9度よりもかなり急であったことが原因の一つと考えられる。

ササ無区で移動土砂量, 飛散土砂量が少なかった原因の一つとして, 両調査区の表層土壌の特性の違いを考える。ササ無区では, 表層土壌中のレキの割合が大きかった。土壌表層におけるレキの被覆は, 雨滴衝撃からの保護, 透水性の増加, 地表流の抑制に働く(Poesen & Lavee 1994; Cerdá 2001)。これらの効果がササ無区で強く働いた結果, 移動土砂量, 飛散土砂量が少なくなった可能性がある。また, リターフォールはササ無区で多かった。スプラッシュカップに落下したリターフォールは土壌への雨滴の落下を妨げる。ササ無区で土砂飛散量が少なかった理由には上記のレキの効果に加え, リターフォールの影響も考えられる。

最後に下層植生が消失した状態が長期間続くことについて考察する。移動した土砂や飛散した土砂は表層土壌よりもレキの割合が少なかった。粒径の大きな土砂の移動には大きなエネルギーが必要であり, 粒径の小さな土砂の方が移動しやすいと考えられる。粒径の小さな土砂の移動が長期間続けば, 残存する土壌に含まれる粒径の大きな土砂の割合は増加する。このことはササ有区, 無区ともB層よりもA層でレキの割合が多いことの原因の一つと考えられる。

しかし, B層においても有意な差はなかったが, レキの割合はササ無区で多かったことから調査区間の土性がササの衰退以前から異なっていた可能性が高い。また, 土壌組成以外にも土砂移動に関わる環境要因を両調査区間で揃えることはできなかったため, ササ無区で土砂移動量や土砂飛散量が少なかった原因を明瞭に説明することはできなかった。今後はササが現存する林地でのササの除去実験や, ササが消失した林地でのシカ防除ネットを用いた植生回復実験などと合わせて長期にモニタリングする研究を行うことで, ササが消失後の細土の流出などのプロセスも評価できると考える。

謝 辞

本研究の遂行にあたり, 九州大学宮崎演習林の久保田勝義, 鍛冶清弘, 椎葉康喜, 長慶一郎, 山内康平, 緒方健人の各氏には現地調査や実験器具の作成などに協力していただきました。心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Cerdá A (2001) Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European Journal of Soil Science* 52:59-68
- 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. *日林誌* 92: 161-268
- 榎木 勉・久保田勝義・鍛冶清弘・壁村勇二・椎葉康喜・井上幸子・内海泰弘(2013)九州大学宮崎演習林の長期森林動態モニタリングプロット. *九大演報* 94: 40-47
- 古林賢恒・山根正伸(1997)丹沢山地尾根での森林皆伐後のニホンジカとスズタケの変動. *野生生物保護* 2: 195-204
- 古澤仁美・宮西裕美・金子真司・日野輝明(2003)ニホンジカの採食によって林床植生の劣化した針広混交林でのリターおよび土壌の移動. *日林誌* 85: 318-325
- 古澤仁美・日野輝明・金子真司・荒木真(2006)大台ヶ原においてニホンジカとミヤコザサが表層土壌の温度・水分状態に及ぼす影響. *森林立地* 48: 91-98
- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y (2005) Impacts of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Prog Phyc Geogr* 29: 189-217
- 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出率に与える影響. *日林誌* 94: 167-174
- 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. *日林誌* 92: 145-150
- 井上輝一郎・岩川雄幸・吉田桂子(1987)ヒノキ単純林における落葉および土砂の移動. *林試研報* 343: 171-186
- 井上 晋・小泉 透(1996)九大宮崎演習林の天然林における野生シカが及ぼす植生被害について. *日林九支論* 49: 105-106

- Kumar S, Takeda A, Shibata E (2006) Effects of 13-year fencing on browsing by sika deer on seedlings on Mt. Ohdaigahara, central Japan. *J For Res* 11: 337-342
- 前迫ゆり・高槻成紀 (2015) シカの脅威と森野未来—シカ柵による植生保全の有効性と限界—. pp247. 文一総合出版. 東京
- 松井 淳・堀井麻美・柳 哲平・森野里美・今村彰生・幸田良介・辻野 亮・湯本貴和・高田研一 (2011) 大峯山脈前鬼地域における森林植生の現状とニホンジカの影響. *保全生態学研究* 16: 111-119
- Morgan RPC (1978) Field studies of rainsplash erosion. *Earth Surf Proc Land* 3: 295-299
- 村田育恵・井上幸子・矢部恒晶・壁村勇二・鍛冶清弘・久保田勝義・馬淵哲也・椎葉康喜・内海泰弘 (2009) 九州大学宮崎演習林におけるニホンジカの生息密度と下層植生の変遷. *九大演報* 90: 13-24
- Murata I, Saruki S, Kubota K, Inoue S, Tashiro N, Enoki T, Utsumi Y, Inoue S (2009) Effects of sika deer (*Cervus nippon*) and dwarf bamboo (*Sasamorpha borealis*) on seedling emergence and survival in cool-temperate mixed forests in the Kyushu Mountains. *J For Res* 14: 296-301
- 南光一樹 (2013) ヒノキ人工林における林内雨の運動エネルギーと樹高・生枝下高・樹冠長の関係. *日林誌* 95: 234-239
- Poesen J, Lavee H (1994) Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena* 23: 1-28
- 崎尾 均・久保満佐子・川西基博・比嘉基紀 (2013) 秩父山地におけるニホンジカの採食が林床植生に与える影響. *日緑工誌* 39: 226-231
- 猿木重文・井上 晋・椎葉康喜・長澤久視・大崎 繁・久保田勝義 (2004) 九州大学宮崎演習林においてキュウシュウジカの摂食被害を受けたスズタケ群落の分布と生育状況—2003年調査結果—. *九大演報* 85: 47-54
- Takatsuki S, Gorai T (1994) Effects of Sika deer on the regeneration of a *Fagus crenata* forest on Kinkazan Island, northern Japan. *Ecol Res* 9: 115-120
- Tsujino R, Yumoto T (2004) Effects of sika deer on tree seedling in a warm temperature forest on Yakushima Island, Japan. *Ecol Res* 19: 291-300
- 塚本次郎・梶原規弘・入田慎太郎 (1998) ヒノキ人工林における表土流亡危険度の予測—土壌侵食強度の簡易評価における地表面観察の有効性の検討—. *日林誌* 80: 205-213
- 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) *日林誌* 90: 378-385
- 柳 洋介・高田まゆら・宮下 直 (2008) ニホンジカによる森林土壌の物理環境の改変：房総半島における広域調査と野外実験. *保全生態学研究* 13: 65-74
- 湯川典子・恩田裕一 (1995) ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透性に及ぼす影響 (I) 散水型浸透計による野外実験. *日林誌* 77: 224-231
- 汰木達朗・荒上和利・井上 晋 (1977) スズタケの生態に関する研究. *九大演報* 50: 83-122
- (2015年9月14日受付：2016年1月7日受理)