

第 7 章

ニホンジカ高密度地域の森林整備地に施工された 土壌保全施設や植生保護柵の土壌侵食防止効果

山瀬敬太郎¹・藤木大介²

¹兵庫県立農林水産技術総合センター、²兵庫県森林動物研究センター

要 点

- ・兵庫県内のニホンジカの生息密度が高い地域において、間伐や皆伐などの伐採の実施や、筋工や丸太柵工などの土壌保全施設、あるいは植生保護柵の施工が、森林表土の侵食防止にどの程度の効果があるのかを調査した。
- ・伐採（特に皆伐）に伴い、表土侵食量が増加する場所がみられた。土壌保全施設や植生保護柵を施工した場所においても、ニホンジカの影響による表土侵食量の増加がみられ、その原因は、ニホンジカの採食による林床被覆の減少とともに、ニホンジカの歩行が表土侵食量の増加に直接的に影響している可能性が示唆された。
- ・ニホンジカの生息密度の高い地域では、土壌保全施設だけでは十分な保全効果が得られず、植生保護柵を併用し、ニホンジカの侵入を排除しなければならない場所があることがわかった。

key words : 間伐、皆伐、筋工、丸太柵工、植生保護柵、表土侵食

7-1. はじめに

スギ *Cryptomeria japonica* およびヒノキ *Chamaecyparis obtusa* の針葉樹人工林では、手入れ不足により樹冠がうっ閉し、下層植生の減少と林床の裸地化が各地でみられるようになっており、森林表土の侵食による地力低下や土砂崩壊が危惧されている（水垣 2008、渡邊ほか 2016）。広葉樹二次林においても、照葉樹林化が進行して下層植生が衰退した林地では、森林表土の侵食が観察されている（山瀬・田中 2007）。また、森林表土の侵食は、その中に含まれる埋土種子集団の流出を同時にもたらす（山瀬ほか 2009）ため、伐採跡地の植生回復（佐藤・酒井 2003）や森林動態（林 1977）に影響を与えるおそれがある。こうした森林が有する様々な機能維持に重要な役割を果たす森林表土の侵食を防ぐうえで、針葉樹人工林の間伐の際に発生する間伐木を利用した筋工が、表土侵食を防ぐ障害物として機能し（山瀬・田中 2003、山瀬ほか 2010）、土壌保全施設としての役割を果たすことがわかっている。

しかしながら近年、ニホンジカ *Cervus nippon*（以下、シカ）による採食の影響が全国各地に拡大しつつあり、こうした場所では林床植生が衰退し、表土侵食が山腹斜面で広範囲に進行している（若原ほか 2008）。兵庫県を含む関西 4 府県においても、シカの影響による落葉広葉樹林の林床植生の衰退状況が推定されており（藤木ほか 2014）、こうした衰退に伴い、兵庫県では南但馬地域（円山川流域）と西播磨地域（揖保川、千種川流域）を中心に、シカ

による表土侵食が発生した落葉広葉樹林が集中的に分布している（内田ほか 2012）。シカによる表土侵食発生地域で、侵食防止のための取り組みを調査した事例は、間伐による表土移動量は無間伐よりも少ないが、間伐後に地表面の植被率は増加していないこと（島田 2016）、リターや土砂の侵食は植生保護柵の設置によってある程度抑制されること（塚越ほか 2012）、木製筋工や土嚢工、リター捕捉ネット工などの土壌侵食対策工法は土壌侵食防止効果およびリター捕捉効果が認められること（石川ほか 2007）が報告されている。

そこで本研究では、兵庫県の災害に強い森づくりで実施している、シカの生息密度が高い地域での森林整備事業について、間伐や皆伐などの伐採と、筋工や丸太柵工などの土壌保全施設、植生保護柵の有無が、表土侵食の防止にどの程度の効果があるのかを把握するために、調査区を設け、土砂受け箱を用いて表土侵食量を測定した。

7-2. 調査地

調査地は、兵庫県豊岡市出石町小人城山（以下、豊岡調査地）の北西斜面に位置するヒノキ人工林、養父市大屋町大屋市場（養父調査地）の西斜面に位置するヒノキ人工林、宍粟市一宮町黒原（宍粟調査地）の南東斜面に位置するヒノキ人工林と、南あわじ市灘吉野（南あわじ調査地）の南斜面に位置するウバメガシ *Quercus phillyreoides* やヤブニッケイ *Cinnamomum yabunikkei* が優占する照葉二次林である。気候は、いずれの調査地とも暖温帯に位置し、豊岡と養父の 2 調査地は冬季降雪が多い日本海側気候地域、宍粟調査地は瀬戸内式気候に近い特性を持つ内陸気候地域、南あわじ調査地は冬が温暖で降水量が少ない瀬戸内式気候地域に属している（鈴木 1962）。地質は、豊岡調査地が流紋岩類、養父調査地が泥質岩、宍粟調査地が緑色岩類、南あわじ調査地が砂岩優勢砂岩泥岩互層で、土壌はいずれの調査地とも褐色森林土である。また斜面傾斜度は、豊岡調査地が 35～37°、養父調査地が 41～42°、宍粟調査地が 37～39°、南あわじ調査地が 28～33°である。いずれの調査地周辺でもシカの生息密度は高く、豊岡、養父、南あわじ調査地は 40 頭・km⁻² 以上、宍粟調査地は 10～20 頭・km⁻² と推定されている（兵庫県森林動物研究センター 2015）。これらの生息密度は、自然植生にあまり目立った影響がでない密度とされる 3～5 頭・km⁻²（環境省 2016）を大きく上回っているうえ、いずれもシカの採食による森林植生の衰退が顕著な山域であることが実際に確認されている（藤木 2017a,b）。

豊岡、養父、宍粟調査地においては、斜面方向および水平方向に 20 m の一辺を持つ 3 方形調査区（豊岡）または 4 方形調査区（養父、宍粟）をそれぞれ隣接するように設置した。このうち、豊岡調査地は、間伐（本数間伐率 45.5 %）と間伐木を利用した筋工（写真 7-1（左））、さらに調査区全体を植生保護柵で囲い込んだ区（以下、間伐+筋工+柵区）、間伐と植生保護柵を実施した区（間伐+柵区）、間伐と筋工を実施した区（間伐+筋工区）の 3 区とした。間伐と筋工、植生保護柵は 2007 年 3 月に実施した。養父および宍粟調査地は、間伐（本数間伐率は順に 47.7 %、32.7 %）と、間伐木を利用した筋工、さらに植生保護柵を実施した区（以下、間伐+筋工+柵区）、間伐と筋工を実施した区（間伐+筋工区）、間伐のみを実施した区（間伐区）、間伐や筋工、植生保護柵を実施していない区（無処理区）の 4 区とした。間伐と

筋工、植生保護柵は、それぞれ 2009 年 3 月（養父）と 2015 年 3 月（宍粟）に実施した。また、南あわじ調査地は備長炭の原料採取を目的に皆伐した区域であり、皆伐と植生保護柵を実施した区（以下、皆伐+柵区）、皆伐と丸太を利用した柵工（写真 7-1(右)）を実施した区（皆伐+丸太柵工区）、皆伐のみを実施した区（皆伐区）、皆伐や丸太柵工、植生保護柵を実施していない区（無処理区）の 4 区とした。皆伐は 2000 年 5 月から 2003 年 4 月の間（山瀬ほか 2014）、丸太柵工と植生保護柵は 2013 年 3 月に実施した。



写真 7-1 間伐木を利用した筋工（左）と丸太を利用した柵工（右）

7-3. 調査方法

表土侵食量の測定には、土砂受け箱法（岩川ほか 1984）を用いた。土砂受け箱は、高さ 15cm、幅（間口）25 cm、奥行き 20 cm の木製またはステンレス製枠で、背面に 30 メッシュ（目合い 0.67 mm）の寒冷紗を取り付けた仕様とした。前述の各調査区の下端に、約 2 m 間隔に土砂受け箱を 5 個設置した。侵食土砂の回収は 1~4 ヶ月おきとし、豊岡調査地が 2014 年 5 月 3 日から 2016 年 2 月 15 日の 644 日間、計 8 回、養父と宍粟調査地が 2015 年 7 月 27 日から 2016 年 10 月 4 日の 436 日間、計 9 回、南あわじ調査地が 2014 年 5 月 20 日から 2016 年 9 月 16 日までの 851 日間、計 12 回回収した。回収した内容物は、細土（2 mm 未満）、石礫（2 mm 以上）、リターに分けて、分画したサンプルの乾燥重量をそれぞれ測定した。

表土侵食量の評価には、年間物質移動量と物質移動レートを用いた（Miura et al. 2002、中森ほか 2012）。年間物質移動量は、測定期間中の直近約 1 年間の移動量（ $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ）とし、豊岡試験地は 2015 年 2 月 19 日~2016 年 2 月 15 日（362 日間）、養父と宍粟調査地は 2015 年 10 月 2 日~2016 年 10 月 4 日（369 日間）、南あわじ調査地は 2015 年 9 月 22 日~2016 年 9 月 16 日（361 日間）までの合計値で示した。物質移動レート（ $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ）は降水量あたりの期間物質移動量で、回収期間内の物質移動量を降水量（mm）で除した値であり、全測定期間のデータを用いて、回収期間ごとの移動レートを算出した。降水量は、豊岡調査地から約 9.9 km 北北西方向に位置する豊岡特別地域気象観測所（豊岡市桜町）、養父調査地から約 0.6 km 西北西に位置する大屋観測所（養父市大屋町山路）、宍粟調査地から約 16.5 km 南南西に位置する一宮観測所（宍粟市一宮町東市場）、南あわじ調査地から約 8.6 km 西に位置する南淡観測所（南あわじ市阿万塩屋町）のデータをそれぞれ使用した。

林床合計被覆率（林床植被率とリター被覆率の合計）を測定するために、各調査区のプロット内の地表面の上に、1 m×1 m のコドラートを置いて写真を撮影した。豊岡調査地の撮影は2015年9月、養父、宍粟、南あわじ調査地は2016年7月に実施した。林床植被率およびリター被覆率を求める方法は、初ほか（2010）に準じた。

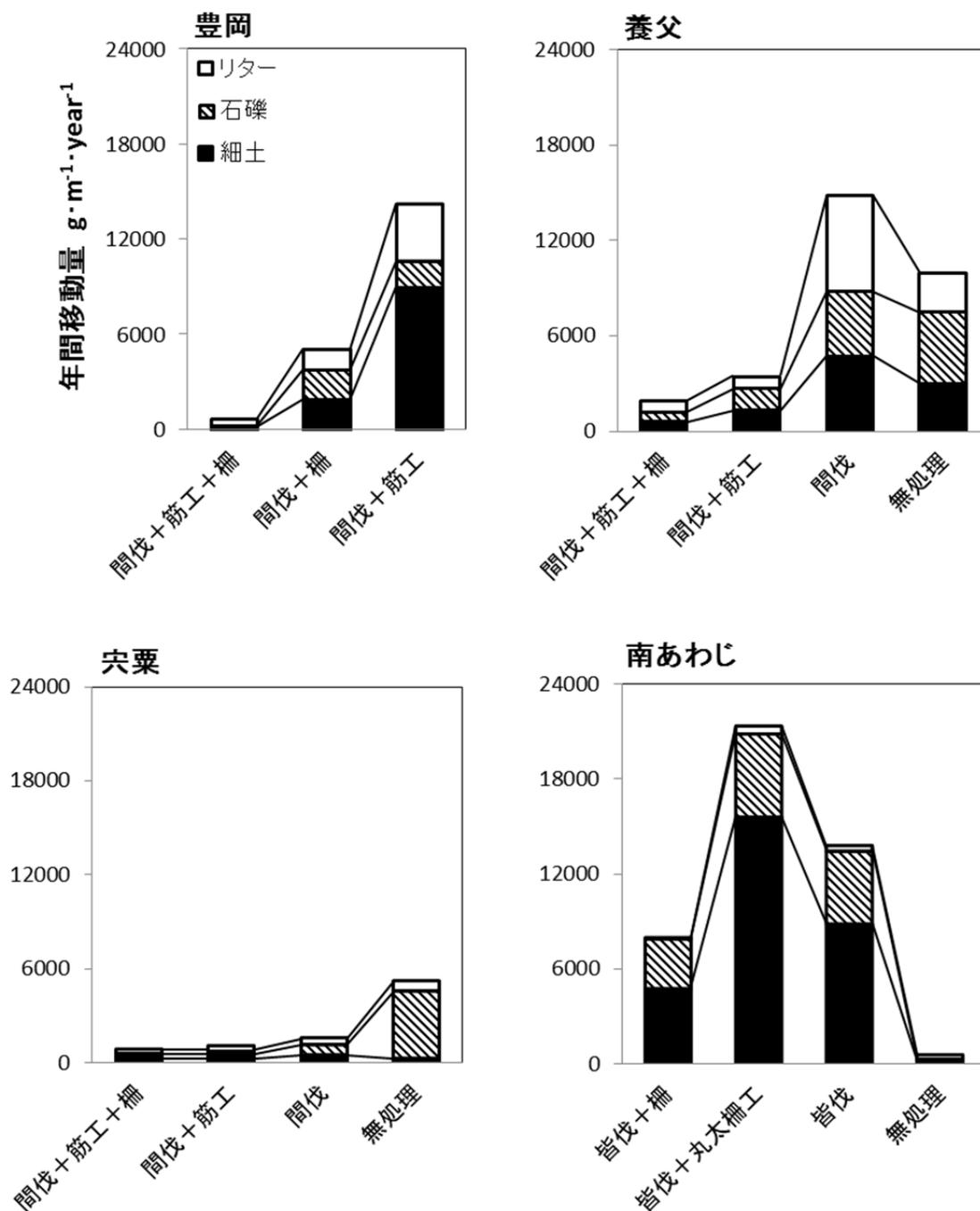


図 7-1 調査地ごとの年間物質移動量

表 7-1 調査区別の移動レートの比較

調査区	豊岡		養父		宍粟	
	細土	リター	細土	リター	細土	リター
間伐+筋工+柵	0.12±0.06	0.06±0.01 a	0.40±0.21	0.86±1.57	0.11±0.07	0.18±0.07 a
間伐+柵	1.75±2.13	1.07±1.42 b	1.23±0.92	—	—	—
間伐+筋工	3.38±7.44	0.66±0.52 ab	1.49±1.85	0.73±0.49	0.20±0.13	0.19±0.08 a
間伐	—	—	—	1.74±1.28	0.56±0.57	0.61±0.69 ab
無処理	—	—	—	2.22±1.69	0.24±0.20	2.77±1.53 c

調査区	南あわじ	
	細土	リター
皆伐+柵	5.71±3.22 a	0.13±0.11
皆伐+丸太柵工	14.12±4.90 b	0.29±0.32
皆伐	11.82±5.71 b	0.52±0.70
無処理	0.15±0.17 c	0.80±0.81

数値は平均±標準偏差、単位は $g \cdot m^{-1} \cdot mm^{-1}$ 。
異なるアルファベット間には有意差あり(Holmの多重比較、 $p < 0.05$)。

表 7-2 林床合計被覆率とその内訳 (林床植被率、リター被覆率)

調査区	豊岡		養父		宍粟	
	林床合計被覆率	植被	リター	林床合計被覆率	植被	リター
間伐+筋工+柵	9.0%	3.5%	5.5%	22.7	5.4	17.3
間伐+柵	6.9	2.0	4.9	—	—	—
間伐+筋工	12.5	4.6	7.9	23.5	8.7	14.8
間伐	—	—	—	31.9	10.4	21.5
無処理	—	—	—	32.4	2.8	29.6

調査区	南あわじ	
	林床合計被覆率	植被
皆伐+柵	77.0	39.8
皆伐+丸太柵工	26.6	13.2
皆伐	30.0	14.6
無処理	100.8	1.8

7-4. 結果

年間物質移動量

調査地ごとの年間物質移動量を図 7-1 に示す。豊岡調査地の年間物質移動量は、細土とリターでは、多い順に間伐+筋工区>間伐+柵区>間伐+筋工+柵区であり、石礫では間伐+柵区>間伐+筋工区>間伐+筋工+柵区の順であった。養父調査地の年間物質移動量は、細土、石礫、リターとも、間伐区>無処理区>間伐+筋工区>間伐+筋工+柵区の順であった。宍粟調査地における細土の年間移動量は、間伐区>無処理区>間伐+筋工区>間伐+筋工+柵区の順に多く、石礫とリターでは無処理区>間伐区>間伐+筋工区>間伐+筋工+柵区の順に多かった。また、南あわじ調査地における細土と石礫の年間移動量は、皆伐+丸太柵工区>皆伐区>皆伐+柵区>無処理区の順に多く、リターでは皆伐+丸太柵工区>皆伐区>無処理区>皆伐+柵区の順に多かった。

物質移動レート

豊岡調査地の石礫移動レートは、間伐+筋工+柵区（平均 $0.06 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）と間伐+柵区（ $1.07 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）の間に有意差がみられた（Holm の多重比較、 $p < 0.05$ 、表 7-1）。細土とリターの移動レートは、3 調査区（間伐+筋工+柵区、間伐+柵区、間伐+筋工区）の間に有意差はみられなかった。

養父調査地は、細土、石礫、リターとも、4 調査区（間伐+筋工+柵区、間伐+筋工区、間伐、無処理）の間に有意差はみられなかった。

宍粟調査地の石礫移動レートは、間伐+筋工+柵区（平均 $0.11 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、間伐+筋工区（ $0.20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、無処理区（ $2.77 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）の間に有意差がみられるとともに、間伐区（ $0.61 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）と無処理区の間でも有意差がみられた（Holm の多重比較、 $p < 0.05$ 、表 7-1）。また、リター移動レートは、間伐+筋工+柵区（平均 $0.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）あるいは間伐+筋工区（ $0.19 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、無処理区（ $0.37 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）の間に有意差がみられた（Holm の多重比較、 $p < 0.05$ 、表 7-1）。

南あわじ調査地の細土移動レートは、皆伐+柵区（平均 $5.71 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、皆伐+丸太柵工区（ $14.12 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）あるいは皆伐区（ $11.82 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、無処理区（ $0.15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）の間に有意差がみられた（Holm の多重比較、 $p < 0.05$ 、表 7-1）。また、石礫移動レートは、皆伐+柵区（平均 $3.49 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、皆伐+丸太柵工区（ $6.34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）、無処理区（ $0.07 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）の間に有意差がみられるとともに、皆伐区（ $7.72 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ）と無処理区の間でも有意差がみられた（Holm の多重比較、 $p < 0.05$ 、表 7-1）。

林床合計被覆率

調査地ごとの林床合計被覆率とその内訳（林床植被率、リター被覆率）を表 7-2 に示す。無処理区の林床合計被覆率は、養父と宍粟調査地（いずれもヒノキ人工林）がそれぞれ 32.4%、18.1%であったのに対し、南あわじ調査地（照葉二次林）は 100.8%であった。また、処理

区の林床合計被覆率は、豊岡調査地が 6.9-12.5 %、養父調査地が 22.7-31.9 %、宍粟調査地が 4.7-13.8 %、南あわじ調査地が 26.6-77.0 %であった。

7-5. 考察

シカによる表土侵食への影響

年間物質移動量は、一部の調査区および移動物質（細土、石礫、リターの別）を除いて、植生保護柵によってシカを排除した調査区の方が少ない傾向がみられた（図 7-1）。物質移動レートでは、宍粟調査地の石礫における間伐＋筋工＋柵区と間伐＋筋工区、あるいは南あわじ調査地の細土における皆伐＋柵区と皆伐区の間で有意差がみられ（表 7-1）、植生保護柵を実施した調査区でいずれも移動レートは少なかった。有意差がみられたこれら 2 調査地のうち、南あわじ調査地では林床合計被覆率が皆伐＋柵区で 77.0 %（林床植被率 39.8 %）、皆伐区で 30.0 %（同 14.6 %）と柵の内外で大きな差がみられた（表 7-2）。林地におけるシカが介在する土壌侵食は、シカの採食による林床植生の衰退と、それに起因する林床におけるリター堆積量の減少が林床合計被覆率の低下を招き、その結果、雨滴による表土侵食が進行することが全国各地から報告されている（例えば、若原ほか 2008、榎木・高橋 2016）。今回、南あわじ調査地における柵設置の有無による調査区間の表土侵食量の差は、シカの影響の有無に伴って林床合計被覆率の差が生じたことに起因しているものと推察される。一方、宍粟調査地では林床合計被覆率が間伐＋筋工＋柵区で 13.8 %（林床植被率 6.5 %）、間伐＋筋工区で 4.7 %（同 1.4 %）と、柵の有無が異なる調査区間で林床合計被覆率の差は小さかった（表 7-2）。それにも関わらず調査区間で物質移動レートに差がみられたことは、シカの採食の影響のみならず、シカの歩行による表土攪乱の有無も物質移動レートの違いに直接的に影響している可能性を示唆している。この考察を支持する報告として、長野県の山地帯において、越冬のため亜高山帯・高山帯より下りてきたシカによる踏み荒らしによって、侵食土砂量の増加をもたらしているとする事例（吉村ほか 2010）がみられる。

表土侵食防止のための土壌保全施設や植生保護柵の効果

皆伐に伴う表土侵食の発生は南あわじ調査地でみられ、細土および石礫移動レートにおける無処理区と皆伐された他の全ての処理区との間で有意差がみられた（表 7-1）。南あわじ調査地の皆伐された全ての処理区では、皆伐に伴い林床合計被覆率が無処理区に比べて大きく減少した（無処理区 100.8 %に対し、皆伐された処理区 77.0-26.6 %）（表 7-2）。調査結果から、これらの林床合計被覆率の減少は主にリター被覆率の減少によるものであった。皆伐された林分では、表土が直射日光にさらされることによって気温が上昇し、リターの分解が急速に進むようになる（河原 1985）。南あわじ調査地の皆伐された処理区では、皆伐によってリターの分解が進み、林床合計被覆率が減少することによって雨滴侵食が生じやすくなり、表土侵食量が無処理区に比べて大幅に増加したものと考えられる。一方で同じ皆伐された処理区でも、皆伐＋柵区では皆伐区に比べ細土の移動レートは有意に少なかった（表 7-1）。また、皆伐＋柵区では皆伐区や無処理区に比べて、林床植被率が著しく高かった（表 7-2）。こ

のことはシカの採食圧の影響がない場合は、皆伐後、林床植生の発達に伴い林床合計被覆率が高まることで表土侵食が抑制されることを示唆している。以上のことを考え合わせると、シカの生息密度の高い地域において皆伐された林地では、シカの採食圧の影響により林床植被率が高まらないまま、リターの分解によって林床合計被覆率が一方的に減少する結果、表土侵食が著しく増加するリスクがあるといえる。一方、植生保護柵の設置は林床植被率を高める効果があることから（例えば *Nomiya et al.* 2003）、土壌保全を図るうえで有効な取り組みであると考えられる。今回、南あわじ調査地の皆伐+丸太柵工区では皆伐区との間に移動レートに違いがみられず（表 7-1）、期待したような表土侵食防止効果は認められなかった。この理由としては、皆伐+丸太柵工区では、皆伐区と同様にシカの採食の影響で林床植生の発達が進まなかったことが考えられる。加えて、丸太柵と地表の間に隙間が空いた状態で施工されていたため、土砂が丸太柵工に捕捉されず、結果として十分な侵食防止効果が発揮されなかった可能性もある。シカの生息密度が高い地域の皆伐地における丸太柵工の表土侵食防止効果については、今後この施工上の問題を改善した上での再評価が必要である。

次に、間伐は皆伐と異なり、伐採時の地表攪乱が少なく、伐採後に表土が直射日光に晒されることが相対的に少ないためにリター分解が速くならないことから、リター被覆率の減少をほとんど生じさせない伐採手法といえる。一方で、間伐による光環境の改善に伴う林床植生の発達が期待できることから、林床合計被覆率を高めて表土侵食を抑制するうえで有効な施業手法であると考えられる。実際に急傾斜ヒノキ林での森林管理では、植生回復を促すことで林地の土壌保全が図られることが確認されている（中森ほか 2012）。さらに、兵庫県では、『災害に強い森づくり』の緊急防災林整備（兵庫県 2015）において、間伐実施時に間伐木を利用した筋工を実施することで（写真 7-1）、林床合計被覆率の向上と筋工による土砂移動防止効果の相乗効果によって、表面侵食防止効果がより高まることも確認されている。しかし、今回の調査結果において、シカの生息密度が高い宍粟調査地では、石礫の移動レートは間伐+筋工区よりも間伐+筋工+柵区の方が少ない傾向がみられた（表 7-1）。このことはシカの生息密度が高い地域では、間伐によって林内の光環境が好転してもシカの採食圧の影響により林床植生の増加が進まないため、筋工の効果がシカの影響がない地域と比較して十分に発揮されないことを示唆している。一方、同じく間伐木による筋工を実施した豊岡調査地の石礫移動レートは、間伐+柵区よりも間伐+筋工+柵区の方が少ない傾向がみられた（表 7-1）。豊岡調査地の間伐+筋工+柵区における年間物質移動量は $716.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ であった（図 7-1）。この値は、シカの影響がない地域での間伐+筋工区の年間物質移動量（ $403.2\text{-}5080.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ）（山瀬ほか 2010）と同程度あるいはそれ以下である。以上の事実は、シカの生息密度が高い地域においても、柵を設置してシカを排除した場合は、シカの影響がない地域と同様に筋工が表土侵食防止に有効に作用することを示唆している。つまり、シカ生息密度の高い地域では、筋工や丸太柵工などの土壌保全施設あるいは植生保護柵のどちらか一方を設置するのではなく、両者を併用することによって十分な土壌保全効果が得られるといえよう。

謝辞

本調査を進めるにあたり、兵庫県立農林水産技術総合センター森林林業技術センターの中川勉氏、橋本忠義氏には、土砂回収とその処理で大変お世話になりました。ここに感謝するとともにお礼申し上げます。

引用文献

- 榎木勉・高橋一太（2016）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—。九大演報 97: 1-6.
- 藤木大介・酒田真澄美・芝原淳・境米造・井上巖夫（2014）関西 4 府県を対象としたニホンジカの影響による落葉広葉樹林の衰退状況の推定。日緑工誌 39: 374-380.
- 藤木大介（2017a）兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカによる下層植生衰退度の変動と捕獲の効果（2010 年～2014 年）。「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術Ⅱ」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 9 号, pp.1-16. 兵庫県森林動物研究センター.
- 藤木大介（2017b）淡路島の広葉樹林におけるニホンジカによる植生の衰退について—2012 年と 2015 年の状況—.「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術Ⅱ」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 9 号, pp.17-28. 兵庫県森林動物研究センター.
- 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との関係。日林誌 92: 261-268.
- 林一六（1977）埋土種子集団。沼田真編, 群落の遷移とその機構—植物生態学講座 4—, 朝倉書店, pp.193-203.
- 兵庫県（2015）緊急防災林整備、http://web.pref.hyogo.lg.jp/nk21/af15_000000009.html（2016 年 11 月 27 日参照）
- 兵庫県森林動物研究センター（2015）2014 年シカ生息状況。兵庫県野生動物管理データ集、http://www.wmi-hyogo.jp/ym/data/map/gc02/gc02_mitsudo_sika2014.png（2016 年 11 月 27 日参照）
- 石川芳治・白木克繁・戸田浩人・浅野敬尋・鈴木雅一・内山佳美（2007）V 堂平地区における緊急土壌侵食対策試験施工の土壌侵食軽減効果。丹沢大山総合調査学術報告書: 459-468.
- 岩川雄幸・石塚和裕・井上輝一郎（1984）ヒノキ林の地表侵食・枝下高の違いが地上侵食に及ぼす影響。昭和 58 年度林誌四国支年報: 22-23.
- 環境省（2016）特定鳥獣保護・管理計画作成のためのガイドライン（ニホンジカ編・平成 27 年度）。環境省自然環境局野生生物課鳥獣保護管理室, 84pp.
- 河原輝彦（1985）森林生態系における炭素の循環—リターフォール量とその分解速度を中心として—. 林試研報 334: 21-52.

- Miura, S, Hirai, K, Yamada, T (2002) Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. *Journal of Forest Research* 7: 201-211.
- 水垣滋 (2008) 人工林の土壌侵食に関する従来の研究. 「人工林荒廃と水・土砂流出の実態」, 恩田裕一編, pp.112-117. 岩波書店, 東京.
- 中森由美子・瀧井忠人・三浦覚 (2012) 急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土、土砂、リター移動量の変化. 日林誌 94: 120-126.
- Nomiya H, Suzuki W, Kanazashi T, Shibata M, Tanaka H, Nakashizuka T (2003) The response of forest floor vegetation and tree regeneration to deer exclusion and disturbance in a riparian deciduous forest, central Japan. *Plant Ecol* 164: 263-276.
- 佐藤重穂・酒井敦 (2003) 鳥類による種子散布が針葉樹人工林伐採跡地の植生回復に果たす役割. 森林応用研究 12: 23-28.
- 島田博匡 (2016) ニホンジカ高密度生息地域のヒノキ人工林における間伐後の表土移動に影響する要因. 日緑工誌 42: 204-207.
- 鈴木秀夫 (1962) 日本の気候区分. 地理学評論 35: 205-211.
- 塚越剛史・三好充和・鈴木祐紀・米道学・里見重成・阿達康眞・軽込勉・鈴木牧・山田利博 (2012) 伐採と防鹿柵の設置が広葉樹二次林のリター・土砂移動量に与える短期的影響. 演習林 (東大) 52: 307-317.
- 内田圭・藤木大介・岸本康誉 (2012) 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカによる土壌侵食被害の現状. 「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術」, 兵庫ワイルドモノグラフ 4号, pp.69-84. 兵庫県森林動物研究センター.
- 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—. 日林誌 90: 378-385.
- 渡邊仁志・井川原弘一・茂木靖和・横井秀一・平井敬三 (2016) 植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ、スギ、アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響. 日林誌 98: 193-198.
- 山瀬敬太郎・田中義則 (2003) ヒノキ人工林における間伐木を利用した丸太筋工の効果. 森林立地 45: 89-92.
- 山瀬敬太郎・田中義則 (2007) アカマツ林・コナラ林における森林整備後の土砂移動量. 兵庫農技総研報 (森林林業編) 54: 14-18.
- 山瀬敬太郎・関岡裕明・栃本大介・藤堂千景 (2009) 森林の侵食土砂中に含まれる埋土種子量. 日緑工誌 35: 130-133.
- 山瀬敬太郎・栃本大介・関岡裕明・藤堂千景 (2010) 間伐木を利用した筋工による森林表土の流亡抑制. 日緑工誌 36: 9-14.
- 山瀬敬太郎・藤堂千景・柴原隆 (2014) ニホンジカ高密度生息域における森林伐採 10 年後の埋土種子相. 日緑工誌 40: 265-268.
- 吉村綾・小野裕・北原曜 (2010) 高山帯におけるシカの食害が土壌侵食に及ぼす影響. 日本森林学会大会発表データベース 121: 197.