

論文

間伐とシカ排除柵設置がスギの幹成長に及ぼす直接的・間接的影響

— 芦生の未間伐スギ人工林における事例 —

松山 周平^{*1}・福島慶太郎^{*2}・白澤 紘明^{*3}・向 昌宏^{*}・平井 岳志^{*}・
境 慎二郎^{*}・石原 正恵^{*4}・岩井 有加^{**5}・八木 弥生^{**6}・谷 鑫^{**}・
立岩沙知子^{**}・長谷川尚史^{*}・吉岡 崇仁^{*}

Direct and indirect effects of thinning and deer exclosure on stem growth in *Cryptomeria japonica*

— a case in Japanese cedar plantation with delayed thinning in Ashiu —

Shuhei MATSUYAMA^{*1}, Keitaro FUKUSHIMA^{*2}, Hiroaki SHIRASAWA^{*3}, Masahiro MUKAI^{*},
Takeshi HIRAI^{*}, Shinjiro SAKAI^{*}, Masae IWAMOTO ISHIHARA^{*4}, Yuka IWAI^{**5}, Yayoi YAGI^{**6},
Xin GU^{**}, Sachiko TATEIWA^{**}, Hisashi HASEGAWA^{*}, Takahito YOSHIOKA^{*}

間伐やシカ排除柵の設置を、立地環境が悪く、間伐が遅れているスギ人工林において検討した事例は見当たらない。このようなスギ人工林では間伐の効果がほとんどない可能性があり、また、シカ排除柵の設置は下層植生の増加を通じてスギの直径成長を間接的に抑制するかもしれない。そこで本研究では、間伐とシカ排除柵がスギの定期直径成長量および下層植生の植被率・群落高に及ぼす効果を芦生研究林にある未間伐の40年生スギ人工林で調べた。間伐試験では、定期直径成長量は間伐区で有意に大きくなっており、40年生の未間伐スギ人工林でも間伐は残存木の直径成長を促進することが示された。下層植生の植被率と群落高は間伐の有無で違いはほとんどなく、間伐が下層植生の変化を通じてスギの成長に及ぼす影響はよくわからなかった。シカ排除試験では植被率と群落高は柵内で有意に大きくなっていて、柵内外の定期直径成長量の違いは認められなかった。下層植生の植被率・群落高が大きくなるにもかかわらずスギの直径成長量が抑制されない原因はよくわからなかったが、少なくとも間伐後3年目の時点では、シカ排除柵の設置はスギの直径成長を抑制しないことが示唆された。

キーワード：スギ・人工林・間伐・定期直径成長量・下層植生

Effect of thinning and deer exclosure on periodic annual increments in diameter of *Cryptomeria japonica* and vegetation coverage and height were investigated in a 40 years cedar plantation in Ashiu, Japan. We examined whether thinning promotes stem growth of cedars in plantation with delayed thinning on bad growing condition and whether the deer exclosure restrict the stem growth through competition between cedars and understories. In thinning experiment, periodic annual increments in diameter was significantly larger for individuals in thinning plot than those in control plot, indicating that the thinning was effective for a plantation with delayed thinning on bad growing condition to promote diameter growth

* 京都大学フィールド科学教育研究センター

** 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻

* Field Science Education and Research Center, Kyoto University

** Division of Forest and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

現在の所属：

¹ 酪農学園大学農食環境学群

² 首都大学東京都市環境学部

³ 信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター

⁴ 広島大学大学院国際協力研究科

⁵ 古川ちいきの総合研究所

⁶ 兵庫県庁

¹ College of Agriculture, Food and Environmental Sciences, Rakuno Gakuen University

² Faculty and Graduate School of Urban Environmental Science, Tokyo Metropolitan University

³ Education and Research Center of Alpine Field Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

⁴ Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University

⁵ Furukawa CHIIKINO Consulting Inc.

⁶ Hyogo Prefecture

of cedars. Effect of thinning on vegetation cover and height was not significant in the thinning experiment, and hence, the indirect effect of thinning on the stem growth through understory vegetation was obscure. Deer enclosure significantly increased the vegetation cover and height, whereas the diameter growth of cedars inside fence was not different from that of cedars outside fence. These results show that the deer enclosure does not reduce diameter growth of cedars within three years. However, how the effect of understory on the growth of cedars was reduced remains unsolved.

Key Words: *Cryptomeria japonica*, plantation, thinning, periodic annual increments in diameter, understory vegetation

1. はじめに

日本には約 2500 万 ha の森林があり、そのうちの 4 割は人工林である (FAO, <http://faostat3.fao.org/home/E>). 人工林の木材資源管理における近年の問題としては間伐遅れの林が多いこと (環境省, 2010) とシカによる林業被害の増加があげられる (芝原ら, 2014). 間伐遅れの人工林に対しては間伐が推奨されているが、残存木がどのような成長を示すのかを調べた事例 (e.g., 大住ら, 2000) が十分にあるとはいいがたい状況にある。また、シカによる林業被害には、ある程度成長した造林木に対する樹皮剥ぎや (横田, 2011), 新たに植えた苗木に対する食害があり (大井, 1999), 間伐期に入った人工林では前者が問題となる。シカ排除柵の設置は樹皮剥ぎを防ぐ有効な手段の一つであると考えられるが、間伐とシカ排除柵の両方の効果を検討した研究はまだない。

間伐は一時の収益を得ると共に、残された立木の成長を促進するための伐採であり、通例 10 ~ 20 年生で開始する (相場, 1987). 一般に、林齢に伴って成長速度は遅くなり、間伐による成長促進効果も弱くなってくると言われている。そのため、間伐遅れの人工林では間伐の効果が小さくなると予想される。しかし、10~20 年で間伐を行う施業スケジュールは 60 年程度の伐期に合わせているものであり (大住ら, 2000), 東北地方の天然生のスギ林では 100 年を超える林分での間伐も成長促進効果があるところを見ると (大住ら, 2000; 澤田ら, 2007), 間伐遅れの人工林においても成長速促進効果は十分期待できる。ただし、立地環境の悪い林分では、スギと下層植生の種間関係の違い (吉川・國崎, 2014) や養分の不足など、周囲の樹木による被圧以外の要因がスギの成長を抑制している可能性があり、地位の劣る人工林でも間伐の効果を検討する必要がある。

シカ排除柵はシカによる採食のために衰退した植生を回復するのに用いられてきた (Nomiya et al., 2002; 阪口ら, 2012; 石原ら, 2012). そのため、シカ排除柵を人工林に設置した場合、樹皮剥ぎ、苗の枝葉の摂食といった林業被害は防げるものの、下層植生量は増加する。シカの樹皮剥ぎによる枯死木の発生や稚樹・草本の摂食が進んだ結果、残存木の成長が促進されたという事例報告が

あることを考えると (宮木・梶, 2003; Miyaki and Kaji, 2009), 反対に下層植生が増加すると造林木の成長を抑制する可能性が考えられるが、下層植生と造林木の成長の対応関係を調べた研究は知られていない。

京都大学フィールド科学教育研究センター芦生演習林 (京都府南丹市) は冷温帯の多雪地域に位置する。研究林内にある宮ノ森では 2012 年に 40 年生の未間伐スギ人工林に間伐試験区、シカ排除試験区が設置された (松山ら, 2013). 宮ノ森は地位 3 より低い立地で、造林木の成長はあまり良くなかった (松山ら, 2012). これは宮ノ森のスギの成長は周囲の樹木による被圧以外の要因で成長が制限されている可能性を示しており、立地の良い秋田県や岩手県の事例 (大住ら, 2000; 國崎・蘆谷, 2006; 澤田ら, 2007) とは異なり、間伐の効果はほとんどない可能性がある。

本研究では、立地環境が悪く間伐が遅れている未間伐スギ人工林において間伐がスギの直径成長を促進するかどうかを調べるため、試験開始から 3 年目の林分でスギの成長量を解析した。さらに、間伐やシカ排除柵の設置が下層植生量の変化を通じてスギの成長に影響を与えるかどうかを検討するため、下層植生の植被率と群落高を調べ、スギの成長と下層植生の対応関係を分析した。

2. 材料と方法

2. 1. 対象地

調査は京都大学フィールド科学教育研究センター芦生研究林の宮ノ森 (標高約 750 m, 北緯 35°20', 東経 135°45', 面積 1.56ha) で行なった。調査地の年平均気温は気象観測がなされている芦生研究林事務所に比べて平均気温が約 2°C 低く、年降水量は約 400mm 多いことから、年平均気温は約 10°C, 年降水量は約 2700mm と推定される (安藤ら, 1989; 京都大学フィールド科学教育研究センター, 2012).

宮ノ森は芦生研究林の 15 林班、桂谷 3 号地 (6.19ha) の一集水域で、1972 年にスギ・ヒノキが 1680 本/ha で植栽された人工林である (表 1). スギを主体とした林で、ヒノキは上部の尾根沿いにのみ植栽されている。当地ではスギの補植、枝打ち、除伐は行われたが間伐は行われ

なかった（表1）。2011年に伐採の事前調査が行われ、2012年6月に本数で44.3%の強度間伐が行われた。集材上の理由から集水域の谷筋を軸とし、魚骨状に搬出間伐された。ただし、林内の一部に未間伐の部分と、間伐部分の中にシカ排除柵が設けられた（松山ら, 2013）。したがって宮ノ森には、未間伐・柵外、間伐・柵外、間伐・柵内という3つの条件があり、未間伐・柵外と間伐・柵外、間伐・柵外と間伐・柵内を比較することにより間伐の影響とシカ排除柵の影響をそれぞれ見ることができる。未間伐・柵内という条件も本調査地内に設定する計画であったが、間伐が計画通りにできなかったため設定できなかった。

2011年に間伐前の毎木調査と下層植生調査を行い、間伐を行った後の2012年の7月には、残存木調査と下層植生調査を実施した（表1）。その後毎木調査は2013年4月、2013年11月、2014年11月にそれぞれ行った。

下層植生調査は2013年8月、2014年8月に行われた。下層植生の調査時期が2012年以前と以後で異なっているのは、間伐後に増加してきたダンドボロギク *Erechtites hieracifolia* やベニバナボロギク *Crassocephalum crepidioides* など真夏に旺盛に生長する種を含めて群落高を評価し、これら大型の草本が優占する前に見られる種を調べるためである。

本調査地は日本海側の多雪地帯にあたるため、強度間伐後の風雪害が懸念されたが、間伐から3年目に入った時点での立枯れ及び倒木は残存木1052本中14本であった。

2.2. スギ立木の直径成長

2011年11月、2013年4月、2013年11月、2014年11月に測定した調査地内のスギの胸高直径データを用いた（附表1）。2011年11月とその後3回の調査におけ

表1 宮ノ森スギ人工林における施業と調査の履歴。施業の履歴は造林台帳（京都大学フィールド科学教育研究センター提供）より抜粋。Table 1. History summary of management and survey in Miyanomori cedar plantation. Histories of management was extracted from plantation ledger (provided by Kyoto University Field Science Education and Research Center).

Year	Management	Tree census	Vegetation survey
1972	Planting (Cedar, Cypress) (Jun)		
1973	Supplemental planting (Cedar) (May)		
1975	Supplemental planting (Cedar) (Apr)		
1983	Pruning, cleaning		
1989	Pruning, cleaning		
2011		Nov	Jul
2012	Thinning (Jun)		Jul
2013		Apr, Nov	Aug
2014		Nov	Aug

表2 2011～2014年の間伐試験（a）およびシカ排除柵試験（b）におけるスギの胸高直径の平均値と標準誤差。P値はt検定に基づく。Table 2. Diameter at breast height on thinning examination plot (a) and exclosure experiment plot (b) in 2011-2014. Means and standard errors are shown. P-values are from t-test.

(a)

Time	Control outside fence (506)	Thinning outside fence (204)	P
Initial	21.6 ± 0.3	24.6 ± 0.5	< 0.001
2012	22.1 ± 0.3	25.3 ± 0.5	< 0.001
2013	22.4 ± 0.3	25.8 ± 0.5	< 0.001
2014	22.6 ± 0.3	26.3 ± 0.5	< 0.001

(b)

Time	Thinning outside fence (199)	Thinning inside fence (35)	P
Initial	24.1 ± 0.5	28.9 ± 1.1	< 0.001
2012	24.7 ± 0.5	29.2 ± 1.1	< 0.001
2013	25.5 ± 0.5	30.1 ± 1.1	< 0.001
2014	26.1 ± 0.5	30.9 ± 1.2	< 0.001

る胸高直径の平均値を条件間で比較した。2011 年 11 月～2014 年 11 月の直径成長量を 3 で割って、定期直径成長量を算出し、処理間で比較した。年毎ではなく 3 年間の直径成長量を用いたのは測定誤差の影響を小さくするためである。

宮ノ森には谷を挟んで北東・北西向きの二つの斜面があり、北東向きの斜面に未間伐・柵外、間伐・柵外、間伐・柵内の 3 つの条件があり、北西向きの斜面に未間伐・柵外、間伐・柵外の 2 つの条件がある。斜面は南北に幾分傾斜しており、北東向き斜面の未間伐・柵外は下方、間伐・柵外は中程、間伐・柵内は上方に位置し、北西向き斜面の未間伐・柵外は中程、間伐・柵外は下方と上方に位置する。そのため、間伐効果の比較では斜面上方の、排除柵効果の比較では斜面下方のスギをそれぞれ解析から除外した。ただし、事前の解析でスギの直径は斜面方位間で差がなかったことから、2 つの斜面のデータはプールして解析した。

2. 3. 下層植生の植被率と群落高

下層植生の調査では、2011 年 7 月に設置された植生調査コドラートを追跡調査した（松山ら, 2012）。2012 年 7 月, 2013 年 8 月, 2014 年 8 月に植生調査コドラート内の維管束植物の植被率, 群落高を測定した。コドラートは未間伐・柵外に 12 点, 間伐・柵外に 46 点, 間伐・柵内に 8 点であった。コドラートの直上から写真をスケールと共に撮影し、画像解析により植被率を 1% 単位で測定した。画像解析には Image J (Rasband, 1997) を用いた。群落高はコドラート内の四隅と中心の 5 点で測定し、平均した。これらのデータと 2011 年 7 月の植被率と群落高（松山ら, 2012）のデータを合わせて解析した。

2. 4. 統計解析

すべての解析は R 3.0.2 (R Core Team, 2013) を用いて行った。年ごとの胸高直径は t 検定で処理間（間伐

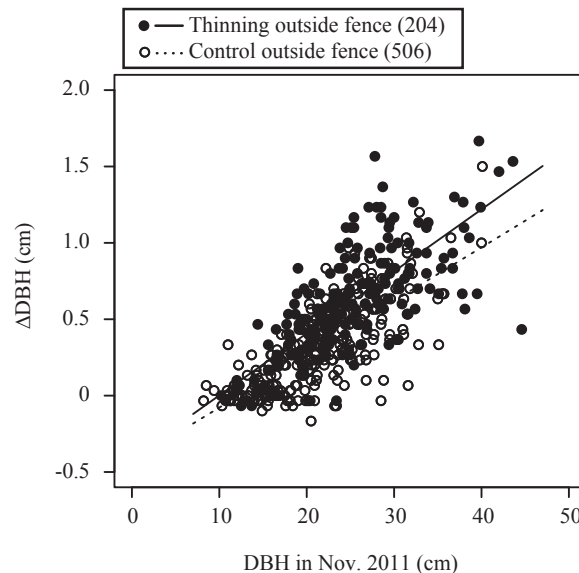


図1 間伐試験におけるスギの初期胸高直径と定期直径成長量の対散布図。黒、白の点はそれぞれ間伐・柵外、未間伐・柵外の値を表す。実線、破線はそれぞれ間伐・柵外、未間伐・柵外の値を直線回帰した時の回帰線を表す。凡例欄の括弧内の数はサンプルサイズを示す。

Fig. 1. Relationship between DBH in Nov. 2011 and increment per year (Δ DBH) of *Cryptomeria japonica* in the thinning experiment. Black and white circles denote values for “thinning outside fence” and “control outside fence”, respectively. Solid and dotted lines denote regression lines for “thinning outside fence” and “control outside fence”, respectively. Numbers in parenthesis in legends show sample size.

表3 間伐試験におけるスギ定期直径成長量についての分散分析表。

Table 3. Summary of ANCOVA on mean diameter growth (cm / y) of cedars in the thinning experiment.

Variables	d.f.	Sum of Square	F	P
Size (DBH in Nov. 2011)	1	45.41	982.750	< 0.001
Thinning	1	3.40	73.518	< 0.001
Size $\times$ Thinning	1	0.20	4.341	0.038
Residuals	706	32.62		

vs. 未間伐, 排除柵内 vs. 排除柵外) の差を比較した. 定期直径成長量における間伐もしくはシカ排除柵の効果は ANCOVA により解析した. 樹木の成長量の分析では個体サイズの違いを考慮するために, 相対成長率をよく用いるが, 相対成長率では個体サイズの違いを十分に標準化できていなかったため, 直径成長量と個体サイズの相関関係を比較することにした. これにより, 初期個体サイズ (2011 年の胸高直径) の違いも考慮される (表 2). 植被率と群落高はそれぞれ ANOVA で処理の効果を比較した. 植被率はアークサイン変換して解析した.

3. 結果

間伐効果の比較及び排除柵効果の比較におけるスギの胸高直径の平均値と標準誤差を表 2 に示した. いずれも胸高直径の平均値は年々大きくなっており, 間伐・柵外の胸高直径は未間伐・柵外よりも大きく, また, 間伐・柵内の胸高直径は間伐・柵外よりも大きかった. 間伐効果の比較において, スギの個体サイズと定期直径成長量の回帰直線の傾きは未間伐・柵外よりも間伐・柵外で大きくなっていった (図 1). この傾きの違いは統計的に有意であった (表 3).

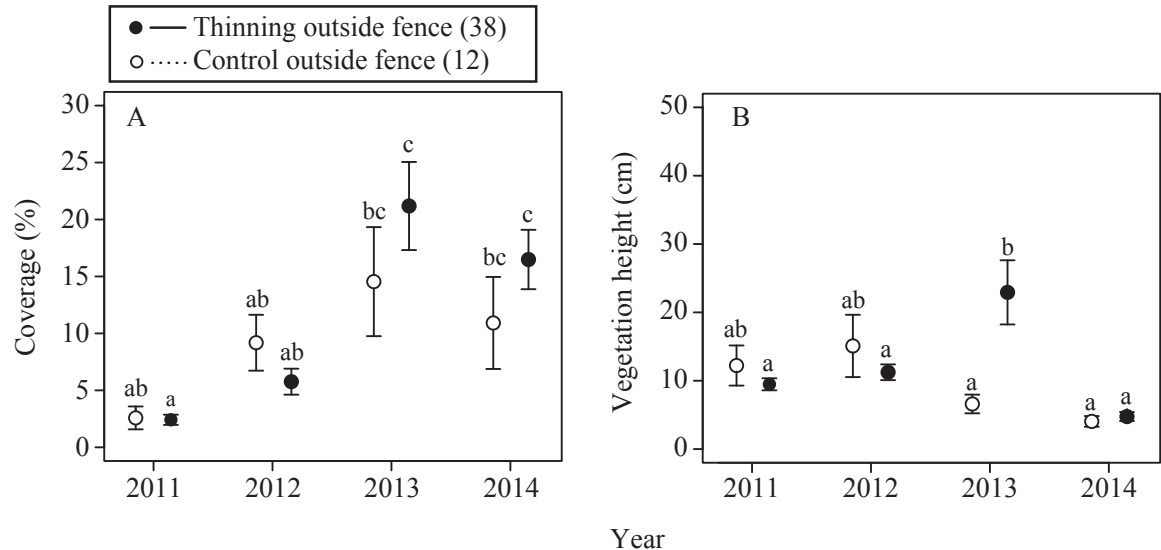


図 2 間伐試験における下層植生の植被率 (A) と群落高 (B) の平均値と標準誤差. 黒, 白の点はそれぞれ間伐・柵外, 未間伐・柵外の値を表す. 異なるアルファベットは Tukey HSD 検定で有意な差 ($P < 0.05$) があることを意味する. 凡例欄の括弧内の数はサンプルサイズを示す.

Fig. 2. Coverage (A) and vegetation height (B) of understory in the thinning experiment. Plots and bars show means and standard errors, respectively. Black and white denote “thinning outside fence” and “control outside fence”, respectively. Different letters indicate statistical significance between groups at the $P < 0.05$, based on Tukey HSD test. Numbers in parenthesis in legends show sample size.

表 4 間伐試験における下層植生の植被率 (a) および群落高 (b) についての分散分析表.
Table 4. Summary of ANOVA on vegetation coverage (a) and vegetation height (b) in the thinning experiment.

(a)				
Variables	d.f.	Sum of Square	<i>F</i>	<i>P</i>
Year	3	1.111	16.336	< 0.001
Thinning	1	0.022	0.956	0.329
Year × Thinning	3	0.070	1.022	0.384
Residuals	201	4.603		
(b)				
Variables	d.f.	Sum of Square	<i>F</i>	<i>P</i>
Year	3	5323	9.567	< 0.001
Thinning	1	261	1.407	0.237
Year × Thinning	3	2356	4.235	0.006
Residuals	201	37280		

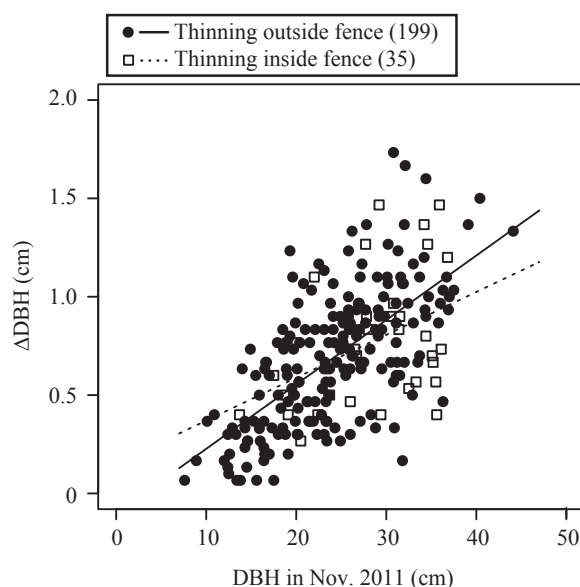


図3 シカ排除柵試験におけるスギの初期胸高直径と定期直径成長量の対散布図。黒、白の点はそれぞれ間伐・柵外、間伐・柵内の値を表す。実線、破線はそれぞれ間伐・柵外、間伐・柵内の値を直線回帰した時の回帰線を表す。凡例欄の括弧内の数はサンプルサイズを示す。

Fig. 3. Relationship between DBH in Nov. 2011 and increment per year (Δ DBH) of *Cryptomeria japonica* in the deer enclosure experiment. Black and white circles denote values for “thinning outside fence” and “thinning inside fence”, respectively. Solid and dotted lines denote regression lines for “thinning outside fence” and “thinning inside fence”, respectively. Numbers in parenthesis in legends show sample size.

表5 シカ排除試験におけるスギ直径成長についての分散分析表。

Table 5. Summary of ANCOVA (a) and ANOVA (b) on mean diameter growth (cm / y) of cedars in the deer enclosure experiment.

(a)				
Variables	d.f.	Sum of Square	<i>F</i>	<i>P</i>
Size (DBH in Nov. 2011)	1	10.698	150.110	< 0.001
Fence	1	0.078	1.092	0.297
Size × Fence	1	0.139	1.946	0.164
Residuals	228	16.250		
(b)				
Variables	d.f.	Sum of Square	<i>F</i>	<i>P</i>
Size (DBH in Nov. 2011)	1	10.698	149.493	< 0.001
Fence	1	0.078	1.088	0.298
Residuals	229	16.388		

間伐効果の比較における下層植生の植被率と群落高の年次変化を図2に示した。植被率と群落高は年によって有意に異なる傾向が認められ、2013年の間伐・柵外の群落高は未間伐・柵外よりも有意に高くなっていたが、他の年では有意差は認められなかった(表4)。

排除柵効果の比較において、スギの個体サイズと定期直径成長量の回帰直線は間伐・柵内よりも間伐・柵外で傾きは大きかったが、傾きの違いは有意ではなかった(図3, 表5)。また、回帰直線の傾きが等しいと見た場合、柵外と柵内の違いは有意ではなかった(表5b)。

排除柵効果の比較における下層植生の植被率と群落高

の年次変化を図4に示した。シカ排除効果の比較では植被率と群落高は年次と柵の交互作用が統計的に有意であり、2013年、2014年に柵内で高い傾向が認められた(表6)。

4. 考察

間伐試験において個体サイズに対する定期直径成長量の回帰直線を間伐・柵外と未間伐・柵外で比較したところ、対象木の直径範囲内において間伐・柵外の間伐直線は未間伐・柵外よりも常に上にあり、傾きも有意に大き

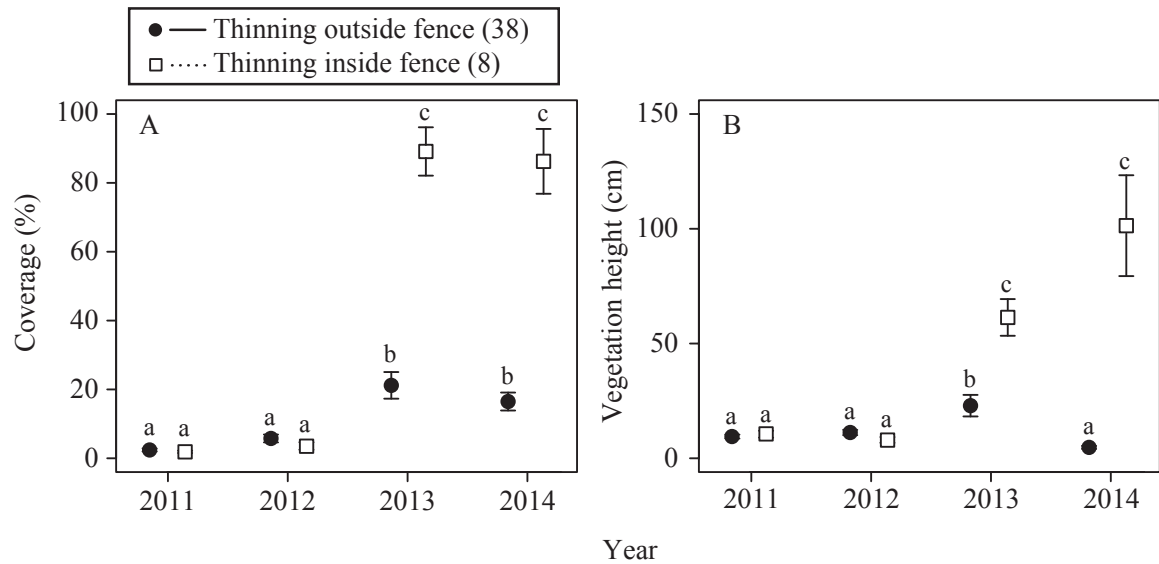


図4 シカ排除試験における下層植生の植被率 (A) と群落高 (B) の平均値と標準誤差。黒、白の点はそれぞれ間伐・柵外、間伐・柵内の値を表す。異なるアルファベットは Tukey HSD 検定で有意な差 ($P < 0.05$) があることを意味する。凡例欄の括弧内の数はサンプルサイズを示す。

Fig. 4. Coverage (A) and vegetation height (B) of understory in the deer exclusion experiment. Plots and bars show means and standard errors, respectively. Black and white denote "thinning outside fence" and "thinning inside fence", respectively. Different letters indicate statistical significance between groups at the $P < 0.05$, based on Tukey HSD test. Numbers in parenthesis in legends show sample size.

表6 シカ排除試験における下層植生の植被率 (a) および群落高 (b) についての分散分析表。
Table 6. Summary of ANOVA on vegetation coverage (a) and vegetation height (b) in the deer exclusion experiment.

(a)				
Variables	d.f.	Sum of Square	<i>F</i>	<i>P</i>
Year	3	5.562	52.76	< 0.001
Fence	1	7.161	203.78	< 0.001
Year × Fence	3	7.231	68.59	< 0.001
Residuals	188	6.607		

(b)				
Variables	d.f.	Sum of Square	<i>F</i>	<i>P</i>
Year	3	12837	12.35	< 0.001
Fence	1	30092	86.86	< 0.001
Year × Fence	3	41908	40.32	< 0.001
Residuals	188	64438		

かった (図1, 表3)。これらは、冷温帯の立地環境の悪い40年生未間伐スギ人工林においても、間伐による直径成長の促進効果があり、その効果は直径の大きいスギにおいて大きいことを示唆した。

東北地方において、最初の間伐が植栽後49年目に行われた人工林や (大住ら, 2000), 100年生を超える高齢級の林分でも間伐により成長が改善する個体があることが報告されていることから (國崎・藁谷, 2006; 澤田, 2007), 40年生の未間伐スギの成長が改善したことは特異な事例ではない。ただし、よく似た林齢での間伐事例と比較すると、直径成長量の増加はそれほど大きくはなかった。荒木ら (2010) が33年生スギ人工林で強度間

伐 (本数間伐率62%) を行って直径成長量を調べたところ、間伐前は年0.5 cm程度であったものが間伐後は年1.0 cm程に増加していた。これに対し、本研究の間伐・柵外における平均定期直径成長量は0.3cmほどから0.6 cmほどに増加したが、いずれも荒木ら (2010) の報告よりも小さかった。荒木ら (2010) に比べて定期直径成長量の増加が小さかった原因として、本調査地は荒木ら (2010) が調査した鹿児島県に比べて冷涼なことや間伐率・地位が低いことが挙げられる。加えて、荒木ら (2010) では定性間伐が採用されたのに対し、宮ノ森では列状間伐が採用された影響もあるのかもしれない。列状間伐は一定の割合で成長率の高い木と低い木が残ることから、

森林の価値を効率良く高めていくことに即していないと言われている（藤森，2010）。図1で見られた初期個体サイズと定期直径成長量の間の正の相関は，大きな個体ほど間伐による成長促進効果が大きいことを示唆している。すなわち，間伐遅れの人工林で間伐を行う場合でも劣勢木の伐採を重視するなど選木の仕方によっては残存木の成長促進効果に違いが生じることを示唆しており，列状間伐という方法が林分全体の間伐の効果を小さくした可能性がある。

では，間伐試験においてスギの直径成長と下層植生の植被率や群落高とは対応があるのだろうか。間伐・柵外では下層植生量が増加し，その間接的な影響がスギの直径成長に影響するかもしれないと考えたが，間伐・柵外と未間伐・柵外の植被率に有意な差は認められず，群落高の差も2013年を除いて小さかった（図2）。すなわち，間伐・柵外と未間伐・柵外では植被率と群落高が同程度になるまでシカによる採食を受けており，間伐による下層植生の増加がスギの成長に及ぼす影響は分からなかった。間伐による下層植生の増加がスギの成長に及ぼす影響については，間伐・柵外でシカ不嗜好性植物が旺盛に繁茂するような状況になった際に再検討すべきである。

シカ排除試験では，下層植生の植被率と群落高は間伐・柵内で有意に大きくなっていた（図4，表6）。一方，初期個体サイズに対する定期直径成長量の傾きは柵内よりも柵外で大きくなっていたものの，統計的に有意ではなかった（表5）。この結果は，少なくとも短期的には，人工林でのシカ排除柵の設置がスギの直径成長を抑制するものではないことを示している。光・水・土壌養分といった同じ資源を利用する植物種間でも多種が共存する場合ではニッチ分割が起こっている可能性が指摘されている（Silvertown, 2008）。上層木であるスギは光を得やすいものの，相対的に水・養分は不足しているのに対し（e.g., 大畠ら，1989），下層植生は光が相対的に不足している種があることを示唆する報告があることから（e.g., Thomas et al., 1999），シカ排除試験においてスギの成長と下層植生量の間に対応関係がなかったことは，下層植生とスギとの間で水分・養分の吸収に対してニッチ分割がある可能性を示しているかもしれない。

ただし，今回の結果からは下層植生量がスギの成長に全く影響しないと結論付けることはできない。資源環境の変化が樹木個体の成長に及ぼす影響を調べる場合，直径成長は必ずしも感度の良い指標ではない。当年枝レベルの測定や（Cipollini and Whigham, 1994; Matsuyama and Sakimoto, 2010），長期間の直径成長の測定（Obeso, 1997）では成長への影響が検出される可能性が残る。また，種間競争の影響が種内競争の影響に比べて弱いこと

を反映している可能性も考えられる。したがって，シカ排除柵の設置による下層植生量の増加がスギの直径成長を抑制するかどうかについては，多種共存のメカニズムの解明と詳細なスギの成長解析をする必要がある。

以上の結果は，冷温帯多雪地域にある地位の低い未間伐スギ人工林においても間伐は森林資源管理という点で有効であること，シカ排除柵の設置はスギの成長をほとんど抑制しないことを示している。したがって，長期間除間伐が行われなかった林分においても諦めずに個体サイズの大きなものを残すような間伐を行うことが林分全体の蓄積を効率的に増加させるのには良く，また，シカ排除柵の設置はスギの成長をほとんど抑制することなく樹皮剥ぎや稚樹の食害を防止するのにより手段であることを示唆している。しかし，下層植生が増加したにもかかわらずスギの成長をそれほど抑制しないメカニズムは不明であった。森林資源管理の方針を考え，方針の意図を説明する際にはこうした科学的な問題を解明していくことも重要であると考えられる。

5. 謝辞

試験地の維持管理に関し，京都大学芦生研究林の技術班の皆様にも多大なご助力をいただいた。現地調査には京都大学農学研究科の森林育成学研究室，森林情報学研究室の学生にご協力いただいた。本研究は「森里海連環学による地域循環木文化社会創出事業（木文化プロジェクト）」（文部科学省特別教育研究経費）およびJSPS科研費25292088の助成を受けて行われた。

引用文献

- 1) 相場芳憲（1987）造林．（林業実務必携．東京農工大学農学部林学科編．第3版．607pp，朝倉書店，東京）．147-187.
- 2) 安藤信・登尾久嗣・窪田順平・川那辺三郎（1989）芦生演習林の気象観測資料の解析（1）-事務所構内と長治谷の観測所の比較解析を中心に-．京大演報61: 25-45.
- 3) 荒木真岳・重永英年・奥田史郎（2010）スギ人工林における強度間伐が残存木の成長に与える影響．九州森林研究63: 60-63.
- 4) Cipollini, M. L., and Whigham, D. F. (1994) Sexual dimorphism and cost of reproduction in the dioecious shrub *Lindera benzoin* (Lauraceae). Am. J. Bot 81:65-75.
- 5) FAO. Download data on FAOstat (Countries; Japan, Elements; Area, Items; Forest, Year; 2013). <http://faostat3.fao.org/home/E>
- 6) 藤森隆郎（2010）林業改良普及双書 No.163 間伐と目標林型を考える．200pp，全国林業改良普及協会，東京．
- 7) 石原正恵・今西亜友美・阪口翔太・福沢加里部・向昌宏・吉岡崇仁（2012）芦生研究林におけるシカ排除柵によるス

- スキ群落の回復過程. 森林研究 78: 39-56.
- 8) 環境省 (2010) 地球を守る私たちの責任と約束: チャレンジ 25 (環境・循環型社会・生物多様性白書 平成 22 年版). 471pp, 全国官報販売協同組合, 東京.
 - 9) 國崎貴嗣・藁谷紀恵 (2006) 岩手山麓のスギ高齢人工林における幹直径成長量の個体差. 岩大演報 37: 47-55.
 - 10) 京都大学フィールド科学教育研究センター (2012) 第 15 回演習林気象報告. 京都大学フィールド科学教育研究センター森林生物圏部門, 京都.
 - 11) 松山周平・石原正恵・福島慶太郎・境慎二郎・平井岳志・藤井弘明・浅野善和・吉岡崇仁 (2012) 多雪地帯のスギ人工林における間伐実験—伐採前の毎木調査及び下層植生調査の結果—. 森里海連環学による地域循環木文化社会創出事業 (木文化プロジェクト) 2011 年度報告書: 256-263.
 - 12) 松山周平・福島慶太郎・八木弥生・長谷川尚史・鈴木伸弥・境慎二郎・平井岳志・向昌宏・吉岡崇仁 (2013) 宮ノ森スギ人工林での間伐実地報告. 森里海連環学による地域循環木文化社会創出事業 (木文化プロジェクト) 2012 年度報告書. 73-80.
 - 13) Matsuyama, S. and Sakimoto, M. (2010) Sexual dimorphism of reproductive allocation at shoot and tree levels in *Zanthoxylum ailanthoides*, a pioneer dioecious tree. Botany 867-874. doi:10.1139/B10-058
 - 14) 宮木雅美・梶光一 (2003) エゾシカの樹皮食いを受けた森林はどのように変化したか-洞爺湖中島における 16 年間の森林の変化-. 森林保護 292: 25-28.
 - 15) Miyaki, M. and Kaji, K. (2009) The dynamics of forest stands affected by Sika deer on Nakanoshima Island -change of size structure similar to the thinning effect-. In Sika deer: biology and management of native and introduced populations. McCullough, D. R., Takatsuki, S., and Kaji, K. (eds.), 666pp, Springer, Tokyo. p181-191.
 - 16) Nomiya, H., Suzuki, W., Kanazashi, T., Shibata, M., Tanaka, H., and Nakashizuka, T. (2002) The response of forest floor vegetation and tree regeneration to deer exclusion and disturbance in a riparian deciduous forest, central Japan. Plant Ecology 164: 263-276.
 - 17) Obeso, J. R. (1997) Costs of reproduction in *Ilex aquifolium*: effects at tree, branch and leaf levels. J. Ecol 85: 159-166.
 - 18) 大畠誠一・上中幸治・羽谷啓造・上中光子 (1989) せき悪地に造成したスギ林の施肥効果 (Ⅱ) 施肥後の成長促進過程. 京大演報 61: 60-70.
 - 19) 大井徹 (1999) ニホンジカによる林業被害防除のための生態学的研究. 東北森林科学会誌 4: 25-28.
 - 20) 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. 日林誌 82: 179-187.
 - 21) R Core Team (2013) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austraria. URL (<http://www.R-project.org/>)
 - 22) Rasband, W. ImageJ 1.46r. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2014.
 - 23) 阪口翔太・藤木大介・井上みずき・山崎理正・福島慶太郎・高柳敦 (2012) ニホンジカが多雪地帯の樹木個体群の更新過程・種多様性に及ぼす影響. 森林研究 78: 57-69.
 - 24) 澤田智志・西園朋広・栗屋善雄・野堀嘉裕 (2007) 秋田スギ天然林を構成する個体の成長解析. 日林誌 89: 200-207.
 - 25) 芝原淳・境米造・井上厳夫・安藤正規 (2014) 京都府におけるニホンジカによる天然林および人工林被害の広域モニタリング. 日緑工誌 39: 389-394.
 - 26) Silvertown, J. (2008) Plant coexistence and the niche. Trends Ecol. Evol. 11: 605-611. doi:10.1016/j.tree.2004.09.003
 - 27) Thomas, S. J., Halpern, C. B., Falk, D. A., Liguori, D. A., and Austin, K. A. (1999) Plant diversity managed forests: understory responses to thinning and fertilization. Ecol. Appl. 9: 864-879.
 - 28) 横田岳人 (2011) ニホンジカが森林生態系に与える負の影響 -吉野熊野国立公園大台ヶ原の事例から-. 森林科学 61: 4-10.
 - 29) 吉川秀平・國崎貴嗣 (2014) スギ人工林における周辺林分や林地生産力の違いが下層木本の組成やサイズに及ぼす影響. 岩大演報 45: 57-51.