論文

下刈り回数，斜面方位および植栽密度の違いが スギ植栽木の枯死および誤伐に与える影響

—鹿児島大学附属高隈演習林を事例として—

福本桂子^{1,*}・太田徹志²・溝上展也³・岩永史子²

吉田茂二郎³・寺岡行雄⁴・加治佐剛⁴

Effect of weeding frequency, slope aspect and initial tree density on the mortality and accidental cutting of planted Sugi (*Cryptomeria Japonica*) trees: A case study in the Kagoshima University Research Forest, southwestern Japan.

Keiko Fukumoto^{1,*}, Tetsuji Ota², Nobuya Mizoue³, Fumiko Iwanaga²
Shigejiro Yoshida³, Yukio Teraoka⁴ and Tsuyoshi Kajisa⁴

福本桂子・太田徹志・溝上展也・岩永史子・吉田茂二郎・寺岡行雄・加治佐剛：下刈り回数，斜面方位および植栽密度の違いがスギ植栽木の枯死および誤伐に与える影響—鹿児島大学附属高隈演習林を事例として—。森林計画誌51：1～7, 2017 下刈り回数，斜面方位および植栽密度の異なる7つの試験区を対象にスギの枯死，誤伐本数を調査した。下刈り回数，斜面方位，植栽密度を説明変数に含む多項ロジスティック回帰分析を行い，これらの要因がスギの枯死と誤伐に与える影響を評価した。最も枯死率が高かったのは，北向き斜面では無下刈り区で33.9%，南向き斜面では毎年下刈り区で16.9%だった。両斜面で誤伐は下刈り回数が3, 4回の場合で確認された。多項ロジスティック回帰分析の結果，北向き斜面では下刈り回数が増えるほどスギの枯死率は低下し，南向き斜面では下刈り回数に依存せず枯死率は一定の傾向が見られた。誤伐率は斜面方位や下刈り回数によらずほぼ一定の値を示した。特に植栽密度が1,500本/haのときに枯死率，誤伐率が高くなった。このことから，斜面方位や植栽密度に応じた下刈り回数を検討する必要性が示された。

Keiko Fukumoto, Tetsuji Ota, Nobuya Mizoue, Fumiko Iwanaga, Shigejiro Yoshida, Yukio Teraoka and Tsuyoshi Kajisa: **Effect of weeding frequency, slope aspect and initial tree density on the mortality and accidental cutting of planted Sugi (*Cryptomeria Japonica*) trees: A case study in the Kagoshima University Research Forest, southwestern Japan.** Jpn. J. For. Plann. 51: 1～7, 2017 This study investigated the effects of weeding frequency, slope aspect and initial tree density on the mortality and accidental cutting of planted Sugi (*Cryptomeria japonica*) in southern Kyushu. To predict the probability of mortality and accidental cutting, we used the multinomial logistic regression model using weeding frequency, slope aspect and initial tree density. The highest mortality on north- and south-facing slopes was found in non-

*連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: aobozuholic@gmail.com

- 九州大学大学院生物資源環境科学府 (812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
Graduate School of Bioresource and Bioenvironment Science, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581, Japan
- 九州大学持続可能な社会のための決断科学センター (812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
Institute of Decision Science for a Sustainable Society, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan
- 九州大学大学院農学研究院 (812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
Faculty of Agriculture, School of Agriculture, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan
- 鹿児島大学農水産獣医学域農学系 (890-0065 鹿児島市郡元1-21-24)
Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

weeding plot (33.3%) and every-year weeding plot (16.9%), respectively. Accidental cutting of planted Sugi was found in 3 or 4 times weeding plots. Multinomial logistic regression model showed that mortality was affected by slope aspect and initial tree density. Mortality decreased with the increase of weeding frequency on north-facing slope, while mortality was invariable regardless of weeding frequency on south-facing slope. Accidental cutting rate was invariables regardless of weeding frequency on both slopes. The mortality rate and accidental cutting rate under the 1,500 trees/ha density was higher than that under the 3,000 trees/ha. These results suggest that weeding frequency should be determined according to slope aspect and initial tree density.

I. はじめに

現在、木材価格の下落などの理由により、林業の採算性は極めて悪化しており、低コストで効率的な育林技術の開発が求められている。特に、植栽から伐採までにかかる保育費用のうち約7割が植栽後10年間に必要な保育費用であるため（林野庁，2014）、植栽初期の保育費用の削減が必要とされている（石塚，2012）。さらに、植栽初期の保育費用の中でも、下刈りが約4割と特に高いコストを占めることから（行武・吉本，2001）、下刈りコストの削減が重要な課題となっている（赤井，1986）。そこで、坪刈りや筋刈りなど、雑草木の刈り払う面積を削減する手法や（丹下ら，1993；伊藤ら，2015）、雑草木の侵入を防ぐ観点からシート等を植栽木の周辺に敷設する手法（上村・谷口，2004）、一般的に5～6年間継続して実施される下刈りの回数を削減する手法（赤井ら，1987；金城ら，2011a；下園，2011；平田ら，2012；重永ら，2012；福本ら，2015）など、様々な手法が提案されている。

下刈り回数の削減に着目した研究では、植栽木と雑草木の成長（金城ら，2011a；平田ら，2012；福本ら，2015；山川ら，2016）や、作業時間（金城ら，2011b；北原ら，2013）の観点から検討が行われている。その一方で、植栽木の生存率に着目した事例は少ない。例えば、下刈り回数の削減が原因で植栽木の生存率が著しく低下した場合、主間伐で収穫できる本数が減少する可能性がある。このことから、下刈り回数の削減と植栽木の生存率の関係について検証する必要がある。

植栽木の生存率を低下させうる要因として、2つの要因が挙げられる。1つは雑草木との競争などから引き起こされる自然枯死である。下刈り回数を削減した場合、植栽木は雑草木との競争を避けることができない。これまでの研究では、平岡ら（2003）は精英樹の植栽試験地において、下刈りの有無は植栽木の枯死率に影響を与えていなかったと報告した。また、田代（2012）は、大苗を植栽し、植栽木の生存率は下刈りの有無に関わらず高い値となったと報告した。しかしながら、これらの研究は下刈りを全く行わない無下刈

りと、下刈りを毎年行った場合という極端な事例での比較であり、下刈り回数の削減と植栽木の枯死率の関係は十分に検証されていない。

植栽木の生存率を低下させうるもう一つの要因として、人為的に引き起こされる誤伐が挙げられる。下刈り回数を削減した場合、雑草木が繁茂することによる視認性の悪化が、植栽木の誤伐を誘発させる可能性が指摘されている（金城ら，2011a；右近・竹内，2011）。横井（2001）は、ケヤキ造林地で下刈りを省くと、雑草木と植栽木の判別が困難になり、誤伐率が高くなると報告した。同様に、広葉樹林において下刈り作業と誤伐の関係を論じた報告は多数ある（例えば；前田，1999；横井ら，1999）。しかし、スギやヒノキなどの針葉樹人工林における下刈り作業中の誤伐に関する知見は少なく（右近・竹内，2011；野宮，2012）、特に下刈り回数の削減と植栽木の誤伐との関係を論じたものは極めて少ない（金城ら，2011a）。

また、一般的に斜面方位や植栽密度の違いが、侵入する雑草木の種組成やサイズ、量に影響するため（佐倉ら，1993；宮本・天野，2002；前田ら，2010）、植栽木の枯死率に影響する可能性がある。同様に、雑草木のサイズや量が下刈り作業の視認性に関わることから、斜面方位や植栽密度が間接的に誤伐率へ影響することも考えられる。しかし、斜面方位、植栽密度の要因が、下刈り回数を削減した際の枯死率および誤伐率の変化に与える影響を議論した事例は極めて少ない。

そこで本研究では、下刈り回数や斜面方位、植栽密度の違いが植栽木の枯死および下刈り作業中の誤伐に与える影響を明らかにすることを目的に、下刈り回数やスケジュールの異なる試験区における下刈り終了時点のスギ（*Cryptomeria Japonica*）植栽木（以下、スギ）の枯死率、誤伐率の違いを比較した。さらに、多項ロジスティック回帰分析を行い、下刈りの回数や斜面方位、植栽密度などの要因が植栽木の生存率、枯死率、誤伐率に及ぼす影響やその傾向を明らかにした。

Ⅱ. 調査地・調査方法

1. 調査地・調査方法

調査地は鹿児島県垂水市に所在する、鹿児島大学農学部附属高隈演習林の116林班24小班である。調査地の年平均気温は14℃～15℃、年平均降水量は2,800 mmである。2006年5月にスギと一部広葉樹が皆伐され、2007年3月に1,500本/haと3,000本/haの植栽密度でスギ普通苗が植栽された。植栽密度が異なっているのは、本調査地が植栽密度試験を想定して設計されたためである。下刈り実施期間は2007年～2012年の6年間で、各年の7月上旬に実施された。全ての下刈り作業には刈り払い機が用いられた。2009年に、下刈りスケジュールの異なる7パターンの試験区が北向き斜面および南向き斜面に設定された(金城ら, 2012)。下刈り回数とスケジュールを表-1に示す。各試験区内には、スギが約60本含まれるプロットがそれぞれ1箇所設定されている。このとき、斜面位置の違いによる影響を受けないように、おおよそ斜面の中腹にプロットを設定した。試験区の標高は約600m、平均傾斜は35°、斜面方位は北向きおよび南向きである。試験区内に侵入している主要な雑草木はアカメガシワ(*Mallotus japonicus*)、カラスザンショウ(*Zanthoxylum ailanthoides*)、タブノキ(*Machilus thunbergii*)、シロダモ(*Neolitsea sericea*)などである(金城ら, 2011b)。南向き斜面では、これらの樹種に加えススキ(*Miscanthus sinensis*)が侵入していた(福本ら, 2015)。なお、本試験区ではシカ食害の影響はなく、シカ防除柵は設置されていない。全ての試験区の下刈り作業が終了する2012年11月に、各プロット内全てのスギの枯死木および下刈り作業時の誤伐木を目視で確認した。ここで、誤伐木は刈り払い機によって主軸が切断されたものとした。

2. 解析方法

まず、スギの枯死率および誤伐率を下刈り回数、下刈りスケジュール、斜面方位および植栽密度毎に集計し、その傾向を検討した。次に、下刈り作業が終了し

た7年生時点(2012年)での各測定個体($n=855$)の生存、枯死、誤伐を目的変数、下刈り回数(F)と植栽密度(D)、斜面方位(NS)、下刈り回数と植栽密度の交互作用項($F \times D$)、下刈り回数と斜面方位の交互作用項($F \times NS$)、植栽密度と斜面方位の交互作用項($D \times NS$)を説明変数に含む多項ロジスティック回帰分析を行った。このとき、斜面方位がスギの枯死率と誤伐率に影響を与えるかどうかを明らかにするために、北向き斜面を1、南向き斜面を0とするダミー変数を与えた(荒瀬ら, 2012)。なお、下刈りスケジュールについては、斜面方位毎の処理に繰り返しがなく、かつ、斜面方位毎に植栽密度が異なるため(表-1)、多項ロジスティック回帰分析の説明変数には用いなかった。変数の選択にはAICを用いた。さらに、選択された変数を含むモデルを用い、下刈り回数別のスギの生存率、枯死率、誤伐率を推定した。以上の解析にはR3.1.3(R Core Team, 2014)のVGAMパッケージのvglm関数(Yee, 2010)を用いた。

Ⅲ. 結 果

1. 下刈り回数およびスケジュールの違いが植栽木の枯死および誤伐に与える影響

北向き斜面における7年生時点でのスギの生存率、枯死率、誤伐率を図-1に示す。各プロットの生存率は66.7%～96.8%であり、プロット間の差は大きかった。最も枯死率が高かったのは下刈り回数が0回の無下刈り区の場合で33.3%、最も低かったのは下刈り回数が6回の毎年下刈り区の場合で3.2%であった。下刈り回数が4回の場合の枯死率は、下刈り回数が3回の場合と比較して高くなっており、それぞれの枯死率は9.7%、20.6%と特に3・4・5・6年目実施区で高かった。下刈り回数が3回の場合の枯死率は、3.3%～9.8%となり、特に1・2・3年目実施区で低かった。各プロットにおける誤伐率は、下刈り回数が4回の場合で1.6%、12.1%となり3・4・5・6年目実施区で高かった。下刈り回数が3回の場合でも誤伐が見受けられたが、その割合は1.6%と低く、下刈

表-1 試験地の概要と下刈り実施年

下刈り回数	下刈りスケジュール	植栽密度 (本/ha)		試験区面積 (ha)		試験区内の スギ本数		傾斜 (°)	
		北	南	北	南	北	南	北	南
6	毎年実施	1,500	3,000	0.15	0.11	63	62	34	36
4	2・4・5・6年目実施	1,500	3,000	0.25	0.21	62	61	33	33
4	3・4・5・6年目実施	1,500	3,000	0.16	0.09	60	60	31	32
3	1・2・3年目実施	1,500	3,000	0.25	0.08	60	62	34	36
3	1・3・5年目実施	3,000	1,500	0.18	0.18	61	61	15-41	37
3	2・3・4年目実施	3,000	1,500	0.33	0.17	57	60	37	37
0	未実施	3,000	1,500	0.21	0.2	66	60	37	36

図-1 スギ7年生時の下刈り回数と同スケジュールにおける枯死率・誤伐率
(a) 北向き斜面 (b) 南向き斜面

り回数が6回の毎年下刈り区と3回の1・2・3年目実施区の場合は、誤伐は見受けられなかった。

南向き斜面では、各プロットの生存率は82.0%~93.3%で、プロット間の差は小さかった。最も枯死率が高かったのは下刈り回数が6回の毎年下刈り区の場合で16.9%であった。下刈り回数が6回の場合と1・2・3年目実施区を除いたほかのプロットの枯死率は、下刈り回数によらず4.9%~8.6%であった。誤伐は下刈り回数が3回と4回の場合に見受けられ、その割合は6.5%~11.4%であった。北向き斜面と同様に、下刈り回数が6回の毎年下刈り区と3回の1・2・3年目実施区では誤伐は見受けられなかった。また、各斜面の植栽密度間におけるスギの枯死率および誤伐率に明確な違いは見受けられなかった。

2. 下刈り回数や斜面方位・植栽密度が植栽木の枯死および誤伐に与える影響

スギの枯死、誤伐について多項ロジスティック回帰分析を行った結果、説明変数に斜面方位、植栽密度、下刈り回数と斜面方位の交互作用項が選択された(表-2)。枯死においては、斜面方位、下刈り回数と斜面方位の交互作用項は有意に働いたが($p < 0.05$)、誤伐においては有意でなかった($p > 0.05$)(表-2)。また、植栽密度は枯死、誤伐ともに有意でなかった($p > 0.05$)。

選択された説明変数によるモデルから求めた下刈り回数別の推定生存率、推定枯死率、推定誤伐率を図-2に示す。北向き斜面では推定生存率は下刈り回数が増えるほど高くなり、下刈り回数が6回で植栽密度が1,500本/haのとき95.3%、3,000本/haのとき97.8%であった。一方、下刈り回数が0回の場合は、

表-2 枯死および誤伐モデルのパラメータ推定結果

目的変数	説明変数	係数	標準偏差	p 値
枯死	intercept	-1.9819	0.5104	<0.05
	NS	2.3462	0.3846	<0.05
	D	-0.0004	0.0002	0.06
	F × NS	-0.5281	0.1074	<0.05
誤伐	intercept	-2.2588	1.0141	<0.05
	NS	-0.2040	1.3672	0.88
	D	-0.0008	0.0005	0.09
	F × NS	-0.0692	0.3313	0.83

推定生存率は植栽密度が1,500本/haのとき55.1%、3,000本/haのとき69.5%となった。推定枯死率は、下刈り回数が増えるほど低くなり、下刈り回数が6回の場合、植栽密度が1,500本/haのときに3.1%、3,000本/haのときに1.7%であった。下刈り回数が0回の場合、推定枯死率は植栽密度が1,500本/haのときに43.5%、3,000本/haのときに30.1%で、植栽密度が1,500本/haのときに枯死率が高くなる傾向が見られた。推定誤伐率は、下刈り回数に関わらずほぼ一定で、その割合は植栽密度が1,500本/haのときに1.5%、3,000本のときに0.5%だった。

南向き斜面では、推定生存率、推定枯死率、推定誤伐率は下刈り回数によらず一定で、それぞれ植栽密度が1,500本/haの場合で90.4%、6.8%、2.7%、3,000本/haの場合で95.2%、3.9%、0.8%だった。

IV. 考 察

本試験地では、斜面方位によって下刈り回数・スケジュール毎のスギの枯死率は異なった(図-1)。一般的に、下刈りは雑草木の被圧による植栽木の成長阻害や、雑草木による土壌中の養水分、あるいは光の収奪

図-2 下刈り回数による推定生存率・推定枯死率・推定誤伐率の関係
(a) 北向き斜面 (b) 南向き斜面

を防ぐ作業であり、重要な保育作業とされる（堤，1994；Wagner et al, 2006）。その一方で、雑草木には地表面の乾きや高温化を防ぐなど、植栽木を守る働きがある（坂口，1983）。本試験地内に侵入した雑草木の種類は斜面方位によって異なっており、南向き斜面にはススキが侵入し（福本ら，2015）、北向き斜面には先駆性樹種を中心とする広葉樹が侵入していた（金城ら，2011b）。ススキの侵入についてはスギ植栽木への被圧被害の報告がある（重永ら，2012）。その一方で、谷本（1982）はススキ群落では広葉樹群落と比較して群落内に透過する光量は多いと報告した。ススキの侵入が多かった本対象地の南向き斜面では、北向き斜面と比較して植栽木の受光量が多く、下刈り回数が0回でもスギの成長阻害が少なかったと考えられる。また、毎年下刈り区の枯死率は北向き斜面よりも南向き斜面で高くなった（図-1）。毎年下刈りによって雑草木の保護機能が低下し、スギの枯死率へ影響した可能性が考えられる。このように、南向き斜面では、北向き斜面と比較してスギの受光量が多く、下刈り回数が少なくてもスギの枯死率は低くなった。その一方で、下刈り回数が多い場合は雑草木による保護機能の低下から、スギが枯死する可能性が考えられた。このことから、斜面方位に応じた適切な下刈り回数やスケジュールを判断する必要があると考えられた。

また、北向き斜面では無下刈りのときに枯死率は高くなり、毎年下刈りのときに枯死率が低くなった。さらに、下刈り回数が3回の試験区よりも下刈り回数が4回の試験区で枯死率は高くなる傾向があった（図-1）。これらの結果から、スギの枯死率は必ずしも下刈り回数が多いと低くなるわけではなく、下刈りスケジュールに影響を受ける可能性が示唆された。特に植栽後3年間に1回以下しか下刈りを実施していない3・4・5・6年目実施区、2・4・5・6年目実施

区や無下刈り区で枯死率が高い傾向が見られた。このことから、スギの枯死を減らすためには、少なくとも植栽後3年間のうちに2回以上の下刈りを実施する必要性が示唆された。

誤伐率について、下刈り回数や斜面方位による明確な違いは見受けられなかった（図-1）。このことから、誤伐は下刈り回数や斜面方位の影響を受けず、一定量生じる可能性がある。しかし、いずれの斜面においても毎年下刈り区と1・2・3年目実施区ではスギの誤伐は見られなかった。右近・竹内（2011）は下刈りをせずに放置する期間を短くすることで、誤伐を減らすことができると指摘している。そのため、植栽初期に連続で下刈りを実施したプロットでは誤伐率が低くなったと考えられる。その一方で、両斜面の3・4・5・6年目実施区のような植栽後2年間下刈りを省いたスケジュールでは、侵入した雑草木によって視認性が悪化し、誤伐率が高くなったと考えられた。これらの結果から、誤伐を減らすためには、植栽後2年間下刈りを省くようなスケジュールは避けたほうが良いと考えられる。

多項ロジスティック回帰分析の結果、斜面方位、植栽密度、下刈り回数と斜面方位の交互作用項が説明変数として選択された（表-2）。枯死率においては下刈り回数と斜面方位の交互作用項は有意であった。交互作用項が有意であったことは、下刈り回数別の枯死率の傾向が斜面方位によって異なることを示している。北向き斜面の枯死率は、下刈り回数によって変わる傾向があったことから、下刈り回数を削減する際は、植栽時点である程度の枯死を考慮しておかなければならないだろう。一方で、南向き斜面では下刈り回数によらず枯死率は一定の傾向が見られた。さらに、南向き斜面では毎年下刈りを実施すると枯死率が高くなる傾向が見られたことから（図-1）、下刈り回数はある程

度削減しても良いと考えられる。誤伐率では、選択された全ての説明変数は有意に働いておらず（表-2）、いずれの斜面においても、下刈り回数によらずほぼ一定の値を示していた（図-2）。そのため、斜面方位や下刈り回数の条件に関わらず誤伐による植栽木の欠損をある程度考慮しておく必要がある。また、枯死と誤伐ともに植栽密度は変数として選択されていたが、有意ではなく（表-2）、現地データでも明確な差は見受けられなかった（図-1）。しかし、多項ロジスティック回帰における枯死率、誤伐率は植栽密度が1,500本/haのときに高くなる傾向が見られた（図-2）。植栽初期の植栽木の欠損をどの程度許容するかの判断にもよるが、堤（1994）は、植栽密度が3,000本/haのとき、植栽翌年の枯死率が20%以上で補植をする必要があるとしている。ロジスティック回帰の結果、特に北向き斜面で、植栽密度が3,000本/haの場合は下刈り回数が2回以下、植栽密度が1,500本/haの場合は下刈り回数が3回以下で枯死率が20%を上回っていた（図-2）。堤（1994）の基準を参考にするならば、下刈りは少なくとも2回以上は必要となる可能性がある。さらに、下刈りスケジュールの観点からすると、植栽後3年間に2回以上の下刈りを実施することで、植栽木の枯死および誤伐を減らせる可能性が示唆された。

今回は下刈り回数やスケジュール、斜面方位、植栽密度とスギの枯死および誤伐の関係に焦点を当てた。植栽木の生存率の観点からすると、特に枯死率については斜面方位や植栽密度の条件を踏まえ、最適な下刈りスケジュールを検討する必要性が示された。誤伐については、いずれの場所においても一定量生じる可能性があるため、植栽時の本数設定に注意する必要がある。その一方で、下刈りスケジュールによっては植栽木の枯死や誤伐が増加する可能性が示された。植栽後2年間下刈りを省いた3・4・5・6年目実施区では、枯死率と誤伐率が高くなっていったため、植栽後2年間下刈りを省くと生存率が大幅に低下する可能性がある。今回の統計モデルでは、スギの枯死・誤伐について最適な下刈りスケジュールに関する議論はできなかった。今後は斜面方位や植栽密度などの条件を考慮し、枯死・誤伐の観点から最適な下刈りスケジュールを明らかにする必要がある。さらに、下刈りスケジュールが植栽木の成長や下刈り作業コストに影響を与える可能性が指摘されていることから（Wagner et al, 1999；金城ら, 2011a）、下刈りスケジュールが植栽木の成長や作業コストにどのように影響するのか、総合的に明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、現地試験設定と管理にご協力いただいた鹿児島大学附属高隈演習林の職員の方々に心より感謝申し上げます。なお、本研究の一部は農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）における「コンテナ苗を利用した低コスト造林技術の実証研究」（代表：梶本卓也、国立研究開発法人森林総合研究所）により実施したものであり、関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- 赤井龍男（1986）複層林の技術開発の方向を考える。林業技術528, 2-6.
- 赤井龍男・吉村健次郎・青木隆（1987）下刈りを省いた若い造林木の成長について（I）。日林論98, 285-286.
- 荒瀬輝夫・岡野哲郎・熊谷真由子・内田泰三（2012）斜面方位を説明変数とする回帰モデルについて。信州大学環境科学年報34, 6-9.
- 福本桂子・寺岡行雄・金城智之・山下盛章・加治佐剛・鶴川信・芦原誠一・岡勝（2015）南九州における斜面位置の違いによる無下刈りスギ幼齢木と侵入広葉樹との競合。森林計画誌49（1）, 43-49.
- 平岡祐一郎・佐々木峰子・岡村政則・藤澤義武（2003）スギ無下刈り試験経過報告。平成13年度林木育種センター年報, 76-78.
- 平田令子・伊藤哲・山川博美・重永英年・高木正博（2012）造林後5年間の下刈り省略がヒノキ苗の成長に与える影響。日林誌94, 135-141.
- 石塚森吉（2012）低コスト造林技術の研究開発方向。現代林業557, 14-17.
- 伊藤愛・綿野好則・袴田哲司・山本茂弘・近藤晃（2015）植栽密度の異なるスギ・ヒノキ造林地における下刈り方法の違いが作業工程と植栽木の初期成長量に及ぼす影響。静岡県農林研報8, 89-93.
- 金城智之・寺岡行雄・芦原誠一・井倉洋二・浦めぐみ（2012）鹿児島大学高隈演習林16林班における下刈り試験地測定資料（2006年～2011年）。鹿大演研報39, 45-48.
- 金城智之・寺岡行雄・芦原誠一・竹内郁雄・井倉洋二（2011a）下刈り実施パターンの違いが植栽木に及ぼす影響。九州森林研究64, 56-59.
- 金城智之・寺岡行雄・芦原誠一・竹内郁雄・井倉洋二・

- 浦めぐみ (2011b) 下刈り実施パターンの違いによる下刈り作業工期. 鹿大演研報38, 7-11.
- 北原文章・渡辺直史・光田靖・山川博美・酒井敦 (2013) スギ植栽木の成長と下刈り対象木の競合状態との関係. 森林応用研究22, 1-6.
- 前田由香・菱拓雄・田代直明・馬淵哲也・井上幸子・長慶一郎・山内康平・緒方健人・久米篤 (2010) 九州大学北海道演習林のカラマツ人工林および落葉広葉樹天然林における斜面方位と斜面上の位置の違いによる植生の特徴. 九大演報91, 7-14.
- 前田雄一 (1999) 広葉樹人工林の成林阻害要因について—大面積造林地で発生する下刈り時の誤伐被害—. 森林応用研究8, 125-128.
- 宮本麻子・天野正博 (2002) 立木の空間分布および生育条件が個体成長に及ぼす影響. 森林総研研報383, 163-178.
- 野宮治人 (2012) スギ苗植栽後3年間の枯損と誤伐について. 森林総研九州支所年報24.
- R Core Team (2014) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- 林野庁 (2014) 森林・林業白書 (平成26年度版). 全国林業改良普及協会.
- 坂口勝美 (1983) スギのすべて. 全国林業改良普及協会.
- 佐倉詔夫・糟谷重夫・山中千恵子 (1993) スギ疎密植栽地に侵入し繁茂したススキの動態—植栽後8年間の経過—. 日林論104, 575-578.
- 重永英年・野宮治人・荒木眞岳・山川博美 (2012) ススキに被圧されたスギ植栽木の初期成長. 森林総研九州支所年報24.
- 下園寿秋 (2011) スギ (*Cryptomeria japonica*) 造林地における下刈り省力試験. 九州森林研究64, 53-55.
- 丹下健・鈴木祐紀・八木久義・佐々木恵彦・南方康 (1993) 雑草木の刈り払い方法が植栽木の成長に与える影響. 日林誌75, 416-423.
- 谷本丈夫 (1982) 造林地における下刈・除伐・つる切りに関する基礎的研究 (第1報) スギ幼齢造林地におけるスギと雑草木の生長. 林試研報320, 53-121.
- 田代慶彦 (2012) スギ造林地における大苗・普通苗による下刈り省力試験比較. 現代林業557, 22-25.
- 堤利夫 (1994) 造林学. pp16, 文永堂出版, 東京.
- 上村公浩・谷口真吾 (2004) 短冊状のスギ単版を編んだシートの雑草木抑制効果. 森林応用研究13, 151-154.
- 右近健一郎・竹内郁雄 (2011) 九州南部における下刈りの実態—雑草木再生と誤伐について—. 九州森林研究64, 39-41.
- Wagner, R. G., Little, K. M., Richardson, B. and McNabb, K. (2006). The role of vegetation management for enhancing productivity of the world's forests. *Forestry* 79(1), 57-79.
- Wagner, R. G., Noland, T. L. and Mohammed, G. H. (1999) Timing and duration of herbaceous vegetation control around four northern coniferous species. *N. Z. J. For. Sci.* 26, 39-52.
- 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人 (2016) スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日林誌98, 241-246.
- Yee, T. W. (2010) The VGAM Package for Categorical Data Analysis. *J. Stat. Softw.* 32, 1-3.
- 横井秀一・水谷嘉弘・横谷祐治 (1999) 多雪地域に植栽された広葉樹8種が植栽後7年間に受けた諸被害. 岐阜県森林研研報28, 1-8.
- 横井秀一 (2001) ケヤキ造林地における下刈りの省略が林分構造に及ぼす影響. 岐阜県森林研研報30, 1-8.
- 行武潔・吉本敦 (2001) 国産材供給における木材生産の費用分析. 森林計画誌35, 75-80.

(2016年12月2日受付)

(2017年4月18日受理)