

森林総合研究所

交付金プロジェクト研究 成果集 47

雄花量に着目したスギ林の 間伐効果の科学的検証

独立行政法人 森林総合研究所
2011. 12

「交付金プロジェクト」は、平成13年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この成果集は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として公表するものである。

ISSN1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 47

「雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証」

発行日 平成23年12月31日

発 行 独立行政法人森林総合研究所

〒305-8687茨城県つくば市松の里1番地

電話 029-873-3211（代表）

目 次

研究の要約	1
雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証	4
1 多雄花木の遺伝的評価と雄花量に着目した間伐の効果のメカニズム解明	4
2 (1) 雄花量に着目した間伐の効果の持続性の検証(京都府の試験地)	14
(2) 雄花量に着目した間伐の効果の持続性の検証(千葉県の実験地)	21
3 雄花量に着目した間伐が成長に及ぼす影響の解明	28
4 雄花量に着目した間伐のガイダンスの作成	33

研 究 の 要 約

I 研究年次及び予算区分

平成 20～22 年（3 か年）

運営費交付金（交付金プロジェクト）

II 主任研究者

主査： 温暖化対応推進拠点長 清野嘉之（平成 20 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日）

植物生態研究領域長 清野嘉之（平成 22 年 4 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日）

取りまとめ責任者： 清野嘉之

III 研究場所

森林総合研究所・本所

森林総合研究所・関西支所

千葉県農林総合研究センター森林研究所

IV 研究目的

私たちは人工林資源の維持や、京都議定書に対応した森林吸収量確保のために間伐を行う。しかし、間伐はスギ林の雄花生産量を増加させることがある。花粉生産を持続的に抑制する効果のある間伐方法の開発が林野庁（計画課、私信）から要望されている。また、雄花量が個体によって異なる理由が、遺伝的な形質の違いにあるスギ林では、雄花量に着目した間伐（雄花量の多い個体を優先的に間伐する間伐法）を行なうと雄花量を削減できる可能性がある。しかし、雄花量に着目した間伐の遺伝学的根拠や効果の持続性は検証されていない。加えて、雄花量に着目した間伐の実施に適したスギ林かどうかを現場で簡易に見分ける手法が必要である。

そこで、本研究では、環境条件が一樣な林縁木中に雄花量の多い個体（多雄花木／たゆうかぼく）が混在するスギ林では、遺伝的形質の個体差が雄花量の個体差の主原因になっている、との仮説を立て、多雄花木の間伐効果の実証と、効果を期待できる林分を簡易に見分ける手法の開発に取り組んだ。

ただし、本課題の実施期間は実質 2 年半であることから、暫定的な最終成果を得ることを目的とした。

V 研究方法

1 林縁に多雄花木が混在するスギ林（醍醐山国有林（京都府）、鬼汨山国有林（千葉県））に試験地を設け、林縁と林内でそれぞれ多雄花木と非多雄花木の遺伝的形質を DNA マーカーで調べ、林縁木と林内木の間で多雄花木の遺伝的形質の違いを比較した。

2 雄花量に着目した間伐を 21 年 5 月に実施し、多雄花木間伐区と通常間伐区、対照区を設けて、雄花トラップを中心とし、雄花着生状況の個体観察を補助的に、雄花量とスギの生長を経年的に調べ、多雄花木間伐による雄花量削減の効果を分析して効果の持続性について考察した。

3 多雄花木間伐がスギの栄養成長に及ぼす影響について解析した。

4 林縁木の観察データにもとづき、多雄花木の選出が可能な条件を分析した。ただし、今回設け

た試験地は観察期間が短いので、関西支所（京都市伏見区）構内のスギクローン集植林（1997年に32年生）で得た雄花豊凶の6年間の経年的観察データを利用した。

VI 研究結果

研 究 計 画 表

課 題 名	担 当	期 間
(1) 雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証	植物生態、森林植生、 森林遺伝、生物学、 関西支所、 千葉県森林研究所	20～22

1 調査林分の遺伝子型構造を解析したところ、京都府の林は複数クローンを含む苗、千葉県の林は実生苗により造成されており、京都ではクローンによっては雄花量が異なる傾向が認められた。いずれの林でも今回得られた遺伝子型と雄花着生の間に関係はなかった。

2 多雄花木間伐の有効性評価に利用できるデータが2010年春に得られた。ただし、2010年春は雄花の不作年である可能性が高いことから、得られたのは不作年の傾向と考えられる。京都府では、多雄花木間伐後の雄花生産量が、通常間伐や無間伐の場合にくらべて少なかった。千葉県の林でも、間伐前の雄花生産量を考慮すると、多雄花木間伐には通常間伐と比べて雄花生産の抑制効果があった。

3 多雄花木間伐は下層間伐に比べて、光環境の変化を通して残存木の成長の個体差をより大きくし、その結果、雄花着生の個体差を大きくすると考えられた。

4 多雄花木の的中率（多雄花木と判別した個体のうちの、多雄花木と定義した個体の個体数割合）とはずれ率（多雄花木と判別した個体のうちの、多雄花木と定義した個体以外の個体数割合）は、それぞれ雄花着生個体数割合と正の相関関係があり、凶作年は的中率が低下した（多雄花木をよく見落とした）。また、豊作年ははずれ率が高まった（多雄花木でない木を多雄花木とよく誤認した）。

「的中率－はずれ率」の値が最大になったのは並作年であった。多雄花木間伐の効果を期待できる林分かどうかの判定は、並作年に行うのが良いと考えられる。

VII 成果の利活用

今のところ、ただちに普及に移しうる成果は得られていない。しかし、多雄花木間伐の有効性を示唆するデータが得られており、今後、データ収集を継続し、5年以上の観測にもとづいた確度の高い成果が得られた段階で、既存の花粉症対策のための森林管理指針に本課題の成果を書き加えたものを、人工林間伐のネガティブな側面（花粉生産量増加リスク）を緩和する森林管理手法の選択肢として、国や都府県等に提供できると考えている。

VIII 今後の問題

本課題の実施期間は実質2年半で、完了時点で得られるのは暫定的な成果である。今後、データ収集を継続して、5年以上の観測にもとづいた確度の高い成果とする必要がある。

IX 研究発表

- 1 清野嘉之・伊東宏樹・行本誠史（2009）花粉症と森林管理－気候変化の影響と施業による削減効果の長期予測－．日本森林学会大会学術講演集 K09
- 2 齊藤哲・梶本卓也・金指達郎・福島成樹（2009）人工林上層個体の光環境の評価法について（予報）．日本森林学会関東支部大会講演要旨集 61:28
- 3 梶本卓也・福島成樹・金指達郎・齊藤哲・千葉幸弘・清野嘉之・五十嵐哲也（2010）スギ人工林における雄花多産木間伐の試み－成長と花粉生産への影響－．第 121 回日本森林学会大会学術講演集 CD-Rom
- 4 清野嘉之（2010）スギ花粉発生源対策のための森林管理指針．日本森林学会誌 6:310-315

X 研究担当者

- 1 津村義彦、伊原徳子、森口喜成
- 2 (1) 福島成樹、梶本卓也、金指達郎、齊藤哲、川崎達郎、千葉幸弘、五十嵐哲也、清野嘉之、壁谷大介、韓慶民、右田千春
- 2 (2) 五十嵐哲也、梶本卓也、壁谷大介、金指達郎、川崎達郎、清野嘉之、齊藤哲、千葉幸弘、韓慶民、福島成樹、右田千春
- 3 梶本卓也、福島成樹、金指達郎、齊藤哲、川崎達郎、千葉幸弘、五十嵐哲也、清野嘉之
- 4 清野嘉之、福島成樹、五十嵐哲也、梶本卓也、津村義彦、篠原健司

1. 多雄花木の遺伝的評価と雄花量に着目した間伐の効果のメカニズム解明

ア 研究目的

人工林資源の維持や京都議定書に対応した森林吸収量の確保のため適切な間伐を実施する必要がある。しかし間伐によりスギ林の雄花生産が増加する恐れがあるため（清野ら 2003）、雄花生産を減少させる適切な間伐方法を開発することが求められている。また雄花生産性の多くが遺伝によって支配されていれば、それらの遺伝子を特定して雄花生産性の多い個体を選択的に間伐を行うことにより効率的に雄花生産性を減少させることも可能である。本研究では雄花量の観察データをもとに遺伝子型との関係を調査して、雄花生産性が遺伝的に支配されているかどうかの検証を行うとともに、雄花生産性の高い個体を選抜する DNA マーカーが開発できるかについて調査を行った。

イ 研究方法

1) 調査地と試料の採取

本研究では、千葉県（鬼泪山国有林 94 林班の 29～30 年生（2008 年）実生スギ人工林）と京都府（醍醐山国有林の 35 年生（2008 年）スギ人工林）の二か所のスギ人工林で調査を行った。千葉県のスギ人工林では 2008 年に 86 個体のスギから針葉を採取し、改変 CTAB 法で DNA 抽出（Tsumura et al. 1995）を行った。一方、京都府のスギ人工林では、2008 年に林縁木の 88 個体、2009 年に林内 104 個体のスギから針葉を採取し、同様の方法で DNA 抽出を行った。これらスギの雄花着生量は、2009 年 2 月に実施した目視による 5 段階評価（A、B+、B、C の順に着生量が多く、D は雄花なし）結果（2.（1）、（2））を利用し、これを指標として遺伝子型との関係を調査した。

2) マイクロサテライトマーカーによる個体識別と遺伝的多様性の評価

本研究では、スギで開発されているマイクロサテライト（Simple Sequence Repeat; SSR）マーカーの中から多型性が高く波形が明瞭な 6 座を選びクローン識別に使用した（表 1-1; Moriguchi et al. 2003、Tani et al. 2004）。抽出した DNA を鋳型に、Multiplex PCR kit（Qiagen）を用いて PCR 増幅を行った。PCR 条件は、キット付属のマイクロサテライトプロトコルに準じた。得られた PCR 産物の電気泳動は ABI PRISM 3100 Genetic Analyzer（Applied Biosystems）を使用して行い、ソフトウェア Genotyper ver3.7（Applied Biosystems）によって遺伝子型を決定した。

6 座のマイクロサテライトマーカーのクローン識別能力を評価するため、Tessier et al.（1999）の識別能力指数（ D_L ）を計算した。また、同じ遺伝子型が林内に存在すると判定された個体は、以後の解析から除外した。遺伝的多様性の指標として、アレリックリッチネス（ A_r ）、ヘテロ接合度の観察値（ H_o ）と期待値（ H_e ）を計算した。これらの計算には、ソフトウェア FSTAT v. 2.9.3.2（Goudet 2001）、GENALEX v. 6.2（Peakall and Smouse 2006）を用いた。また、GenAlex v. 6.2 を使用して遺伝距離をもとにした主座標分析（Principal Coordinate Analysis ; PCO 解析）を行い、雄花着生量と遺伝子型との関係を調べた。

3) 雄花着生量関連 QTL の近傍に位置する SNP マーカーの検証

スギ雄花着生量関連 QTL (Quantitative Trait Loci; 量的形質遺伝子座) の近傍に位置する 3 つの SNP マーカー (Single Nucleotide polymorphism、一塩基多型) が、QTL 解析を行った家系以外のスギ林における雄花着生量の評価に使用できるかを京都府のスギ人工林で検証した。解析には、雄花着生量の多いスギ (A~B ランク) 15 個体と雄花が着生していなかったスギ (D ランク) 13 個体を使用し (表 1-2)、高分解能融解曲線分析 (High Resolution Melting Analysis; HRM 解析) 用の 3 つの SNP マーカー (HRM245、HRM183、HRM187; Ujino-Ihara et al. in preparation) で解析を行った。PCR 増幅は、GXL DNA polymerase 付属の 1×buffer (MgCl₂ 1.0 mM を含む)、DMSO 0.5 μM、EvaGreen 0.5 μM、各 dNTP 200 μM、各 primer 0.2 μM、5ng の鋳型 DNA、GXL DNA polymerase (Takara) 0.8 U を含む 10 μL の反応系で 94°C 10 分のあと、94 °C 40 秒・56-60°C 30 秒・72 °C 15 秒を 45 サイクルで行った。HRM 解析は、使用説明書に従って Lightcycler 480 (Roche) を使用して行った。

ウ 結果

本研究で用いた 6 座のマイクロサテライトマーカーの識別能力指数 (D_L) は 0.84~0.92 と高い値を示した (表 1-1)。京都府の林分では、192 個体を解析した結果、挿し木苗由来のクローンと考えられる同じ遺伝子型を持つラメットペアが 35 組検出された (クローン A ~ クローン II; 全体の 60.4%)。最もクローンあたりのラメット数が多かったのはクローン J で 12 ラメット (6.3%)、二番目に多かったのはクローン Y で 9 ラメット (4.7%) であった (図 1-1)。一方、千葉県の実生林分ではクローンは検出されなかった。

クローンあたりのラメット数が 5 ラメット以上のクローンについて、各個体の雄花着生量を図 1-2 に示した。クローン J や M では多くのラメットにおいて雄花着生量が少なく、クローン W では多くのラメットにおいて雄花着生量が多かった。

アレリックリッチネス (A_r)、ヘテロ接合度の観察値 (H_o)、ヘテロ接合度期待値 (H_e) の値は、京都府と千葉県の両林分において、雄花着生量にかかわらず似た値を示した (表 1-2)。また、遺伝距離をもとにした主座標分析の結果においても、両林分共に雄花着生量による違いは見出されなかった (図 1-3)。

HRM 解析の結果、スギ雄花着生量の QTL の近傍に位置する 3 つの SNP マーカーの遺伝子型と雄花着生量との関連性はみられなかった (表 1-3)。(→表 1-3 が引用されていない)

エ 考察

これまでの雄花生産量の調査から雄花生産量の個体間の違いは遺伝的に強く支配されていることが明らかになっている (Yoshimaru et al. 1998)。本研究で調査を行ったマイクロサテライトマーカー 6 遺伝子座は雄花生産性と直接の関係はなかった。今回調査した京都の実生林分では挿し木個体があったために、雄花生産性と関連があるかのように見えたが、実際は雄花生産性の高い個体が挿し木で植林されていたために、これらが複数個体存在していたために相関があるように見えただけである。実際の関連はこれら 6 遺伝子座では明らかにできなかった。

また交配家系を用いた QTL 解析で見いだされた、雄花生産性の遺伝子に密に連鎖した 3 遺伝子座は雄花生産性に係わる候補遺伝子であるため、これらで雄花生産性との関連を調べたが、関係は認められなかった。これはこれら 3 遺伝子が真の雄花生産性遺伝子ではなく、これらに密接に連鎖し

ている遺伝子であるために、交配家系と遺伝的に関係のない個体では組換えが起きており関連が見いだせなかったと考えられる。実際に他の QTL に関しても家系ないでは応用が可能であるが、他家系では組換えが起こるために応用は難しいとされている。

これらの結果から雄花生産性に係わる真の遺伝子を見つけない限り応用は難しい。雄花生産性に係わる遺伝子は一つではなく複数の遺伝子が関与していると考えられるために、大規模な遺伝調査なしには効果の高い遺伝子を見いだすのは難しい。現段階では網羅的に数千の遺伝子を調べる方法等があるが、費用が膨大になる。著者らが実施している生研センタープロジェクトでは雄花生産性遺伝子も目的形質として数千の遺伝子で関連性を調査しているために近い将来には、これら目的の遺伝子が検出できる可能性もある。

オ 今後の問題点

それぞれの個体の雄花生産性と多数の遺伝子（型）との相関関係から雄花生産性に係わる遺伝子（型）を見いだすアソシエーション解析を行うことにより、雄花生産性に係わる遺伝子を検出できる。この研究は生研センタープロジェクトのなかで実施中であるため、近い将来には利用ができるかもしれない。

カ 要約

雄花生産性に係わる遺伝子の調査を行った。既存のマイクロサテライトマーカーで雄花生産性に関連があるマーカーを探索したが、関係は見いだせなかった。また QTL 解析で見いだされた 3 つの雄花生産性関連候補遺伝子を用いて、雄花生産性との関連を調査したが、関係性は見られなかった。雄花生産性遺伝子を検出するためには大規模なアソシエーション解析などを行う必要がある。

キ 引用文献

- Goudet J (2001) FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3). Available from <http://www2.unil.ch/popgen/softwares/fstat.htm>
- Moriguchi Y, Iwata H, Ihara T, Yoshimura K, Taira H, Tsumura Y (2003) Development and characterization of microsatellite markers for *Cryptomeria japonica* D. Don. TheorAppl Genet 106: 751-758.
- Peakall R, Smouse PE (2006) GENALEX 6: Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Mol Ecol Notes 6: 288-295.
- Tani N, Takahashi T, Ujino-Ihara T, Iwata H, Yoshimura K, Tsumura Y (2004) Development and characteristics of microsatellite markers for sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) from microsatellite enriched libraries. Ann For Sci 61: 569-575.
- Tessier C, David J, This P, Boursiquot JM, Charrier A (1999) Optimization of the choice of molecular markers for varietal identification in *Vitisvinifera* L.. TheorAppl Genet 98: 171-177.
- Tsumura Y, Yoshimura K, Tomaru N, Ohba K (1995) Molecular phylogeny of conifers using RFLP analysis of PCR-amplified specific chloroplast genes. TheorAppl Genet 91: 1222-1236
- Yoshimaru H, Ohba K, Tsurumi K, Tomaru N, Murai M, Mukai Y, Suyama Y, Tsumura Y, Kawahara

T Sakamaki Y (1998) Detection of quantitative trait loci for juvenile growth, flower bearing and rooting ability based on a linkage map in sugi. TheorAppl Genet 97:45-50

表 1-1 使用したマイクロサテライトマーカの概要

マーカ	モチーフ	F側プライマー (5' to 3')	R側プライマー (5' to 3')	D _L ^a	引用文献
<i>Cjgssr</i> 78	(GA) ₂₁	AAGAAGGCATCCAAGAGTGA	ACTGCCGATTAAGTATAGCTC	0.92	Moriguchi et al. (2003)
CS 1525	(CA) ₁₈	ATGAAGTGCCCTTGGTTTGT	ATCGCCTCCTCTTTTATCCT	0.90	Tani et al. (2004)
<i>Cjgssr</i> 77	(CT) ₁₀	CCTTGTACACTTATTTGTACCT	AGGGAGGAGAAATAGACAT	0.92	Moriguchi et al. (2003)
<i>Cjgssr</i> 175	(CT) ₁₆	ACCCTTTGAATTATTCCTTGAG	AGCGGAAAAAACTACATCAGA	0.88	Moriguchi et al. (2003)
CJS 333	(GA) ₂₆	AGGAGATTAGGATGGTGGG	GGTTTGCCTCTTCTATGAG	0.94	Tani et al. (2004)
CS 1579	(TG) ₁₁	ACTCTAGCAGCATTTCTCAC	CAGATTTTGTATGAGTGGTT	0.84	Tani et al. (2004)
^a Discriminating power (Tessier et al. 1999)					

表 1-2 京都府と千葉県の実分における遺傳的多様性 (A_r :アレリックリッチネス、 H_o :ヘテロ接合度の観察値、 H_e :ヘテロ接合度の期待値)。

(a)

	京都08			京都08m ^δ		
	$A_{r[20]}$	H_o	H_e	$A_{r[20]}$	H_o	H_e
P78	15.7	0.885	0.914	16.1	0.848	0.914
P1525	14.2	0.865	0.903	14.9	0.848	0.917
P77	19.5	0.923	0.914	21.0	0.879	0.896
P175	18.4	0.865	0.903	18.0	0.848	0.906
P333	20.0	0.882	0.935	20.0	0.813	0.927
P1579	8.7	0.481	0.860	8.5	0.485	0.862

^δ着花着生指数のランクがA~Bのものだけで計算した場合

(b)

	京都09			京都09m ^δ		
	$A_{r[20]}$	H_o	H_e	$A_{r[20]}$	H_o	H_e
P78	16.6	0.907	0.929	16.0	0.900	0.903
P1525	15.5	0.920	0.925	15.0	0.900	0.918
P77	18.1	0.920	0.925	18.0	0.900	0.916
P175	18.4	0.853	0.899	21.0	0.950	0.941
P333	20.3	0.960	0.946	20.0	1.000	0.929
P1579	9.0	0.493	0.861	8.0	0.550	0.834

^δ着花着生指数のランクがA~Bのものだけで計算した場合

(c)

	千葉08			千葉08m ^δ		
	$A_{r[20]}$	H_o	H_e	$A_{r[20]}$	H_o	H_e
P78	18.7	0.953	0.944	19.0	0.952	0.940
P1525	14.7	0.767	0.919	16.0	0.762	0.926
P77	17.6	0.872	0.911	17.3	0.881	0.903
P175	15.6	0.802	0.893	16.5	0.810	0.892
P333	18.9	0.919	0.933	19.6	0.952	0.924
P1579	10.1	0.488	0.853	9.1	0.439	0.838

^δ着花着生指数のランクがA~Bのものだけで計算した場合

表 1-3 京都府の林分の 28 個体の雄花着生状況のランクと雄花着生量の QTL 近傍に位置する 3 つの SNP マーカーの遺伝子型。

個体No.	雄花着生状況のランク	遺伝子座		
		HRM294	HRM183	HRM187
No.198_09i	B+	AA	GG	GG
No.258_09i	B+	AA	AA	CC
No.194_09i	B+	TA	GG	CC
No.264_09B	B+	TA	GA	CC
No.78_08	B	TT	--	CC
No.238_09i	B	TT	GA	CC
No.91_08	B	TA	GG	CC
No.98_08	B	TA	GG	CC
No.217_09i	B	TA	GG	CC
No.249_09i	B	TA	GG	GC
No.79_08	B	AA	GG	CC
No.94_08	B	AA	GG	CC
No.187_09B	B	AA	GA	CC
No.275_09B	B	AA	GG	CC
No.206_09i	B	--	GA	CC
No.87_08	D	TT	GG	--
No.232_09B	D	TT	GG	GC
No.272_09B	D	TT	GG	CC
No.274_09i	D	TT	GA	--
No.299_09i	D	TT	GA	CC
No.303_09i	D	TT	GA	GC
No.304_09i	D	TT	GA	--
No.83_08	D	TA	GG	CC
No.89_08	D	TA	GG	CC
No.84_08	D	AA	GA	GC
No.273_09i	D	AA	AA	CC
No.278_09B	D	AA	GG	GG
No.295_09i	D	AA	AA	GC

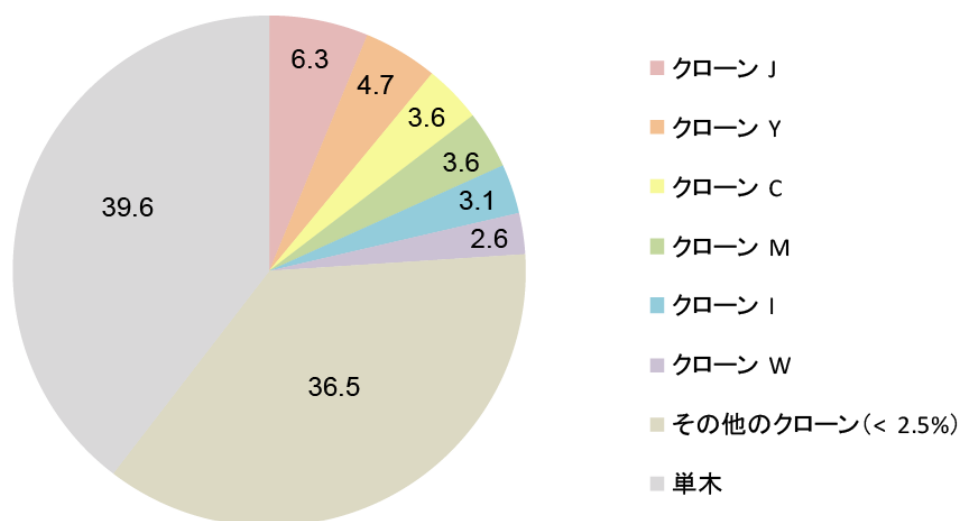


図 1-1 京都府のスギ林分のクローン構成。

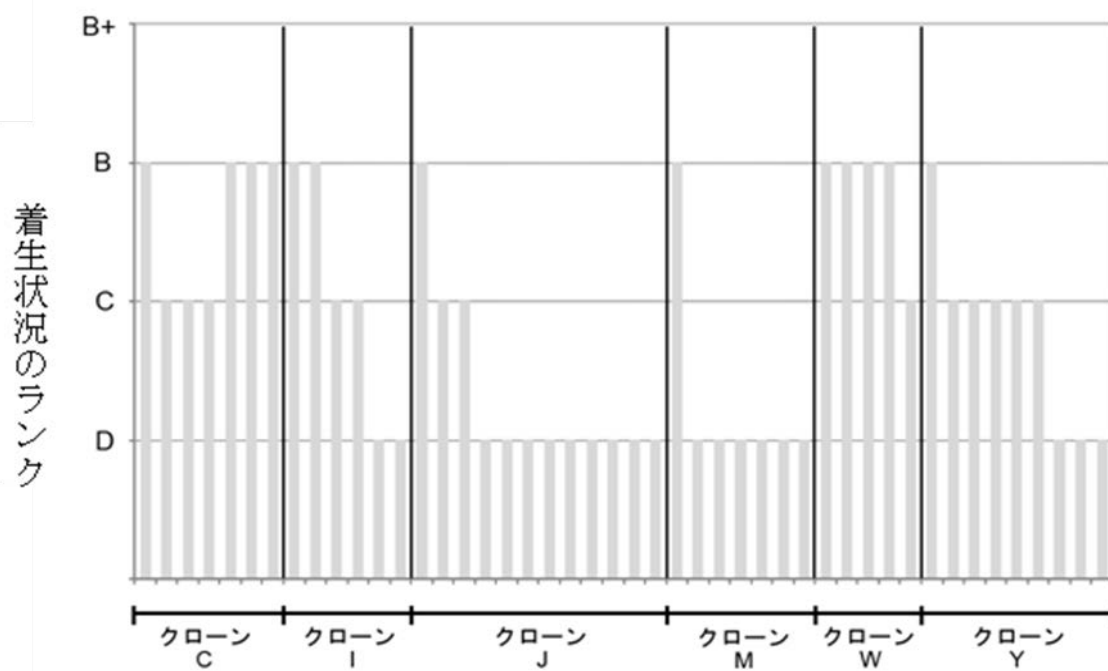
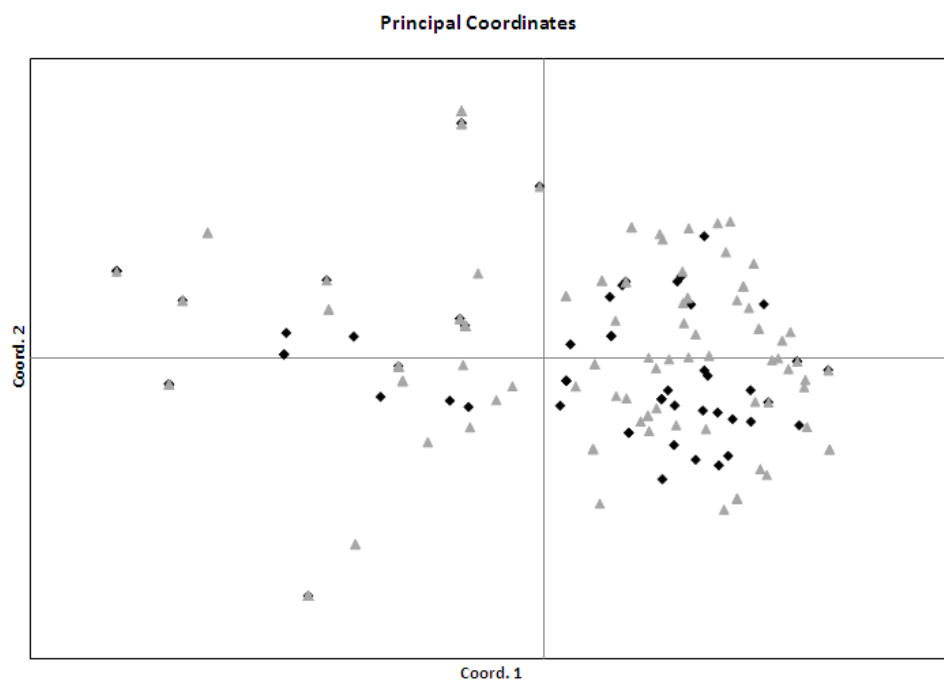


図 1-2 検出された各クローンの雄花着生状況のランク（京都府）。クローンあたりのラメット数が 5 ラメット以上の 6 ラメットの結果を示す。（→タテ軸の雄花着生量も「雄花着生状況のランク」に）

(a)



(b)

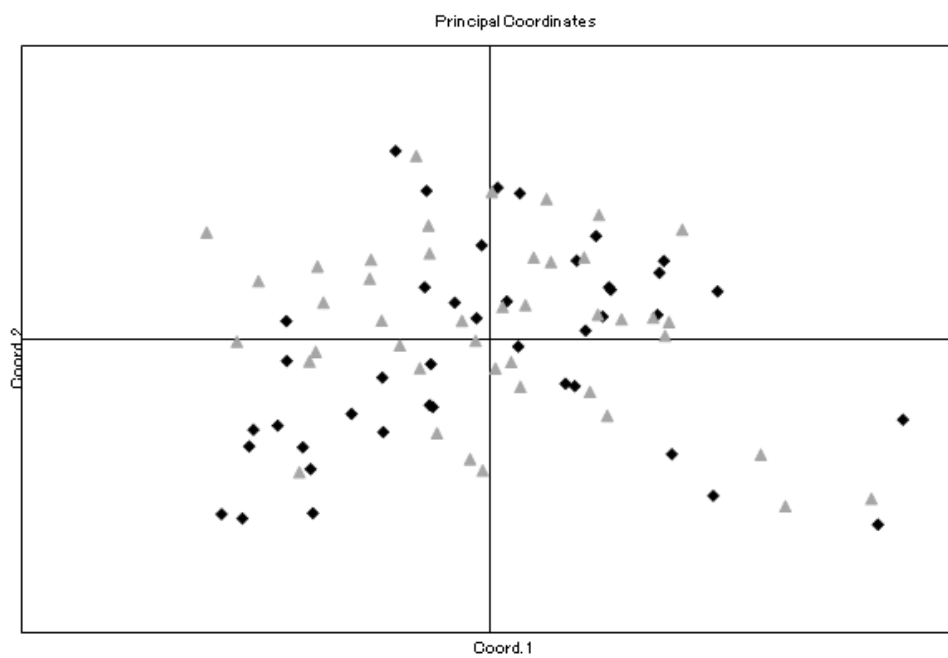


図 1-3 雄花着生量と遺伝子型の関係 (a : 京都府、b : 千葉県)。◆は A-B 判定以上を示す。

(津村義彦、伊原徳子、森口喜成)

2. 雄花量に着目した間伐の効果の持続性の検証

(1) 千葉県の実験地

ア 研究目的

スギ人工林の面積は、450 万ヘクタールと人工林全体の 44%を占めており、そのうち、利用可能な 9 齢級以上の面積は 262 万ヘクタールと約 6 割を占めている（林野庁 2011）。しかしながら、木材価格の低迷から利用は進んでおらず、主伐が先送りされて伐期が長期化しつつある状況にあり、スギ人工林の資源を適切に維持するためには、間伐等の継続した手入れが必要となっている。

一方で、間伐は雄花生産量を増加させる（清野 2002、大場 2005）ことから、スギ花粉症対策としての雄花生産量を増加させない管理技術の開発が求められている。特に間伐については、雄花の着生が多い個体を間伐対象とする多雄花木間伐という考え方がある。しかしながら、その効果については、実生スギ林において明確な効果は認められない（福島ら 1996）との報告がある一方で、遺伝的に異なる個体が混生する林では効果が期待できる（清野ら 2003）という指摘もあり、その効果の検証が求められている。

そこで、多雄花木間伐の効果の検証を目的として、千葉県富津市の国有林において、多雄花木間伐、通常の下層間伐を実施し、間伐前後の雄花生産量と雄花着生状況がどのように変化するか調査を行った。また、多雄花木間伐による効果が期待できるスギ林かどうかを判別する方法を検討する基礎データとするため、同時に林縁木の雄花着生状況の変化について調査を行った。

試験林の設定、間伐にご協力いただいた千葉森林管理事務所、千葉県森林課、千葉県中部林業事務所の関係各位に厚くお礼申し上げます。

イ 研究方法

試験地は、千葉県富津市にある鬼泪山国有林 94 林班の 31~32 年生（2010 年）実生スギの人工林である。試験地の標高は約 200 m、地形は沢沿いのほぼ平坦地である。試験地内に、40m×40mの試験区を 3 つ設定し、それぞれ多雄花木間伐区、通常間伐区、対照（無間伐）区とした。多雄花木間伐区と通常間伐区については、隣接地の影響を除くため、周囲に 10m 幅のバッファゾーンを設け、それぞれの間伐処理と同様の処理を行った。なお、各試験区とも 5 年以内に間伐は行われておらず、間伐前の林冠はほぼうっ閉していた。

間伐前の 2008 年 12 月~2009 年 3 月に、各試験区内の毎木調査（胸高直径、雄花着生量）を行った。雄花着生量については、双眼鏡を用いて 2 名で目視観察し、A（陽樹冠を構成する一次枝の全てに雄花が着生し、その着生密度が非常に高い）、B+（陽樹冠を構成する一次枝の全てに雄花が着生し、その着生密度が比較的高い）、B（陽樹冠を構成する一次枝の全てに雄花が着生し、その着生密度は比較的低い）、C（陽樹冠を構成する一次枝のうち一部の枝に着生）、D（雄花の着生なし）、の 5 段階に判定した。また、観察者による判定誤差を少なくするため、事前に観察者全員で判定基準の確認を行った。間伐後の雄花着生量の変化及び残存木の成長については、2009 年 12 月~2010 年 1 月、2011 年 1 月に、間伐前と同様に毎木調査（胸高直径、雄花着生量）を行った。加えて、試

験区における雄花着生量と、林縁木の雄花着生量との関係を明らかにするため、試験区を設定したスギ林の林縁木 40 個体について、試験区と同様に毎木調査（胸高直径、雄花着生量）を行った。

間伐（多雄花木間伐、通常間伐）は、2009 年 5 月下旬に実施した。間伐にあたっては、材積間伐率を約 26%とし、多雄花木間伐区では雄花着生量が多い A や B + ランクの個体を優先して選木し、通常間伐区では形質不良木を中心に残存木の配置を考慮して一般的な下層間伐の選木を行った。この選木の結果、本数間伐率は多雄花木間伐区で 26%、通常間伐区では 34%となった（表 2-1-1、図 2-1-1）。

雄花生産量（ここでは花粉飛散後に落下した雄花殻量を雄花生産量と呼ぶ。花粉重量は雄花殻重量にほぼ等しい（齋藤ら 1987））は、間伐前と間伐 1 年後の 2 回の測定を行った。測定は、花粉放出後に林内に落下する雄花を雄花トラップで捕捉し、単位面積当たりの乾燥重量を測定する方法で行った。雄花トラップは、直径約 40 cm の円形のものを使用し、各試験区に 36 個、合計 108 個を配置した。雄花トラップの設置期間は雄花が落ち始める前の 2 月上旬から 7 月下旬を基本としたが、間伐前の 2008 年については、ほとんどの雄花が落下する 5 月中旬までとし、その後間伐を実施した。

表2-1-1 各試験区における間伐前後の状況

試験区	間伐前			間伐後			材積間伐率 (%)	本数間伐率 (%)
	本数 (本/plot)	立木密度 (本/ha)	胸高直径(cm) 平均±SD	本数 (本/plot)	立木密度 (本/ha)	胸高直径(cm) 平均±SD		
多雄花木間伐区	225	1,406	22.0±4.2	166	1,038	22.1±4.0	26.2	26.2
通常間伐区	241	1,506	19.7±4.2	158	988	20.9±3.9	26.9	34.4
対照（無間伐）区	268	1,675	20.6±4.2	—	—	—	—	—

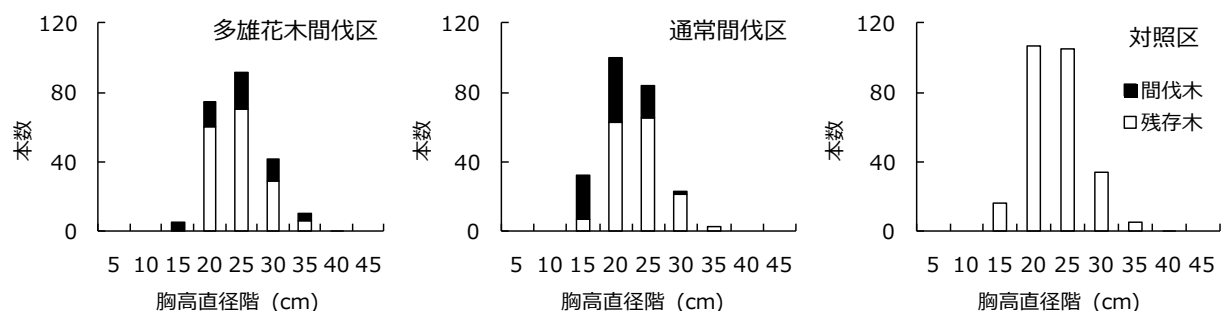


図2-1-1 各試験区における間伐木と残存木の胸高直径階分布

ウ 結果

1) 間伐前の雄花着生状況

各試験区における胸高直径階別の雄花着生状況を図 2-1-2 に示した。雄花着生状況は、試験区による大きな違いは認められなかった。図より、雄花着生量が多い個体は胸高直径が大きいものが多く、反対に雄花が着生しない個体は胸高直径が小さいものが多かった。これは、成長の良い個体は

ど雄花の着生が多い傾向があることを示しており、今回の試験林における多雄花木間伐は、優勢木を中心とした間伐となった。

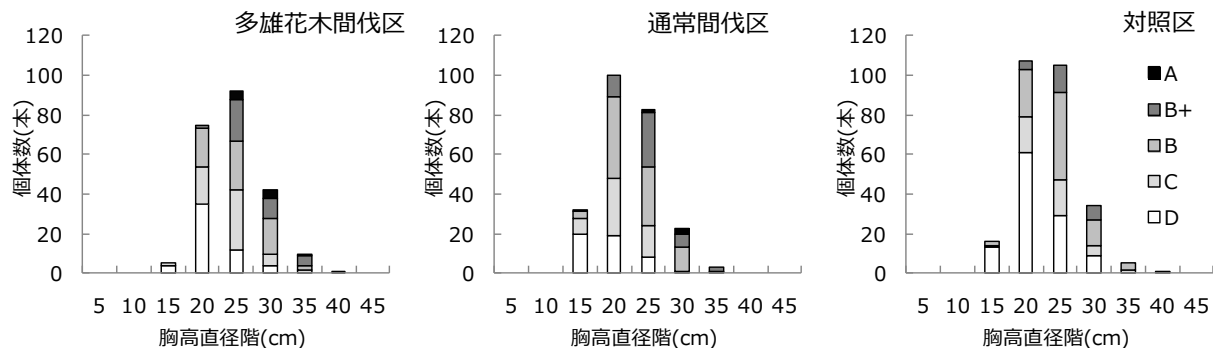


図2-1-2 各試験区における雄花着生状況のランク別個体数の胸高直径階分布

2) 雄花生産量の変化

各試験区における間伐前、間伐1年後の雄花生産量を図2-1-3に示した。間伐前の雄花生産量は、対照区が約40g/m²であったのに対し、多雄花木間伐区と通常間伐区は、どちらも約50g/m²とやや多く、対照区と2つの間伐区の間で有意差が認められた ($p < 0.05$, Tukey-Kramer のHSD検定)。したがって、間伐後の雄花生産量の比較にあたってはその比率を用いて数値を補正して比較する必要があると考えられた。

間伐1年後の雄花生産量は、すべての試験区で間伐前に比べて減少した。減少の割合は対照区で最も大きく、間伐前の30% (12 g/m²) に減少したが、多雄花木間伐区と通常間伐区については間伐前の48~49% (24 g/m²) となり、2つの間伐区と対照区の間では間伐前と同様に有意差が認められた ($p < 0.05$, Steel-Dwass の多重比較)。対照区における減少が雄花生産量の年変動を反映していると考え、多雄花木間伐区と通常間伐区は、対照区を基準にしてその割合はどちらも1.6倍に増加していた。なお、間伐前、間伐1年後ともに2つの間伐区における雄花生産量には差が認められなかったことから、間伐1年後については多雄花木間伐による雄花生産量の減少効果は確認できなかった。

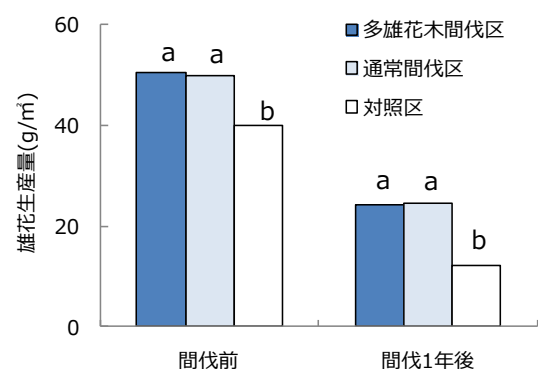


図2-1-3 各試験区における間伐前、1年後の雄花生産量の変化

間伐前 : $p < 0.05$, Tukey-KramerのHSD検定
 間伐1年後 : $p < 0.05$, Steel-Dwassの多重比較
 同一記号は有意差がないことを示す

3) 雄花着生状況の変化

各試験区における間伐前、間伐1年後、2年後の雄花着生状況のランク別個体数を図2-1-4に示した。間伐前のランク別個体数は、2つの間伐区がほぼ同じであり、それに比べて対照区は雄花の

着生がない個体（D）の割合が高かった。このことは、雄花生産量が2つの間伐区で同程度であり、対照区で少なかったことに対応していた。

間伐1年後については、3試験区とも雄花の着生が多いA、B+の個体が減少した。多雄花木間伐区については、間伐時にほとんどのA、B+の個体を伐採したが、間伐1年後のランク別個体数は、通常間伐区とほぼ同じであった。対照区については、A、B+の個体の減少に加えて雄花の着生がないDの個体が増加していた。雄花生産量は、上述のように間伐前に比べて2つの間伐区で48～49%、対照区で30%に減少しており、間伐1年後についても雄花着生状況は雄花生産量の減少に対応していた。

間伐2年後については、3試験区すべてで雄花の着生が多い個体の割合が増加した。特に、着花量が多いA、B+についてみると、間伐1年後に比べて多雄花木間伐区では1→9（A）、7→54（B+）、通常間伐区では0→48（A）、9→51（B+）、対照区においても0→12（A）、7→61（B+）と大幅に増加していた。間伐2年後の雄花生産量は現時点では不明であるが、雄花着生状況からみて、いずれの試験区においても雄花生産量は大幅に増加すると予想される。

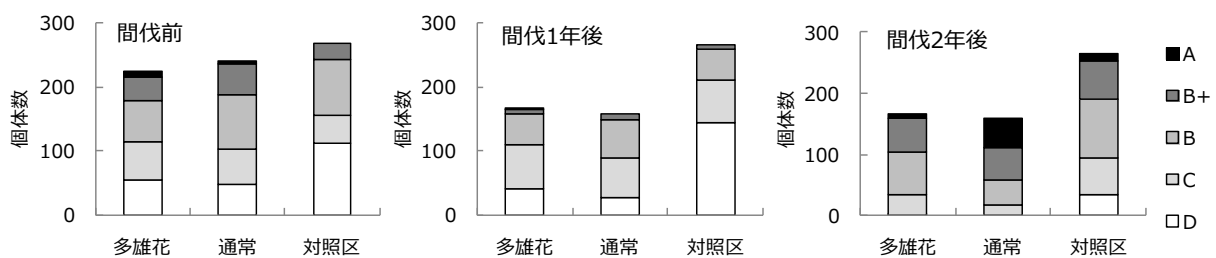


図2-1-4 間伐前、1年後、2年後の各試験地における雄花着生状況のランク別個体数

多雄花：多雄花木間伐区、通常：通常間伐区

4) 林縁木の雄花着生状況

林縁木の雄花着生状況のランク別個体数を図2-1-5に示した。間伐を行っていない対照区と比較すると、間伐1年後については雄花の着生が少ないCや着生がないDの個体が多くなり同じような結果となった。しかし、間伐前、間伐2年後について、雄花の着生が多いA、B+の個体の割合をみると、対照区で間伐前が10%、間伐2年後が28%であったのに対し、林縁木では間伐前が38%、間伐2年後が73%となり、雄花の着生個体は林縁木で明らかに多かった。

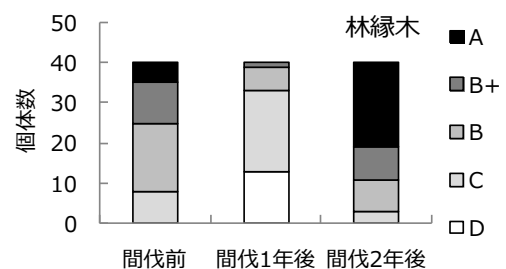


図2-1-5 林縁木における雄花着生状況のランク別個体数

エ 考察

1) 多雄花木間伐前後の雄花生産量と雄花着生状況の変化

スギの雄花生産量は、年変動が大きい（福島ら 1996）。調査を行った3年間については、千葉県農林総合研究センター森林研究所（2011）による千葉県内のスギ雄花生産量の予測値から、間伐前の2008年が平年並み、間伐1年後の2009年が凶作年、間伐2年後の2010年が5～6年に一度の豊作年に当たっていた。今回の調査で明らかになった2年間の雄花生産量は、間伐前（平年並み）に比べて間伐1年後（凶作年）に減少し、千葉県内の雄花生産量の年変動に同調していた。また、同様に雄花着生状況についても、雄花を多く着生する個体が間伐前に比べて1年後では減少し、間伐2年後の豊作年には増加したことから、3年間を通して雄花生産量の年変動に同調していた。

間伐1年後の雄花生産量は、雄花の凶作年を反映して間伐前に比べて3試験区ともに減少したが、対照区を基準に補正して相対値で比較すると、2つの間伐区はいずれも1.6倍に増加していた。これを雄花着生状況のランク別個体数からみると、対照区では、雄花の着生がないDの個体の割合が42%から54%に増えたが、これに対して2つの間伐区では、Dの個体の割合は多雄花木間伐区で25%、通常間伐区で18%と間伐前とほとんど変わらず、対照区と比較すると雄花を着生した個体が増加したことになり、これが雄花生産量の増加につながったと考えられる。なお、ランク別個体数は2つの間伐区でほとんど同じであり、多雄花木間伐区で雄花の着生が多いA、B+の個体のほとんどを除去したことによる違いは認められなかった。その理由としては、間伐1年後は凶作年に当たったため、雄花を多く着生する個体が減少したことにより、雄花生産量の差が不明確になった可能性がある。

雄花の豊作年に当たる間伐2年後の雄花着生状況は、3試験区すべてで雄花の着生が多い個体が増加したが、多雄花木間伐区に比べて通常間伐区でAの個体の増加が顕著であった。詳細は、雄花生産量の比較が必要であるが、雄花着生状況で見ると、通常間伐区に比べて多雄花木間伐区で雄花生産量が減少する可能性があり、これは多雄花木間伐の効果と考えられる。

2) 雄花生産量と雄花着生状況との関係

横山ら（1992）は、目視による雄花着生状況の判定結果を指数化し、雄花生産量と相関が高いことを示した。この方法は、1林分あたり40本の調査木の陽樹冠に着生する雄花量を6段階に判定し、判定された各ランクの本数に重み付けの点数を掛け合わせ、合計したものを着花指数として用いている。現在、この方法は、判定区分を4段階に簡略化して各地で花粉飛散量の予測に用いられている（林野庁2002）。今回の調査では判定区分を5段階としたことから、雄花の着生が多いAとB+を横山法のA（陽樹冠全面に着生、雄花群の密度が非常に高い）、Bを横山法のB（陽樹冠のほぼ全面に着生）、Cを横山法のC（疎らに着生、あるいは限られた部分に着生）、Dを横山法のD（雄花が観察されない）として4段階に換算し、重み付けの点数を、それぞれ100、50、10、0として各試験区の着花指数（40個体あたり）を計算した。この着花指数と、間伐前、間伐1年後の雄花生産量との関係を示したのが図2-1-6である。着花指数と雄花生産量の相関は高く（ $r=0.918$ ）、

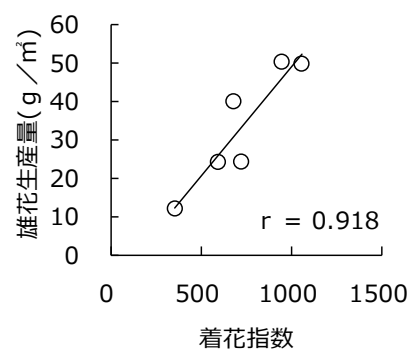


図2-1-6 開花前と1年後の着花指数と雄花生産量の関係

雄花の着生状況から雄花生産量の推定が可能と考えられた。そこで、求められた回帰式から間伐2年後の雄花生産量を計算すると、多雄花木間伐区が 79 g/m²、通常間伐区が 103 g/m²、対照区が 61 g/m²となり、多雄花木間伐区の雄花生産量は通常間伐区の 77%程度に減少すると推定された。なお、多雄花木間伐の効果を正確に把握するには、さらに数年間の継続した雄花生産量調査が必要である。

3) 林縁木の雄花着生状況からみた試験林の着花性

林縁木は、雄花の凶作年では対照区と同様に雄花の着生が少なかったが、豊作年や平年並みの条件では対照区に比べて雄花の着生が多くなり、すべての個体が雄花を着生していた。このことは、今回の試験林が、林縁木のように、被圧されない条件下では、雄花を多く着生する性質を持つ個体から成っていることを示しており、この試験林は雄花を着生しやすい個体からなる集団であると考えられる。このような集団の場合、雄花生産量が平年並みから豊作の年に林縁木の雄花着生状況を観察すれば、雄花を着生しやすい集団であるかどうかの判定が可能と考えられた。

4) 多雄花木間伐の効果の持続性

多雄花木間伐は、対象が雄花を着生しやすい集団では、被圧されていた個体が間伐により雄花を多く着生するようになるために、効果は小さくなることが予想される。一方、雄花を着生しやすい個体とそうでない個体が混生する集団では、効果は大きくなりその持続性も長くなることが予想される。今回調査を行った試験林は、林縁木の雄花着生状況から前者に近い集団と考えられるが、その効果の大きさと持続性を明らかにするためには、今後も継続して調査を進める必要がある。

オ 今後の問題点

多雄花木間伐の効果は、通常間伐に比べて永続的に雄花生産量を減少させることが期待されているが、その効果の持続性を明らかにするためには、さらに数年間の継続した調査が必要である。このため、平成 23 年度からの交付金プロジェクト「人工林施業の長伐期化に対応した将来木選定の指針策定」の中で調査を継続する予定である。

カ 要約

千葉県富津市にある国有林内の 31~32 年生スギ林において、多雄花木間伐の効果を検証することを目的として、多雄花木間伐区、通常間伐区、対照（無間伐）区を設置し、間伐前後の雄花生産量（トラップ調査）と雄花着生状況（目視調査）の変化を経年的に調査した。雄花の並作年であった間伐前とくらべて、凶作年に当たった間伐1年後は雄花生産量が減少したが、多雄花木間伐区と通常間伐区では、対照区ほどには減らず、2つの間伐区の間で雄花生産量の平均値に差は認められなかった。目視で調べた雄花着生状況は、トラップで調べた雄花生産量と比較的よく対応していた。雄花の豊作年に当たる間伐2年後の雄花着生状況は、多雄花木間伐区では通常間伐区に比べて雄花生産量が減少することを示唆していた。今のところ、多雄花木間伐の効果を否定するデータは得られていない。しかし、多雄花木間伐の効果の持続性を明らかにするためには、さらに数年の継続調査が必要である。

キ 引用文献

千葉県農林総合研究センター森林研究所（2011）千葉県における平成 23 年春のスギ花粉量の予測.

(http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-nourin/nourin/shuyouseika/documents/h23_kafun.pdf)

福島成樹・小平哲夫・横山敏孝（1996）森林施業によるスギ花粉生産抑制効果（I）. 107 回日林論 475-478.

清野嘉之（2002）スギ花粉症と森林管理. 山林 1420:54-61.

清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田清・野田巖・近藤洋史（2003）強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる. 日林誌 85(3):237-240

大場孝裕（2005）間伐によるスギ花粉生産量の変化. 日林学術講 116:1E07

林野庁（2002）平成 13 年度スギ花粉生産森林情報調査整備事業調査報告書. 108pp.

林 野 庁 （ 2011 ） 森 林 ・ 林 業 統 計 要 覧 . 256pp .
(http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/pdf/mokuzi_1.pdf)

齋藤秀樹・竹岡政治（1987）裏日本系スギ林の生殖器官生産量および花粉と種子生産の関係. 日生態会誌 37: 183-195

横山敏孝・金指達郎（1992）着花率によるスギ人工林の雄花生産量の推定. 103 回日林論 327-328

（福島成樹、梶本卓也、金指達郎、齊藤哲、川崎達郎、千葉幸弘、五十嵐哲也、清野嘉之）

（２）京都府の試験地

ア 研究目的

スギ花粉症対策として、花粉の飛散量を減少させる施策が求められている。通常の間伐は花粉生産量を増やすことが知られている（清野 2003）が、遺伝的に花粉生産量の多い個体（多雄花木）を選択的に間伐することで花粉生産量を減少させることができる可能性がある。本研究では多雄花木間伐による花粉生産量の削減効果を検証することを目的とした。

イ 研究方法

調査は京都市伏見区醍醐山国有林 30 は林班で行った。同林班の面積は 3.9 ha で、谷沿いの急傾斜地である。1974 年に 3500 本/ha のスギが植栽され、調査を開始した 2008 年の時点で 34 年生のスギ林である。少なくとも 2001 年以降は間伐が行われておらず、うっ閉した林分となっている。なお、同林班には 2002 年に強度間伐と雄花生産量の関係を調査するための試験地が設置されており、無間伐区から 75%の超強度間伐区に至る 4 プロットで、現在でも毎木調査と雄花落下量調査が継続されている。

2008 年 12 月に通常間伐区 (456 m²) および多雄花木間伐区 (427 m²) の二つのプロットを設置し、毎木調査を行った。コントロールとしては強度間伐試験地の無間伐区 (297 m²) を使用した。また、被圧のない状態での個体間の雄花着生状態の差を明らかにするために林縁木 90 個体にナンバリングし、毎木調査を行った。

2009 年 2 月、2010 年 1 月、2011 年 1 月に双眼鏡を用いて無間伐区、通常間伐区、多雄花木間伐区、およびナンバリングした林縁木の目視による雄花着生量の調査を行った。判定の誤差を減らすため、事前に調査者全員で同一個体を判定してキャリブレーションを行い、さらに 2 名で確認を取りつつ判定した。判定は、A（陽樹冠を構成する一次枝の全てに雄花が着生し、その着生密度が非常に高い）、B+（陽樹冠を構成する一次枝の全てに雄花が着生し、その着生密度が比較的高い）、B（陽樹冠を構成する一次枝の全てに雄花が着生し、その着生密度は比較的低い）、C（陽樹冠を構成する一次枝のうち一部の枝に着生）、D（雄花の着生なし）、の 5 段階とした。

2009 年 5 月末に調査区の間伐を行った。通常間伐区では材積間伐率 25.2%の下層間伐を行い、多雄花木間伐区では、2009 年 1 月に行った目視による雄花着生状況の調査結果に基づいて、雄花着生レベルの高い個体を優先に材積間伐率 25.8%の間伐を行った。間伐の結果、多雄花木間伐区では平均胸高直径が 21.8 cm から 21.4 cm にわずかに減少し、立木本数は 67 本から 52 本に減少し、本数間伐率は 22.4%であった。通常間伐区では平均胸高直径は逆に 22.3 cm から 25.3 cm に増え、立木本数は 62 本から 37 本に大きく減少し、本数間伐率は 40.3%に達した(表 2-2-1、図 2-2-1)。

表 2-2-1 各試験区における間伐前後の状況

試験区	間伐前				間伐後				間伐率	
	本数 (本)	立木密度 (本/ha)	平均胸高 直径 (cm)	標準偏差	本数 (本)	立木密度 (本/ha)	平均胸高 直径 (cm)	標準偏差	材積間伐率 (%)	本数間伐率 (%)
多雄花間伐区	67	1467	21.8	4.7	52	1139	21.4	4.7	25.8	22.4
通常間伐区	62	1449	22.3	4.6	37	865	25.3	2.9	25.2	40.3
対照区(無間伐)	50	1684	22.5	5.6	-	-	-	-	-	-

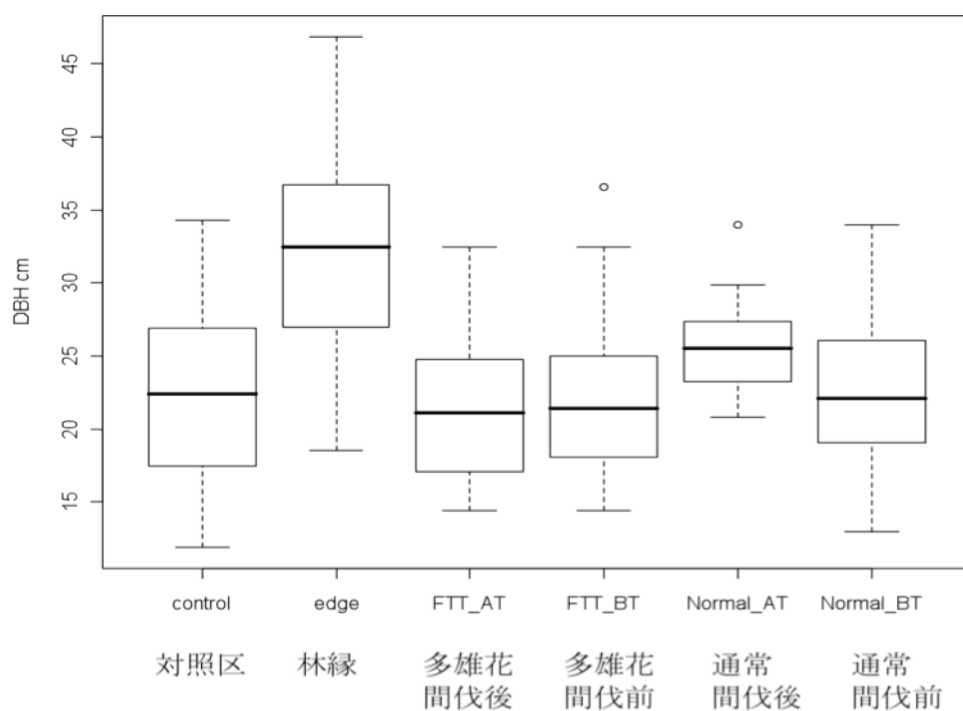


図 2-2-1 各試験区の間伐前後の胸高直径 (cm) の比較 (2009)

2009 年および 2010 年の 2 月から 5 月まで、直径 40 cm の雄花トラップを各試験地に 20 個ずつ、計 60 個設置した。花粉重量は雄花殻重量にほぼ等しい（齋藤秀樹 1987）ことより、捕捉した雄花殻量から雄花生産量を推定した。

以上の調査結果から、間伐前後の雄花着生状況および雄花生産量の変化を推定し、通常間伐と多雄花木間伐が雄花着生状況および雄花生産量に与える影響を推定した。

ウ 結果

1) 雄花着生状況

2009 年（間伐前）から 2011 年（間伐 2 年後）にかけての雄花着生状況を表 2-2-2 に示した。雄

花の着生が見られた個体（着生状況 D 以外の個体）の割合は、対照区および林縁区では凶作年であった 2010 年では少なく、2009 年と 2011 年ではほぼ同じ割合であった。一方、間伐区では 2010 年に少ない傾向は同様だが、2011 年には 2009 年よりも雄花着生個体の割合が高くなっていた。雄花着生個体の割合は、2009 年の時点では、通常間伐区の 33.9%に対して多雄花木間伐区で 56.7%と高かったが、2010 年には通常間伐区で 56.8%、多雄花木間伐区で 61.2%と差が小さくなっていた。

表 2-2-2 間伐前から間伐 2 年後までの雄花着生状況の変化（2009–2011）

雄花着生状況	多雄花間伐区			通常間伐区			対照区			林縁		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
B+	3	0	3	4	0	0	0	0	0	7	0	12
B	19	1	11	5	5	9	7	2	1	28	6	16
C	16	17	16	12	11	12	6	4	11	23	24	28
D	29	31	19	41	21	16	37	40	34	32	60	34
全個体数	67	49	49	62	37	37	50	46	46	90	90	90
雄花着生個体	38	18	30	21	16	21	13	6	12	58	30	56
雄花着生個体率(%)	56.7	36.7	61.2	33.9	43.2	56.8	26.0	13.0	26.1	64.4	33.3	62.2

2) 林縁木の雄花着生状況と胸高直径

2009 年の林縁木の雄花着生状況と胸高直径の関係を図 2-2-2 に示した。雄花着生状況のレベルが高いほど平均胸高直径が大きい傾向がある。雄花着生状況のレベル間の平均値の差をホルムの方法によって調整した pairwise wilcoxon test によって検定した結果、全てのレベルの間に有意差が見られ、着生状況が個体のサイズに依存していることが明らかであった。

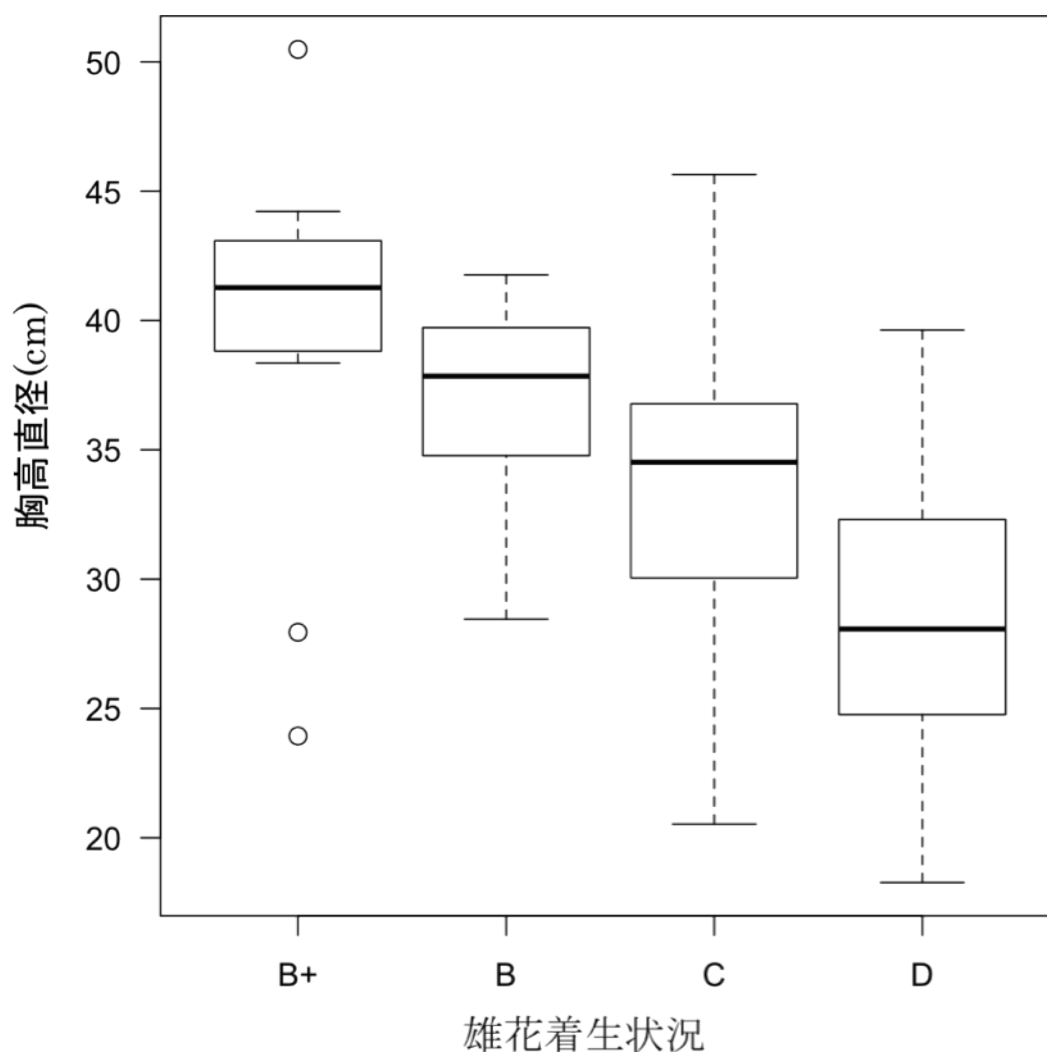


図 2-2-2 林縁木の雄花着生状況と直径（2011）

3) 雄花生産量

2009 年（間伐前）および 2010 年（間伐後）の雄花生産量を図 2-2-3 に示した。2009 年の雄花生産量の平均値は多雄花木間伐区で 39.8 g/m^2 、通常間伐区で 27.1 g/m^2 、対照区で 23.6 g/m^2 と、多雄花木間伐区で有意に高かった (pairwise Wilcoxon test)。一方、2010 年の雄花生産量の平均値は多雄花木間伐区で 1.3 g/m^2 、通常間伐区で 2.7 g/m^2 、対照区で 2.6 g/m^2 と、逆に多雄花木間伐区で有意に低かった (pairwise Wilcoxon test)。

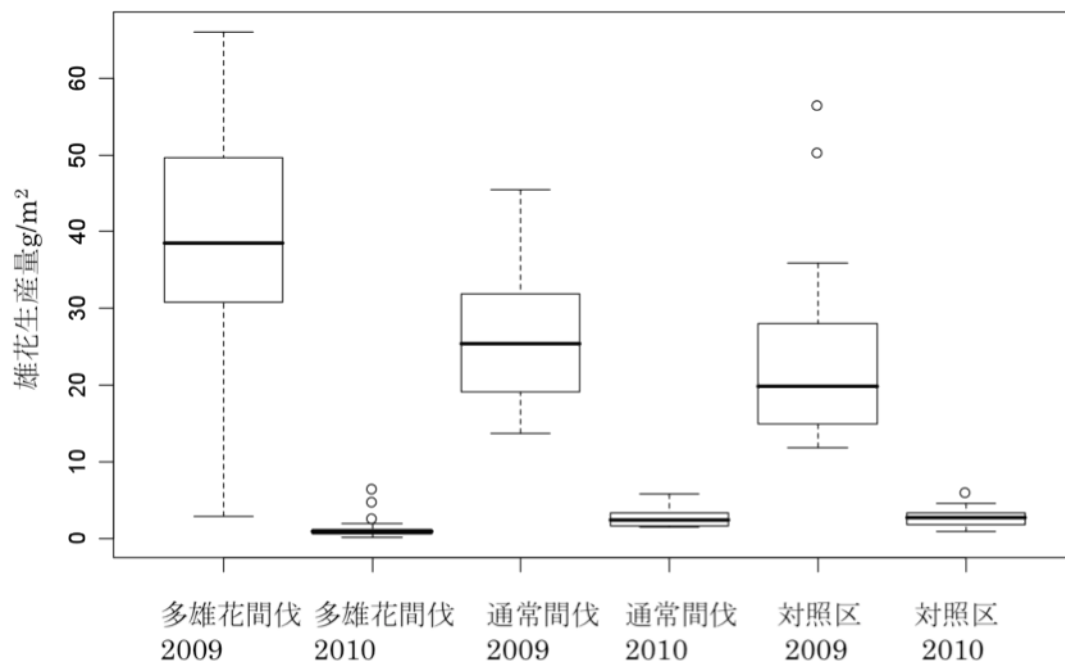


図 2-2-3 間伐前と間伐一年後の雄花生産量の比較 (2009－2010)

エ 考察

1) 雄花着生状況への多雄花木間伐の効果

対照区および林縁木の間伐前の 2009 年と間伐 2 年目の 2011 年の雄花着生状況はほぼ同様であったことから、2009 年と 2011 年はほぼ同等の豊作年であったと推定できる(表 2-2-2)。しかし、間伐区では通常間伐区、多雄花木間伐区ともに 2009 年より 2011 年の方が雄花着生個体の割合が高く、間伐によって雄花着生が促進されていると推察した。しかし、通常間伐区の雄花着生個体の割合が倍近く増えているのに対し、多雄花木間伐区では増分はわずかであり(表 2-2-2)、多雄花木間伐によって間伐に伴う雄花着生個体の増加をある程度防止できた可能性がある。

2) 林縁木の雄花着生状況

被圧下にないにも関わらず、豊作年である 2009 年、2011 年でも、林縁木の個体のおよそ 30%では雄花の着生が認められなかった。また、雄花着生状況のレベルが高い個体は低い個体より有意に平均胸高直径が大きく、個体サイズが大きい個体で雄花着生状況のレベルが高いことが明らかになった。ただし、各レベル内の胸高直径のばらつきは大きく、個体サイズ以外の要因、例えば遺伝的特性などによって雄花着生状況に差が生じている可能性はある。また、豊作年の林縁木の雄花着生個体の割合は間伐後の多雄花木間伐区や通常間伐区とほぼ同じであり、雄花着生状況も類似していることから、豊作年に林縁木の雄花着生状況を観察することによって間伐後の雄花着生状況が予測できる可能性がある(表 2-2-2)。

3) 雄花生産量への多雄花木間伐の効果

間伐前の 2009 年には多雄下木間伐区で有意に高かった雄花生産量が、間伐一年後の 2010 年には逆に多雄下木間伐区で有意に低くなっており、多雄花木間伐によって雄花生産量が減少していることが明らかになった。ただし、間伐一年後である 2010 年は極めて雄花生産量が少ない凶作年であった(図 2-2-4)ため、これをもって明らかに効果があるとは言い切れない。そのため、間伐効果を確認し、効果の持続性を明らかにするにはさらに継続して調査を行う必要がある。

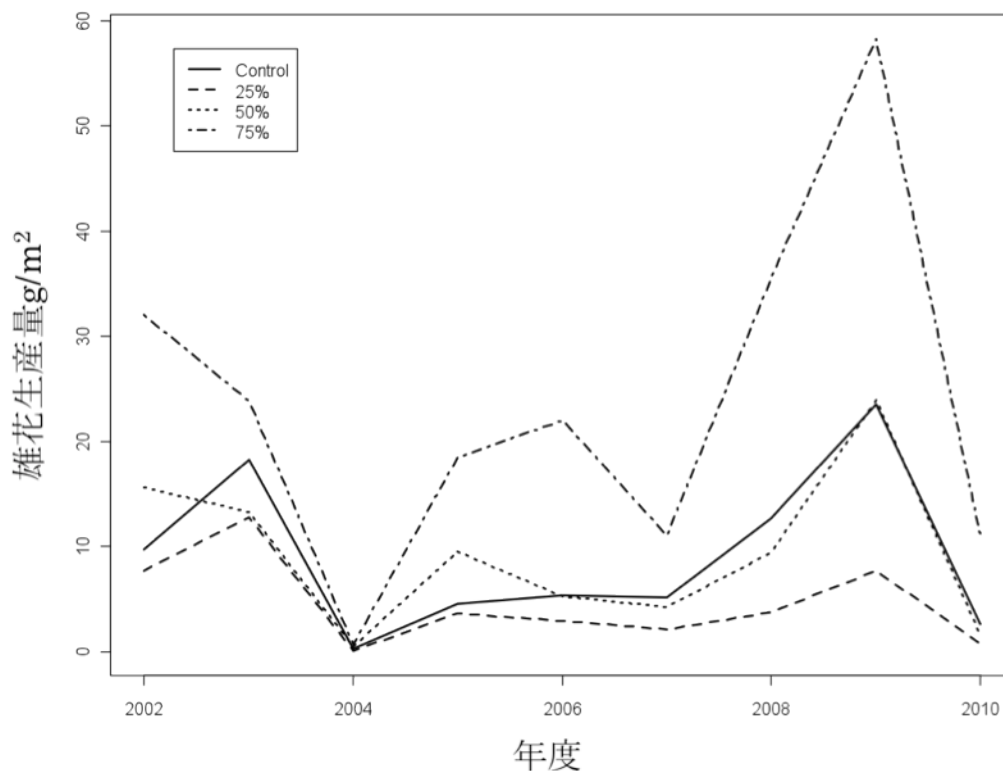


図 2-2-4 強度間伐試験地の雄花生産量の年変動 (2002-2010)

オ 今後の問題点

雄花着生状況および雄花生産量について多雄花木間伐による抑制効果が認められたが、短い調査期間では雄花生産量の年変動の影響が強く、間伐効果の持続性について明らかにすることはできなかった。多雄花木間伐の効果を検証するにはより長期間の調査を継続する必要がある。

カ 要約

京都市伏見区醍醐山国有林 30 は林班の 34 年生のスギ林において、多雄花木間伐による雄花生産量の抑制効果を検証するための試験区を設置し、目視による雄花着生状態の調査と雄花トラップによる雄花生産量の調査を行った。

対照区と比較すると、多雄花木間伐後は雄花着生個体の割合が増加したが、通常間伐に比べれば増分は小さかった。また、林縁木の調査から、個体サイズの差が雄花着生状況に影響していることが示され、同時に林縁木の雄花着生状況によって間伐後の雄花着生状況を予測出来る可能性が示された。雄花生産量は多雄花木間伐によって対照区や通常間伐区と比較して相対的に減少していたが、2010 年が凶作年であったこともあり、間伐の効果およびその持続性を確認するには 2011 年以降も継続調査が必要とみられる。

キ 引用文献

清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田清・野田巖・近藤洋史（2003）強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる．日林誌 85(3):237-240

齋藤秀樹（1987）裏日本系スギ林の生殖器官生産量および花粉と種子生産の関係．日本生態学会誌 37(3):183-195

（五十嵐哲也、梶本卓也、壁谷大介、金指達郎、川崎達郎、清野嘉之、齋藤哲、千葉幸弘、韓慶民、福島成樹、右田千春）

3 雄花量に着目した間伐が成長に及ぼす影響の解明

ア 研究目的

我が国の針葉樹人工林の多くは 40～60 年生と伐期を迎えているが、昨今の林業不振で主伐が先送りされたり、間伐等の手入れが十分に行われない林分が増えている。スギ林の場合、今や深刻な社会問題となった花粉症も、こうした伐期齢に達しつつも健全に管理されない人工林の増加自体がその原因の背景にあると言える（篠原 2010）。最近では、こうした主伐の先送りに伴い強度間伐が試みられる林分が増えつつある。これまでの研究では、強度な間伐でスギの雄花生産が一時的に増加する可能性が指摘されている（清野 2002, 清野ほか 2003）。しかし、間伐等森林の管理が花粉生産の制御に有効な管理手法を確立するためには、間伐の仕方や間伐率など条件による違い、さらには雄花生産と成長の相互関係などを検討する必要がある。

以上の観点から、この研究プロジェクトでは、スギ人工林の雄花生産制御に有効となる可能性がある多雄花木間伐（清野ほか 2003）、すなわち何らかの理由で（遺伝的あるいは環境条件）雄花を多くつける個体をねらい打ちした間伐試験を行い、通常の間伐法（下層間伐）も併用して、個体や林分レベルでの雄花生産への影響（抑制効果）を比較検討した。本サブ課題では、とくに多雄花木間伐が個体の成長に及ぼす影響や、成長と雄花生産量との関係について検討した。

イ 研究方法

1) 試験地

調査は、千葉県富津市のスギ人工林（鬼泪山国有林 94 林班、31～32 年生）で行った。固定プロット（各 40 x 40 m²）を 3 つ設置し、それぞれ多雄花木間伐区（以下、多雄花区）、通常間伐区（通常区）、対照区（無間伐）とした。多雄花区と通常区には、周辺林分の影響を除くためバッファゾーン（周囲 10 m 幅）を設けた。なお調査地と各試験区の詳細は、本報告書の別項（2-b、福島ほか 2013）を参照されたい。

2) 調査方法

間伐前（2008 年 11-12 月）、各試験区で毎木調査（胸高直径 DBH、樹冠半径等）を行い、立木位置図の作成や個体の雄花着生量の判定を行った。雄花着生量は、双眼鏡を用いて目視で樹冠部を観察し、A（陽樹冠全体に非常に高密度で着生）、B+（陽樹冠全体に高密度で着生）、B（陽樹冠全体に低密度で着生）、C（陽樹冠の一部の枝に着生）、D（着生なし）の 5 段階に区別した。また間伐前の林分の雄花生産量を評価するために、2009 年 2 月、各プロットに雄花トラップを設置して間伐直前までの雄花脱落量を測定した。

間伐は、2009 年 5 月下旬に実施した。多雄花区、通常区とも材積ベースの間伐率を同じ（約 26%）に揃えて、多雄花区は雄花の着生量が多い個体（A や B+）を優先的に、一方、通常区はサイズや雄花着生量とは関係なく成長や形質不良な個体を中心に選木して伐採した。その結果、本数間伐率は多雄花区（約 27%）より通常区（約 34%）の方がやや高くなった。

間伐後、1 年目（2009 年秋～冬）と 2 年目（2010 年秋～冬）には、各個体の胸高直径を再測し、それぞれ年間の肥大(直径)成長量を求めた。

各プロットでは、間伐前後の光環境の変化を評価するために、林床の定点（地上高約 1 m, 10 m ほどの格子点上で計 25 点）で全天写真を撮影して開空度（Openness）を計算した。さらに、各個体の樹冠上部周囲の光環境を、胸高位置で上向きに全天写真を撮影する方法から開空度を求めて評価した（斉藤、未発表）。この方法では、開空度は樹冠の周辺（4 方位の平均）のある範囲に限定した部分について解析ソフト（Canopon）を用いて計算し、間伐前後での変化量を計算した（図 3-1）。多雄花区、通常区の間伐木からはそれぞれ 10 本ずつ選定し、伐採時に幹円板を一定間隔（1～2 m）で採取して樹幹解析を行った。

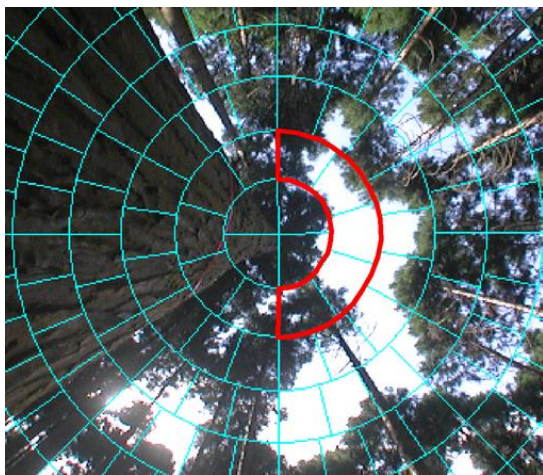


図3-1 全天写真を用いた樹冠周囲の開空度評価法。
カメラを幹の胸高(地上高1.3m)に置いて4方位の上部を撮影し、
赤枠内の範囲の開空度(4方位平均値)を計算求めた。

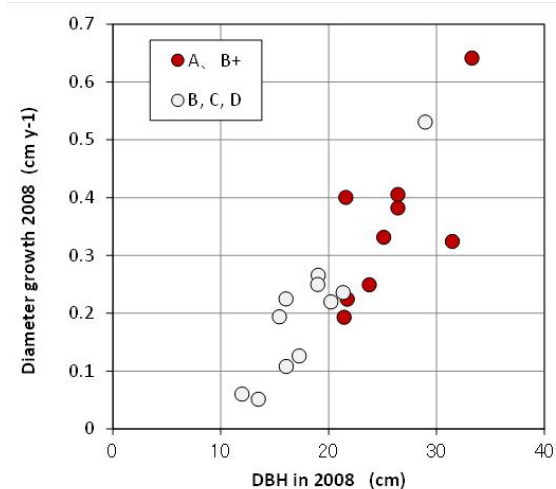


図3-2 樹幹解析木における胸高直径と直径成長量の関係。
胸高直径(DBH)と直径成長量は、間伐前年(2008年)の値。
赤丸データは、間伐前年に雄花着生量が多かった個体
(A, B+)個体を示す。

ウ、エ 結果と考察

1) 樹幹解析木 20 本の間伐前年(2008 年春) の DBH とその年の直径成長量との間には直線関係がみられ ($R^2 = 0.76$)、大きい個体で成長量も大きく、間伐前年の雄花着生量も多い (A、B+) 傾向がみられた (図 3-2)。このことは、単純には成長が良好な個体ほど雄花の生産も多くなることを示唆している。しかし、林分の全個体について同様な関係を間伐後 2 年分のデータを使って調べてみると、両間伐区ともやはりサイズの大きい個体ほど直径成長量は大きい傾向にあり (図 3-3 ; または本報告書、図 2-1-4 を参照)、今回の樹幹解析木での結果 (図 3-2) だけからは、ある年の個体の肥大成長と雄花生産の因果関係を議論することには無理があると思われる。

(2) 間伐後 2 年目までの各年について、個体のサイズ(DBH) と直径成長量の関係を両間伐区で比較すると、間伐後 1 年目(2009 年) は、通常区の方が多雄花区の個体よりも成長が若干良い傾向がみ

られた（図 3-3 左）。しかし、間伐後 2 年目（2010 年）については、こうしたプロット間の違いは不明瞭であった（図 3-3 右）。間伐直後にのみこのような処理区間で違いが生じた原因については、詳細は不明だが、大きい個体を除去した多雄花木間伐の方が、間伐後に残存木にもたらされる環境変化のばらつきが大きく、そのことが個体間での成長差を大きくしたことが考えられる。

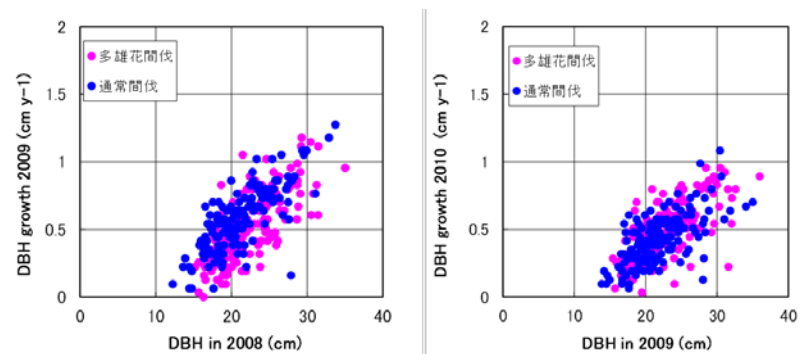


図3-3 両間伐区のスギ個体の胸高直径（DBH）と直径成長量の関係。
（左図）間伐直後（2009年）の関係
（右図）間伐1年後（2010年）の関係
赤丸は多雄花木間伐区の個体を、
青丸は通常間伐区の個体を示す。

3）間伐前後の個体ごとの雄花着生量の変化をみると、全体としては両間伐区とも間伐後 1 年目に着生量が減少している個体が多かった（図 3-4）。しかし、この傾向はおもに雄花生産の年変動を反映したもので、間伐前（2008 年）の雄花着生量が並作、翌年（2009 年）は凶作年であったためと言える（本報告書、2（2）、福島ほか 2013 参照）。ただし個々の着生量の変化に注目すると、多雄花木区では、前年の着生量が多かった個体（A、B+）をほぼ全部伐採したにも関わらず、間伐後には着生が非常に多くなった個体も見られ、通常区の残存木とは間伐への反応パターンがやや異なることが示唆された。

4）間伐後 1 年目の個体ごとの雄花着生量は、全天写真から推定した樹冠周囲の開空度が大きい個体ほど多くなる傾向が見られた（図 3-5）。とくに多雄花木区でその傾向は明瞭で、雄花の着生がなかった個体（D）の平均開空度は約 28%と、着生が非常に多い個体（A）平均約 50%の半分程度であった。またプロット内の全個体について、間伐前に対して間伐後 1 年目に雄花の着生量がどう変化したか（上昇、減少、同じ）に着目すると、多雄花木区では着生量が上昇した個体（例えば、間伐

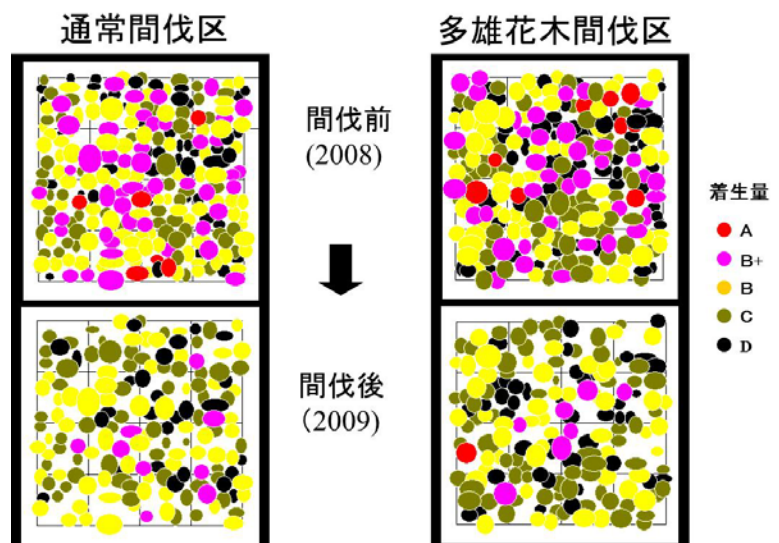


図3-4. 間伐前後における個体の雄花着生量の変化。

前Bから間伐後はB+やAに変化)は、減少した個体よりも樹冠周囲の開空度はかなり高いことがわかった。一方、通常区では、こうした着生量の変化と開空度との間には明瞭な関係は認められなかった。

以上のことから、多雄花木間伐と通常間伐(下層間伐)の2通りの間伐手法の違いは、残存木の環境変化(光)や成長にもたらす影響が違ふことによって、個体の雄花着生に関する反応も若干異なる可能性があることが示唆された。

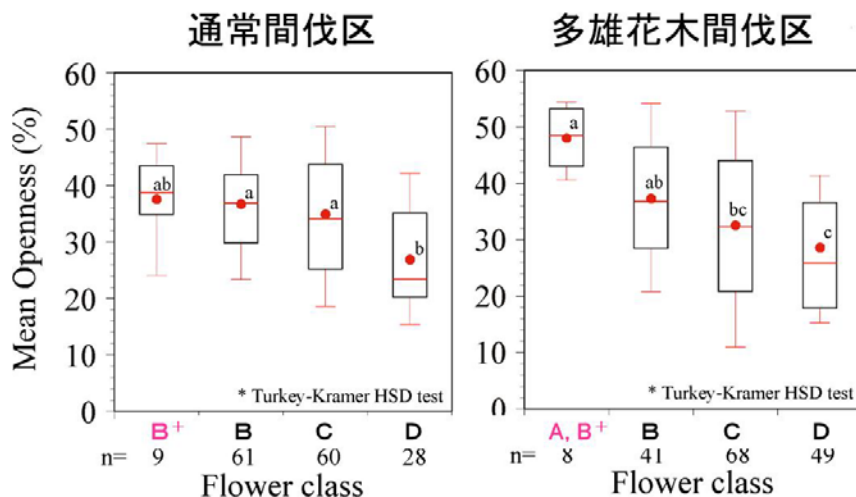


図3-5. 雄花着生量別にみた個体の平均樹冠周辺開空度。

開空度(Mean Openness)と雄花着生量別本数は、間伐後1年目の観察結果を示す。

オ 今後の課題

本サブ課題では、とくに間伐前後の個体レベルの成長と雄花生産に及ぼす影響を解析した。しかし、成長量が比較的容易に測定可能なのに対して、雄花に限らず一般に繁殖器官への同化産物の配分を定量的に測定することは困難である。今回用いた5段階で個体の雄花着生量を区分する方法も、ある程度は個体レベルの雄花生産量(トラップ法による林分の雄花脱落量から試算すると)を反映しているが(梶本ほか 2010; 本報告書、図 2-1-6 参照)、成長と雄花生産の関係をさらに詳細に解析するためには、今後は雄花の着生量の定量化(指標)手法を改良してデータを収集する必要がある。具体的には、例えば個体ごとにトラップを設置して雄花生産(脱落)量を直接測定する方法(Miyaura and Hozumi 1985)などの適用が考えられる。また、個体レベルの光環境を評価する手法についても、今回用いた全天写真法の改良や、それ以外の手法を用いた検討が必要である。

カ 要約

スギ人工林で二通りの間伐試験(多雄花木、通常)を行い、間伐前後の成長量と雄花着生量の関係について個体レベルの反応に注目して検討した。その結果、成長が良い個体ほど、その年の雄花着

生量も多い傾向がみられた。しかし、調査林分では一般にサイズが大きい個体で雄花着生量も多いため、単年ごとに雄花生産と成長がどのような関係にあるのかは不明のまま残された。一方、間伐後（1年目）の雄花着生量は、全天写真法で評価した樹冠周辺の光環境の変化と関係があり、開空度が高い個体、つまり樹冠上部が明るい個体ほど着生量が多い傾向があり、とくに多雄花木間伐区でこの傾向は顕著であった。以上のことから、大きい個体を優先的に間伐する多雄花木間伐の場合、小径木を多く伐採する通常の下層間伐に比べて残存木にもたらされる光環境の変化が全体により大きくなり、その結果、残存木の成長や雄花の着生反応においても個体差をより大きくする可能性が示唆された。

キ 引用文献

- 福島成樹・梶本卓也・金指達郎・齊藤哲・川崎達郎・千葉幸弘・五十嵐哲也・清野嘉之（2013）雄花量に着目した間伐の効果の持続性の検証（1）千葉県の実験地．森林総合研究所交付金プロジェクト「雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証」研究成果集：14-20
- 梶本卓也・福島成樹・金指達郎・齊藤哲・千葉幸弘・清野嘉之・五十嵐哲也（2010）スギ人工林における雄花多産木間伐の試みー成長と花粉生産への影響ー．第121回森林学会講演集:H23
- 清野嘉之（2002）スギ花粉症と森林管理．山林 1420:54-61
- 清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田清・野田巖・近藤洋史（2003）強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる．日林誌 85(3):237-240
- Miyaura T, Hozumi K (1985) Measurement of litterfall in a hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et L.) plantation by clothing-trap method. Journal of Japanese Forestry 67:271-277
- 篠原健司（2010）スギ雄花形成の機構解明と抑制技術．日林誌 92:304-309

（梶本卓也、福島成樹、金指達郎、齊藤哲、川崎達郎、千葉幸弘、五十嵐哲也、清野嘉之）

4 雄花量に着目した間伐のガイダンスの作成

ア 研究目的

環境条件が様な林縁木中に雄花量の多い個体（多雄花木／たゆうかぼく）が混在するスギ林では、多雄花木の間伐に雄花生産量削減の効果があると期待されることから、効果を期待できる林分を簡易に見分ける手法を開発した。ただし、本研究の実施期間は2年半と短いことから、暫定的な結論を出すにとどめた。

イ 研究方法

2010 年春に多雄花木間伐を行った京都府と千葉県の実験地について、雄花トラップや雄花着生の目視観測の結果にもとづいて、多雄花木間伐の雄花生産量削減の効果を評価した。また、ある年の林縁に見られた多雄花木が、別の年においても多雄花木なら、多雄花木間伐における多雄花木の誤認は少ない。逆に、雄花着生量の個体間の序列が年によって安定しないのなら、多雄花木間伐の選木のさいに、多雄花木ではない木を多雄花木と誤認するリスクが増えるであろう。このため、林縁木の観察データにもとづき、どのような条件のときに多雄花木の選出の誤りが少ないか、分析した。ただし、今回、京都府と千葉県に設けた試験地では観察期間が短く、利用できるデータが十分でないので、関西支所（京都市伏見区）構内のスギクローン集植林（1997 年に 32 年生）で調べた、雄花豊凶の 6 年間の経年的観察データ（表 4-1、河室ら（2003）に加筆）を利用した。これにより、現時点の手法の課題やどのようなときに手法を適用できるのか分析した。

ウ、エ 結果と考察

1) 多雄花木間伐の雄花生産量抑制効果

京都府の実験地は、通常間伐や無間伐林よりも雄花生産量が少なかった（五十嵐ら 2013）。また、千葉県の林では、通常間伐と違いがなかったが、間伐前の雄花生産量は多雄花木間伐区の方が大きかったことを考慮すると、多雄花木間伐により、通常間伐よりも雄花生産量が減少した可能性がある（福島ら 2013）。京都府の実験地は複数のクローンを含む苗、千葉県の林は実生苗により造成された（津村ら 2013）という違いはあるが、いずれも林縁に多雄花木があること、林縁よりは雄花着生個体数の割合は低い、林内木にも多雄花木が出現することを、間伐前や、林縁と無間伐林については間伐後も確認している（五十嵐ら 2013、福島ら 2013）。こうした林分に多雄花木間伐を行うことにより、花粉生産量を永続的に削減できる可能性を示唆する結果を得た。ただし、ある年の雄花着生量には、前年の気象条件だけでなく、前年の雄花着生履歴も関係する（清野ら 2006）。確度の高い成果を得るには 5 年以上連続した雄花着生状況の観測期間が必要である。

2) 多雄花木間伐の効果を期待できる林分を簡易に見分ける手法の開発

京都市伏見区のクローン集植林（表 4-1）では 20 クローン（1 クローンは観察期間中に枯死）のうち雄花着生するクローンの割合が年により変わり、30-79%の範囲内にあった。これを雄花着生量

の豊凶と見なすと、あるクローン（ネコヤマスギ）は6年ともランクAであった。2クローン（アシウスギ、エンドウスギNo.1）は1年だけランクBで、あとの5年はAであった。13クローンは、Aが最大2年で他はB以下で年による違いが大きかった。また、3クローン（ミネヤマ、シルシスギ、ミョウケン）は6年間雄花を着生しなかった。よく雄花着生した3クローン（ネコヤマスギ、アシウスギ、エンドウスギNo.1）を多雄花木と仮定し、それらを単年度観察の多雄花木（その年の雄花着生の最高ランクの木）によりの確に把握できるか調べた。

その結果、多雄花木の的中率（多雄花木と判別した個体のうちの、多雄花木と定義した個体の個体数割合）とはずれ率（多雄花木と判別した個体のうちの、多雄花木と定義した個体以外の個体数割合）は、それぞれ雄花着生個体数割合と正の相関関係があり（図4-1）、凶作年では的中率が低下した（多雄花木の見落としが増える）。また、豊作年ははずれ率が高まった（多雄花木でない木を多雄花木と誤認する）。的中率が高く、はずれ率は低いことが好ましいので「的中率－はずれ率」の値を計算したところ、値が最大になるのは並作年のときであった。多雄花木間伐の効果を期待できるスギ林かどうかの判定は、並作年に行うのが良いと考えられる。今後、京都府や千葉県の試験林で林縁木の雄花着生の観察を継続することにより、試験林でも同様の計算が可能になる。

表4-1 京都市伏見区のクローン集植林における雄花着生の年次変化（河室ら（2003）に加筆）

スギクローン名	年次別の雄花着生状況のランク*					
	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03
ネコヤマスギ	A	A	A	A	A	A
アシウスギ	B	A	A	A	A	A
エンドウスギNo.1	A	B	A	A	A	A
桃山一号	C	B	B	A	A	B
リョウワ耐せき1号	C	B	B	A	B	A
ボカリョウワNo.2	C	C	B	C	C	C
リョウワNo.3	D	C	C	C	C	B
クニヤマスギ	D	C	C	B	C	C
オキノヤマ普通苗	D	D	C	B	C	C
ホクセイスギ	D	D	C	C	C	B
ホンジロ	D	D	D	B	C	C
イタスギ	D	D	D	C	C	C
松下一号	D	D	D	C	C	C
オキノヤマ	D	D	D	C	D	C
カナメダニ	D	D	D	D	D	C
エンドウ	D	D	D	C	D	D
ミネヤマ	D	D	D	D	D	D
シルシスギ	D	D	D	D	D	D
ミョウケン	D	D	D	D	D	D
クロコスギ	D	D	D	枯死		
雄花着生クローン数比	0.30	0.40	0.50	0.79	0.68	0.79
7月平均気温(℃)**	26.4	27.4	26.4	28.3	28.8	28.6

* A：雄花が日当たりの良い樹冠の全ての一次枝に密に着生、B：同様であるが着生は密でない、C：日当たりの良い樹冠の一部の一次枝に着生、D：雄花が認められない。
** 京都気象台（気象庁）

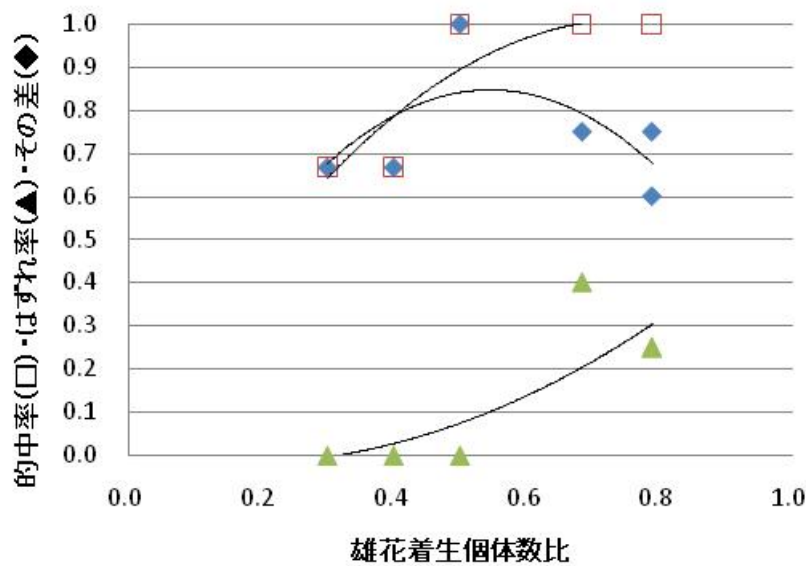


図 4-1 真の多雄花木（仮）の的中率、はずれ率、その差「的中率－はずれ率」

（３）多雄花木間伐の効果を期待できるスギ林の見分け方（暫定版）、および森林管理を通してスギ花粉生産量の削減に取り組むためのガイドライン（暫定改訂版）

複数年に亘る観察を行ってから多雄花木を選び、間伐を行うことは経済的にあり得ない。多雄花木間伐は、間伐計画がある林について、成長への影響（梶本ら 2013）も考慮して、多雄花木間伐の条件を満たす場合に実施する選択肢として活用をはかるのが現実的である。多雄花木間伐の効果を期待できるスギ林の見分け方（暫定版）を作成した（表 4-2）：

- ・林縁に多雄花木がないか殆どない（A1）のが、雄花が並作以上の年である場合（B1）は、そのスギは遺伝や環境などの理由により雄花を着生しにくい個体である可能性が高い。そうした林では、雄花への影響を樹にせずに任意の間伐を実施して良い。
- ・林縁に多雄花木がないか殆どない（A1）のが、雄花凶作年の場合（B2）は、雄花を着け易いスギでも雄花を着けられなかった可能性があり、任意の間伐を実施して良い。
- ・林縁木の一部が多雄花木である場合（B1）は、多雄花木間伐を実施するのが良い（C1）。
- ・林縁木の殆どが多雄花木である場合は、どのスギも雄花を着け易い個体である可能性が高い（C2）。任意の間伐を実施して良いが、間伐により雄花生産量を増やす恐れがある。一方、こうした林は、皆伐したときの花粉量削減の効果は大きいことから、皆伐樹種転換するのが望ましい。

また、森林管理を通してスギ花粉生産量の削減に取り組むためのガイドライン（暫定改訂版）を、既存の花粉症対策のための森林管理指針（清野 2010）に本課題成果を加筆して作成した（付録）。

表 4-2 多雄花木間伐の効果を期待できるスギ林の見分け方（暫定版）

	多雄花木間伐の効果	推奨される間伐
A1 林縁に多雄花木がないか殆どない		
B1 雄花の豊作年か並作年である	期待できない	任意
B2 雄花の凶作年である	判定不能	任意
A2 林縁に多雄花木がある		
C1 林縁木の一部が多雄花木	期待できる	多雄花木間伐
C2 林縁木の殆どが多雄花木	期待できない	任意*

*こうしたスギ林は皆伐樹種転換するのが望ましい。

オ 今後の問題点

今のところ、ただちに普及に移しうる成果はないが、多雄花木間伐の有効性を示唆するデータが得られている。5年以上観測を継続して、成果を確度の高いものにする必要がある。

カ 要約

環境条件が一樣な林縁木中に雄花量の多い個体（多雄花木／たゆうかぼく）が混在するスギ林では、多雄花木の間伐に雄花生産量削減の効果があると期待されることから、効果を期待できる林分を簡易に見分ける手法を開発した。ただし、本研究の実施期間は2年半と短いことから、暫定的な結論を出すにとどめた。多雄花木の的中率（多雄花木と判別した個体のうちの、多雄花木と定義した個体の個体数割合）とはずれ率（多雄花木と判別した個体のうちの、多雄花木と定義した個体以外の個体数割合）は、それぞれ雄花着生個体数割合と正の相関関係があった。凶作年は的中率が低下し（多雄花木をよく見落とした）、また、豊作年ははずれ率が高まった（多雄花木でない木を多雄花木とよく誤認した）。「的中率－はずれ率」の値が最大になるのは並作年で、多雄花木間伐の効果を期待できる林分かどうかの判定は、並作年に行うのが良いと考えられる。

キ 引用文献

五十嵐哲也、梶本卓也、壁谷大介、金指達郎、川崎達郎、清野嘉之、齊藤哲、千葉幸弘、韓慶民、福島成樹、右田千春（2013）雄花量に着目した間伐の効果の持続性の検証（2）京都府の試験地．森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集「雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証」研究成果集：21-27

河室公康・伊東宏樹・清野嘉之（2003）ラジコンヘリ低空空撮によるスギ林の雄花着生状況の判別．森林航測 199：16-20

梶本卓也・福島成樹・金指達郎・齊藤哲・川崎達郎・千葉幸弘・五十嵐哲也・清野嘉之（2013）雄花量に着目した間伐が成長に及ぼす影響の解明．森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集「雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証」研究成果集：28-32

清野嘉之・長尾精文・佐藤保・奥田史郎・田内裕之・伊藤武治・五十嵐哲也・九島宏道（2006）着花したスギの重量成長と翌年の着花，日林関東支論 57：155-156

清野嘉之（2010）スギ花粉発生源対策のための森林管理指針．日本森林学会誌 6:310-315

津村義彦、伊原徳子、森口喜成（2012）多雄花木の遺伝的評価と雄花量に着目した間伐の効果のメカニズム解明．森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集「雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証」研究成果集：4-13

福島成樹・梶本卓也・金指達郎・齊藤哲・川崎達郎・千葉幸弘・五十嵐哲也・清野嘉之（2013）雄花量に着目した間伐の効果の持続性の検証（1）千葉県の実験地．森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集「雄花量に着目したスギ林の間伐効果の科学的検証」研究成果集：14-20

付録 森林管理を通してスギ花粉生産量の削減に取り組むためのガイドライン（清野（2010）に下線部を加筆）

このガイドラインは「こうしなければならない」といったものではありません。しかし、専門家の見解が述べられていますので、スギ林の経営について考えをまとめたり、方針を決めたりするときに、参考にしてください。

1. 目標はスギ林面積の削減と思いたまえないようにしましょう。花粉生産量の多いスギを減らすように心がけましょう。
2. 間伐を行うときは、できるだけ花粉生産量を増やさないやり方を選びましょう。【雄花量の多い個体を優先的に間伐することにより、花粉生産量を減らせる場合があります。】枝打ちを行うときには、それによって花粉生産量を減らせるか考えてみましょう。
3. 標準伐期（概ね 40～50 年）を過ぎたスギ林については、伐期の短縮やスギ花粉を生産しない森林への転換を心がけましょう。
4. 皆伐するスギ林を選べるときは、花粉生産量の多いスギ林を優先しましょう。再造林では、花粉生産量の多い系統のスギ苗はできるだけ使わないようにしましょう。

（清野嘉之、福島成樹、五十嵐哲也、梶本卓也、津村義彦、篠原健司）