

【原著論文】

雄性不稔遺伝子を保有する富山県選抜スギさし木品種「座主坊」の特徴

斎藤 真己^{*1}・相浦 英春¹・嘉戸 昭夫¹・松浦 崇遠¹

Characterization of the cutting cultivar of *Cryptomeria japonica* D. Don, Zasshunbo, with a heterozygous male-sterility gene in a heterozygous state, selected from Toyama Prefecture, Japan

Maki Saito^{*1}, Hideharu Aiura¹, Akio Kato¹, Takato Matsuura¹

要旨：冠雪害抵抗性を保有するスギ品種の中から雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (*Aa*) で持つ品種 (クローン) を探索するため、多雪地域から選抜された富山県選抜スギ品種10クローンと無花粉 (雄性不稔) スギ (*aa*) を交配し、F₁家系の花粉稔性について調査した。その結果、「座主坊」とのF₁家系で50個体中27個体が雄性不稔 (*aa*) となり、「座主坊」は雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (*Aa*) で保有していることが明らかになった。「座主坊」の特徴を明らかにするため、検定林で富山県と石川県のさし木品種5クローンとの比較調査を行った結果、「座主坊」は冠雪害による被害率が低く、変形のし難さを示す樹幹ヤング率が最も高かった。さらに成長も最も早かったことなどから、「座主坊」は林業上、有用なクローンであると判断された。これらのことから、冠雪害抵抗性や成長に優れた無花粉スギ品種を開発するうえで、「座主坊」は有望な育種材料であると考えられた。

キーワード：花粉症対策品種、冠雪害抵抗性、スギ、雄性不稔遺伝子

Abstract: To find cutting cultivars of *Cryptomeria japonica*, which are heterozygous for a male-sterility gene (*Aa*), we crossed a homozygous male-sterile tree (*aa*) with 10 clones selected from Toyama Prefecture. These clones are resistant to snow damage. Male sterility in this case is controlled by a recessive allele at a single locus and is expressed only in homozygotes. The crossing of a particular cutting cultivar clone, “Zasshunbo”, with a male sterile mother tree, produced 27 F₁ male-sterile individuals and 23 F₁ fertile individuals. The segregation ratio fitted the expected value of 1:1 according to the chi-square test. These results indicate that “Zasshunbo” was heterozygous for the male-sterility gene. The physical characteristics of “Zasshunbo”, including snow damage, the modulus of elasticity of a tree trunk, tree height, and diameter (DBH) were compared to 5 native cutting cultivars. The growth rate and the modulus of elasticity for “Zasshunbo” were highest among cultivars and its snow damage was lower than or equal to that of the other cultivars. Our results suggest that “Zasshunbo” is a promising breeder for the creation of superior male-sterile *C. japonica* trees.

Keywords: *Cryptomeria japonica* D. Don, male-sterility gene, pollinosis preventive cultivar, snow damage resistance

はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は、成長が早く、木材としての利用価値も高いことなどから、日本の林業において重要な造林樹種である。これまでスギの

育種は、成長や材質、気象害等に対する抵抗性の向上を中心に行われてきたが (田島 2001)、近年、スギ花粉症が社会問題になっていることから、できるだけ花粉を放出しないスギへの要望が強くなった (斎藤 2010)。このような中で、平ら (1993) は、無花粉にな

* E-mail: saito@fes.pref.toyama.jp

¹ 富山県農林水産総合技術センター森林研究所 Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center, Forestry Research Institute, 3 Yoshimine, Tateyama-machi, Nakaniikawa-gun, Toyama 930-1362, Japan

2013年8月29日受付、2013年11月20日受理

るスギの雄性不稔個体を発見し、この性質は一对の核内劣性遺伝子によって支配されていることを明らかにした (Taira et al. 1999)。雄性不稔性の遺伝子を「*a*」、可稔性の遺伝子を「*A*」とすると、「*aa*」を保有する個体は雄性不稔となり、「*AA*」もしくは「*Aa*」を保有する個体は可稔となる。その後、Saito and Taira (2005) は、富山県の精英樹の中から雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (*Aa*) で保有したクローン「小原13号」を選抜し、さらに、石川県の「珠洲2号」、神奈川県「中4号」、静岡県「大井7号」も雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (*Aa*) で保有する精英樹であることを明らかにした (斎藤・平 2005a ; 平 2006)。精英樹は成長や樹形、材質などで優れた特徴を持っていることから、現在、これらの精英樹を活用して富山県や神奈川県などでは実用的な無花粉スギ品種の開発や普及が進められている (斎藤 2013 ; 斎藤・寺西 2014)。今後、東北地方のような多雪地域でも無花粉スギ品種の普及をはかるためには、成長や材質に加えて冠雪害抵抗性等にも優れた特徴を持つスギ品種 (クローン) の中から雄性不稔遺伝子を保有するクローンを選抜する必要がある。冠雪害は樹冠に堆積した雪の加重に林木が耐えることができなくなって幹折れや根返りなどの致命的な被害を受けることで (嘉戸 2009)、冠雪害抵抗性の育種は、1970年から始まった第二次育種基本計画の中の気象害抵抗性育種事業の一環として進められた。この事業における冠雪害抵抗性候補木の選抜は、80%以上の被害林分に残存している健全木を対象に行われたが (那須・向田 1998)、富山県では1971年から1975年にかけて、この選抜基準にとらわれることなく、多雪地域にある人工林の中から成長と樹形 (冠雪害を受けた形跡がない) に優れたスギを独自に選抜し、「富山県選抜スギ品種」とした。

今回、冠雪害抵抗性や成長に優れた個体として選抜された「富山県選抜スギ品種」の中から雄性不稔遺伝子を保有するクローンを発見できたため、その特徴も含めて報告する。

材料と方法

雄性不稔遺伝子を保有するスギ品種の探索

富山県選抜スギ品種の中から雄性不稔遺伝子を保有するクローンを探索するため、2007年と2008年の7月に富山県森林研究所の採穂園に植栽されている富山県選抜スギ品種10クローン (表-1) にジベレリン水

表-1 雄性不稔スギと交配したF₁集団の花粉稔性

花粉親のクローン名	調査した個体数	花粉稔性	
		可稔	雄性不稔
座主坊	50	23	27*
片貝13号	58	58	0
黒部2号	53	53	0
黒部20号	63	63	0
利賀1号	61	61	0
利賀2号	72	72	0
山崎110号	80	80	0
八尾3号	51	51	0
吉沢1号	59	59	0
吉沢4号	63	63	0

* $\chi^2=0.32, P=0.57$ (期待分離比 1:1)。

溶液 (100 ppm) を散布して着花を誘導した。翌年の3月に花粉を採取して、平ら (1993) が発見した無花粉 (雄性不稔) スギと交配した。このスギは雄性不稔遺伝子 *ms-1* を保有しており (斎藤 2009)、一核期のステージになると全ての花粉が崩壊する特徴を持つ (Saito et al. 1998)。各F₁家系につき50~80個体を育苗し、2年生の時に100 ppmのジベレリン水溶液を散布して着花させた。翌年の3月に充実した雄花をスライドガラス上で砕いて顕微鏡で観察し、各個体の花粉の有無について調査した (斎藤・平 2005b)。

特性調査

雄性不稔遺伝子を保有するスギ品種の特性を評価するため、1987年秋に造成した富山県氷見市小滝の検定林 (小滝検定林 ; 標高430 mの緩斜面) の調査データを活用した (表-2)。ここでは、比較対象として富山県の在来品種4クローン (ボカスギ、ミオスギ、マスマスギ、リョウワスギ) と石川県の在来品種1クローン (カワイダニスギ) が図-1に示したように品種別に

表-2 小滝検定林の概況

品種名	植栽本数	植栽密度 (本/ha)	間伐後の立木密度 (本/ha)
座主坊	130	4,042	2,643
ボカ	186	4,062	2,250
ミオ	177	4,251	2,498
マスマ	134	3,692	2,425
リョウワ	135	3,261	2,271
カワイダニ	240	2,753	1,984

土壌や気象条件等は、相浦(2004)に記載。



図-1 氷見市小滝検定林の位置図。等高線の間隔は1m。

植栽されており、「座主坊」、「ボカ」、「ミオ」の3品種は1 haあたり4,000本以上とやや高密度で植栽された。15年生(2002年)の時に本数間伐率で30%程度の全層間伐を行い、「カワイダニ」は1,984本/haと低くなったが、他の5品種は2,250~2,643本/haと概ね均一の植栽密度になった(相浦2004)。また、枝打ちは11年生(1998年)の時にいった。

冠雪害による被害率調査

2006年と2011年に検定林のある氷見市の最大積雪深が平年の2倍以上となる大雪となり(気象庁観測データ)、冠雪害が発生したことから、2006年と2011年の春に各クローンの冠雪害による幹折れ率について調査した。本調査におけるクローン間の多重比較(Tukey法)は、「エクセル統計2010」で行った。

生育調査

各クローンの成長量を比較するため、植栽から19年次までは毎年、春に全個体の樹高と胸高直径(測定可能な大きさになってから)について調査を行い、20年次と25年次は各クローンの成長の早い個体から遅い個体まで均等になるように選んだ20個体の樹高と胸高直径について調査した。本調査におけるクローン間の多重比較(Tukey法)は、「エクセル統計2010」で行った。

樹幹ヤング率の調査

各クローンの材質特性を比較するため、20年時に

樹高と胸高直径を測定した各クローン20個体について、ぶら下がり法(小泉・上田1986)によって樹幹ヤング率を計測した。この方法は、加力梃子に人がぶら下がることにより林木に曲げモーメントを負荷させて樹幹ヤング率を測定するもので、本調査では地上1.2mの樹幹ヤング率を計測した。本調査におけるクローン間の多重比較(Tukey法)は、「エクセル統計2010」で行った。

形状比の比較調査

冠雪害は形状比(樹高/胸高直径)が高いほど発生しやすいことから(嘉戸2001)、2006年の冠雪害が発生した前年(2005年)と2011年の冠雪害が発生した前年(2010年)は生育調査をしていなかったため、2008年の樹高と胸高直径のデータから形状比を算出し、クローン間で比較した。本調査におけるクローン間の多重比較(Tukey法)は、「エクセル統計2010」で行った。

結果

雄性不稔遺伝子を保有するスギ品種

富山県選抜品種10クローンと雄性不稔スギを交配して得られたF₁家系の花粉稔生について調査した結果、「座主坊」とのF₁家系で50個体中27個体が雄花の中に花粉が全く見られず、雄性不稔個体だった(図-2)。この結果は、 χ^2 検定で1:1の分離比に適合したことから、「座主坊」は雄性不稔遺伝子(*ms-1*)をヘテロ型(*Aa*)で保有していることが明らかになった(表-1)。

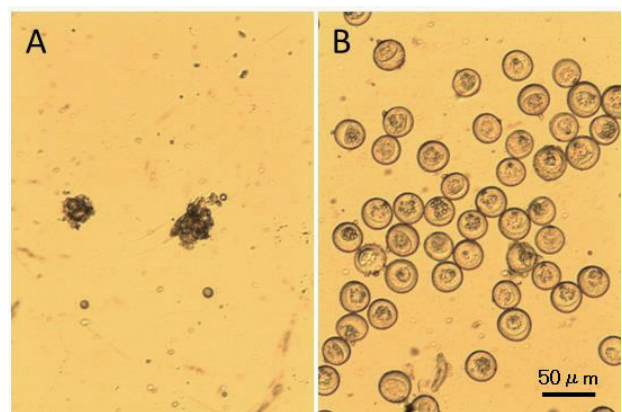


図-2 雄性不稔スギ×「座主坊」の交配家系で見られた雄性不稔個体(A)と可稔個体(B)の雄花内容物の比較

「座主坊」の特性

冠雪害による被害率

冠雪害による幹折れ率は、ボカスギが最も高く35%であったのに対して、「座主坊」はマスマスギやリョウワと並んで5%程度と低い値であり、大きな被害は受けていなかった(図-3)。

成長量

本検定林での成長量の推移を5年ごとにとりまとめた結果を図-4に示した。5年次には樹高、胸高直径ともに「座主坊」が最も高い値となり、2番目に成長の早かったボカスギと比較しても1%水準で有意差が認められた(表-3)。「座主坊」は植栽密度が高かったにもかかわらず、5年次以降も最も早く成長し、ボカスギと比較すると樹高成長は25年次まで1%水準で有意差が認められ、胸高直径は15年次まで有意差が認められた(表-3)。

樹幹ヤング率

6クローンで樹幹ヤング率の比較を行った結果、「座主坊」が最も高く平均で約6.61 GPaとなり、二番目に高かったミオスギ(5.09 GPa)と比較しても1%水準で有意差が認められた。最も低かったボカスギ(3.08 GPa)と比較すると2倍以上の差があった(図-5)。

形状比

2005年の形状比についてクローン間で比較した結果、「座主坊」とミオスギが他の品種よりも高く、

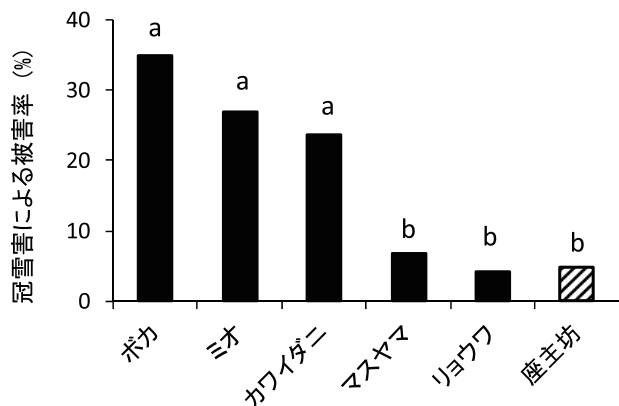


図-3 「座主坊」と対照品種5クローンの冠雪害による被害率の比較。2006年と2011年に発生した冠雪害をあわせた頻度。異なるアルファベット間には有意差あり ($P < 0.05$, Tukey-KramerのHSD検定)。

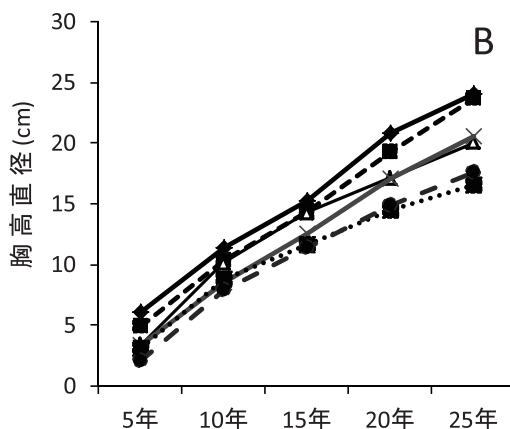
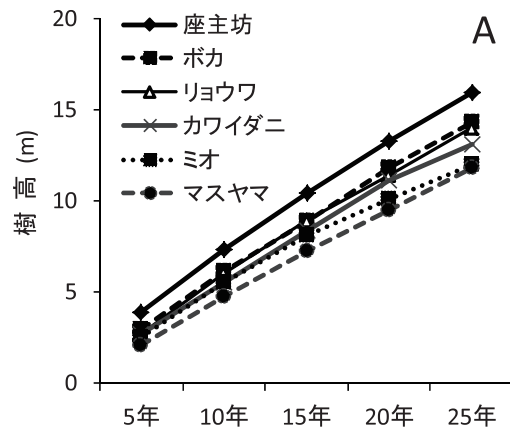


図-4 「座主坊」と対照品種5クローンの樹高 (A) と胸高直径 (B) の推移

表-3 「座主坊」と「ボカスギ」の樹高と胸高直径における分散分析のF値の推移

	5年	10年	15年	20年	25年
樹高	72.4**	57.4**	43.0**	6.5**	5.2**
胸高直径	16.9**	6.1**	2.8*	1.2 ^{n.s}	0.06 ^{n.s}

** : 1%水準で有意、* : 5%水準で有意、n.s 有意差なし。

ボカスギが最も低かった(図-6)。2008年の形状比は、ミオスギがやや高かったものの「座主坊」、リョウワスギ、カワイダニスギ、マスマスギの間で有意な差は認められなかった(図-6)。

考 察

冠雪害抵抗性に優れた無花粉スギの開発を目的に富山県選抜スギ品種の中から雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (Aa) で保有しているクローンを探した結果、

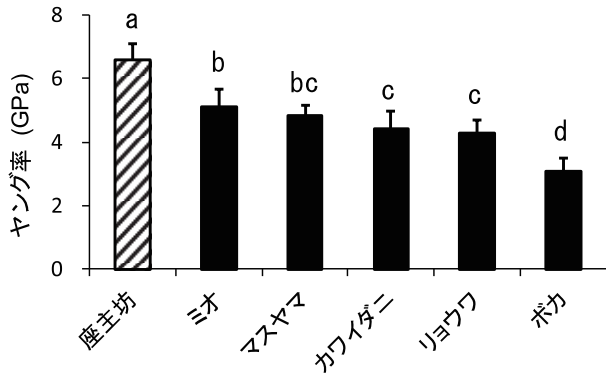


図-5 「座主坊」と対照品種5クローンの樹幹ヤング率の比較。異なるアルファベット間には有意差あり ($P < 0.05$, Tukey-KramerのHSD検定)。

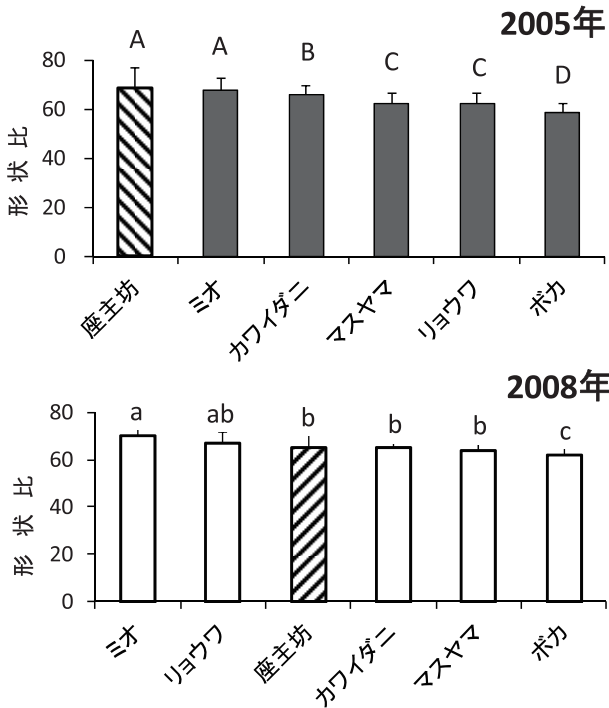


図-6 冠雪害が発生する前の「座主坊」と対照品種5クローンの形状比の比較。異なるアルファベット間には有意差あり ($P < 0.05$, Tukey-KramerのHSD検定)。

「座主坊」がその遺伝子を保有していることが明らかになった。「座主坊」は富山県中新川郡立山町座主坊にある県有林の中で周囲の個体より明らかに成長が早く、通直性にも優れていて冠雪害を受けた形跡がなかったため選抜されたクローンである。本研究で用いた検定林の調査結果でも、「座主坊」の冠雪害による被害率は他のクローンより低い値となった。スギの冠雪害による被害率は品種や系統によって異なること

が数多く報告されており(杉山・佐伯 1963; 山本ら 1982; 宮下ら 2006)、富山県に植栽されているスギ品種ではボカスギがリョウウスギやマスヤマスギなどよりも冠雪害を受けやすいことが複数の検定林で明らかにされている(嘉戸ら 1986; 嘉戸 2001)。本研究でもボカスギの被害率が35%程度だったのに対して、マスヤマスギやリョウウスギのそれは10%以下だったことから、他の検定林と同様の結果となった。「座主坊」の被害率は、マスヤマスギやリョウウスギと比較して有意な差は認められなかったことから、これらの品種と同程度の冠雪害に対する抵抗性を保有していると期待された。

冠雪害は形状比が低く、樹幹ヤング率が高いほど、その被害を受けにくくなる傾向がある(嘉戸 2001)。そこで冠雪害が発生する前の2005年と2008年の形状比について比較した結果、両年ともにクローン間で統計的には有意な差が認められたが、「座主坊」の形状比が低いといった傾向は認められなかった。また、いずれのクローンの形状比も冠雪害の被害が起きにくいとされる70以下であり(石井ら 1983; 國崎 2005)、冠雪害の被害率と形状比の間で関連性は認められなかった。

形状比は間伐等による立木密度など環境の影響を強く受けるが、樹幹ヤング率は遺伝率が高いことが報告されている(藤澤ら 2000)。「座主坊」の樹幹ヤング率は、これまで高いとされてきたミオスギやマスヤマスギの樹幹ヤング率(中谷 2000)を上回った。同程度の形状比であれば樹幹ヤング率が冠雪害抵抗性の指標になりうることから、林分の形状比を70以下になるような密度管理をすれば、「座主坊」の樹幹ヤング率や冠雪害抵抗性は次世代でも高い育種効果が期待できる。また、本検定林における成長量も「座主坊」は最も早く成長し、ボカスギを上回った。ボカスギは30年程度で収穫する短伐期施業が可能に成長が早い品種であり(平 1979)、森林総合研究所・林木育種センター関西育種場が作成したスギ・ヒノキ精英樹特性表でも20年次の調査で、樹高成長は5段階評価で「4」(優れる)、胸高直径は「5」(非常に優れる)と評価されている(ボカスギの精英樹名は石動1号および3号)。このことから、ボカスギ以上に成長する「座主坊」は極めて成長が早いと言える。本検定林での調査は通常の検定林のようにブロックの設定が行われていないため、その効果や環境との交互作用等について検定することができなかったが、樹高や胸高直径の成長については既往の成果(平 1980; 八川・沢田

1988 ; 松浦 1998) と同様の傾向を示し、他の検定林と比較してクローン間の順位が大きく変動することはなかったため、「座主坊」は他の5クローンよりも成長が早いと考えられた。

以上のことから、「座主坊」は雄性不稔遺伝子をヘテロ型 (*Aa*) で保有し、さらに樹幹ヤング率が高く成長も早いため、冠雪害抵抗性に優れた無花粉スギの品種改良を進めるうえで極めて有望な育種材料といえる。そこで、冠雪害抵抗性に優れた無花粉スギ品種を開発するため、「座主坊」(*Aa*) と「珠洲2号」(*Aa*) を交配し、2013年にこのF1集団の中から雄性不稔性を持つ140個体 (*aa*) を選抜した。前述したように樹幹ヤング率と冠雪害抵抗性は密接に関係しており、その遺伝率も高いことから、この交配で作出された無花粉スギは成長が早いだけでなく冠雪害抵抗性も保有した実生集団になると期待される。現在、この交配家系140個体と富山県が開発した優良無花粉スギ「立山 森の輝き」(斎藤 2013) 145個体を最大積雪深1.0～1.5 mの場所に植栽して検定林を造成したことから、今後はこの集団の中から冠雪害抵抗性や成長などに優れた無花粉スギを選抜し、新品種の開発に繋げていく予定である。また、2012年と2013年には、富山県内11箇所約9,000本の「立山 森の輝き」(*aa*) が植栽されたことから、この集団の中から成長や形質に優れた上位20%程度の優良個体を選抜し、「座主坊」(*Aa*) と交配することによって、「立山 森の輝き」を上回るような総合的に優れた無花粉スギ品種になることが期待される。

以上のことから、多様な無花粉スギ品種の開発を進めるためには、雄性不稔遺伝子を保有し、さらに林業上、有用な形質を持ったクローンの探索は重要であり、今後も継続して行う必要がある。

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、元新潟大学大学院自然科学研究科の平 英彰 博士には貴重なご意見やご指導を頂きました。また、現地調査を行う際には、富山県森林研究所の皆様にも多大なご協力を頂きました。ここに記して、深く御礼を申し上げます。

引用文献

- 相浦英春 (2004) スギさし木6品種の幼齢期における生育特性. 富山県林業技術センター研究報告 17: 40-49
- 藤澤義武・田淵和夫・中田了五・谷口 亨 (2000) 18年生のスギ精英樹交配家系における丸太樹幹ヤング率の組み合わせ能力の推定. 林木育種センター研究報告 17: 95-108
- 八川 久・沢田隆司 (1988) 利賀検定林10年間の成長について. 富山県林業技術センター研究報告 1: 20-25
- 石井 弘・片桐成夫・三宅 登 (1983) 冠雪害を受けたスギ人工林の直径分布, 形状比分布と被害の関係. 日本林学会誌 65: 366-371
- 嘉戸昭夫・平 英彰・中谷 浩 (1986) スギ3品種の冠雪害の差異と立木強度. 富山県林業技術センター研究報告 11: 7-15
- 嘉戸昭夫 (2001) スギ人工林における冠雪害抵抗性の推定とその応用に関する研究. 富山県林業技術センター研究報告 14: 1-77
- 嘉戸昭夫 (2009) ボカスギとタテヤマスギの若齢林における冠雪害に対する立木密度の影響. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告 1: 32-43
- 小泉章夫・上田恒司 (1986) 立木の曲げ試験による材質評価 (第1報). 木材学会誌 32: 669-676
- 國崎貴嗣 (2005) 岩手山麓のスギ高齢人工林における冠雪害の発生傾向. 日本森林学会誌 87: 426-429
- 松浦崇遠 (1998) 富山県における主要なスギ挿し木品種の成長特性と耐雪性. 富山県林業技術センター研究報告 11: 7-19
- 宮下智弘・向田 稔・河崎久男 (2006) スギの雪圧害抵抗性の遺伝特性. 日本森林学会誌 88: 114-119
- 中谷 浩 (2000) 富山県産スギの材質と強度. 富山県林業技術センター研究報告 特別号: 1-60
- 那須仁弥・向田 稔 (1998) 東北育種基本区における気象害抵抗性育種事業の実施計画. 林木育種センター研究報告 15: 131-144
- Saito M, Taira H, Furuta Y (1998) Cytological and genetical studies on male sterility in *Cryptomeria japonica* D. Don. *Journal of Forest Research* 3: 167-173
- Saito M, Taira H (2005) Plus tree of *Cryptomeria japonica* D. Don with a heterozygous male-sterility gene. *Journal of Forest Research* 10: 391-394
- 斎藤真己・平 英彰 (2005a) 実用化に向けた雄性不稔スギの遺伝的改良. 林木の育種 216: 19-20

- 齋藤真己・平 英彰 (2005b) 雄性不稔遺伝子をヘテロで保有するスギ個体を用いたモデルミニチュア採種園の造成. 日本森林学会誌 87: 383-386
- 齋藤真己 (2009) 無花粉 (雄性不稔) スギのデータベースの作成. 林木の育種 232: 44-46
- 齋藤真己 (2010) スギ花粉症対策品種の開発. 日本森林学会誌 92: 316-323
- 齋藤真己 (2013) 富山県産優良無花粉スギ「立山 森の輝き」の普及開始. 森林遺伝育種 2: 69-70
- 齋藤真己・寺西秀豊 (2014) 無花粉 (雄性不稔) スギ品種の開発. 花粉誌 60: 27-35
- 杉山利治・佐伯正夫 (1963) 昭和35年12月末の大雪による北陸地方の森林の冠雪害調査報告. 林業試験場試験研究報告 154: 73-95
- 平 英彰 (1979) 富山県のスギさし木品種. 富山県林業試験場研究報告 5: 1-66
- 平 英彰 (1980) 精英樹さし苗の初期成長について. 富山県林業試験場研究報告 6: 1-25
- 平 英彰・寺西秀豊・剣田幸子 (1993) スギの雄性不稔個体について. 日本林学会誌 75: 377-379
- Taira H, Saito M, Furuta Y (1999) Inheritance of the trait of male sterility in *Cryptomeria japonica*. Journal of Forest Research 4: 271-273
- 平 英彰 (2006) スギ花粉症を取り巻く諸問題—スギ雄性不稔個体の利用と開発—. 林木の育種 220: 1-3
- 田島正啓 (2001) 林木育種研究と最近の成果—林木育種センターを中心として—. 育種学研究 3: 103-108
- 山本福寿・汰木達郎・今田盛生・荒上和利・中井武司 (1982) スギの冠雪害に関する研究 (Ⅲ) —冠雪害の品種間差異と材質—. 第93回日本林学会大会論文集: 251-252