

神奈川県

自然環境保全センター報告

第20号 スギ・ヒノキの花粉飛散予測と無花粉品種の選抜及び実用化研究

Bulletin of the
Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center

No.20



2026年(令和8年)7月

表紙の写真

(表表紙)

左上 ヒノキの目視調査、雄花量調査を実施している 117 年生林分 (小田原市久野)

右上 同上林分での雄花トラップの設置状況 (小田原市久野)

右中 開花した「丹沢 森のミライ雄花」花粉嚢が開裂せず花粉が飛散しない (自然環境保全センター所内)

左下 無花粉スギ検定の状況 (南足柄市広町)

右下 無花粉ヒノキ「丹沢 森のミライ」採穂作業 (自然環境保全センター所内)

(裏表紙)

植栽後 4 年後の無花粉ヒノキ「丹沢 森のミライ」の生育状況 (自然環境保全センター所内)

第1章 本研究の背景（本文 p.2～5）

スギ・ヒノキは日本に広く自生し、古くから利用され、植栽されてきた樹種である。現在、社会問題となっているスギ・ヒノキ花粉症は、戦後に広範囲で植林されたスギ・ヒノキが、すでに本格的に花粉を発生させる樹齢に達しているものの、伐採が進まないことが要因となっている。森林における花粉症対策として、花粉飛散予測を行い予防治療や防護対策に向けた情報提供を行う必要がある。また、花粉を発生させる高齢林を無花粉のスギ・ヒノキに植え替えることが有効であることから、無花粉品種を選抜し、苗木生産を実用化していく必要がある。



スギ・ヒノキの埋没林のある芦ノ湖（箱根町）
埋没林は過去に分布していた証拠となる。



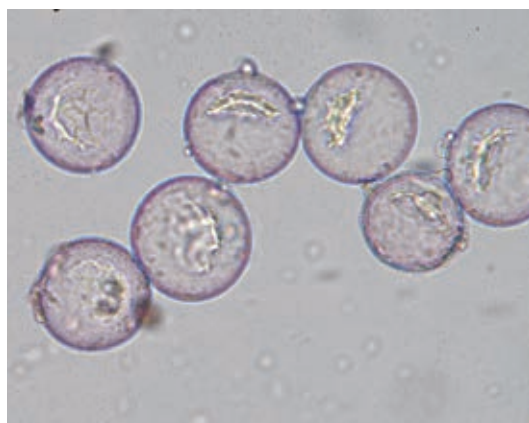
1592 年からのスギ・ヒノキの植栽の記録がある大雄山最乗寺スギ林（南足柄市）



戦後植林されたスギ林（南足柄市）



雄花が大量に着花したスギ林（清川村）



花粉症の原因となるスギ花粉



近年問題となっているヒノキ花粉を出す雄花

第2章 雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測 (本文 p.5 ~ 12)

近年予測が困難になっているヒノキの花粉飛散量について、雄花の目視により予測が可能であることを明らかにした。



目視によるヒノキ雄花量調査地 (12月、山北町)
左から3本目の樹冠がやや白い個体で雄花が良く着花している



11月のヒノキ雄花 (相模原市)
枝先の白い球状ものが雄花。スギは11月に花粉も形成するがヒノキは3月以降である。



ヒノキ雄花トラップ (小田原市)

目視で雄花量を観察したヒノキ林で落下した雄花量を計測し目視と有意な相関が得られた。

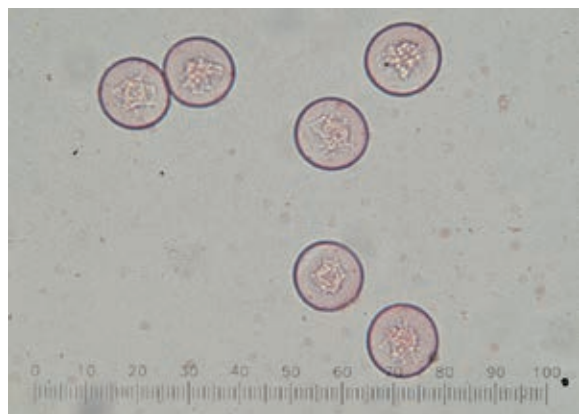


トラップで捕捉した大量のヒノキ雄花



ダーラム式花粉計測器 (厚木市)

ステンレスの円盤下に設置したワセリンを塗ったスライドガラスで花粉を補足する。目視雄花量と花粉飛散量に有意な相関が得られ、目視の雄花量調査が有効であることが明らかになった



ダーラム式花粉計測器で捕捉されたヒノキ花粉

第3章 雄性不稔スギ実生苗生産のための 簡易な検定手法の開発と精度検証 (本文 p.13 ~ 19)

実生苗で雄性不稔（無花粉）スギを生産するためには、育苗した苗木に無花粉と有花粉が混在するため、個体ごとに雄花の花粉形成の有無を調べる必要がある。そこで雄花を袋内でつぶして簡易顕微鏡で確認することで容易に調査することができることを明らかにした。



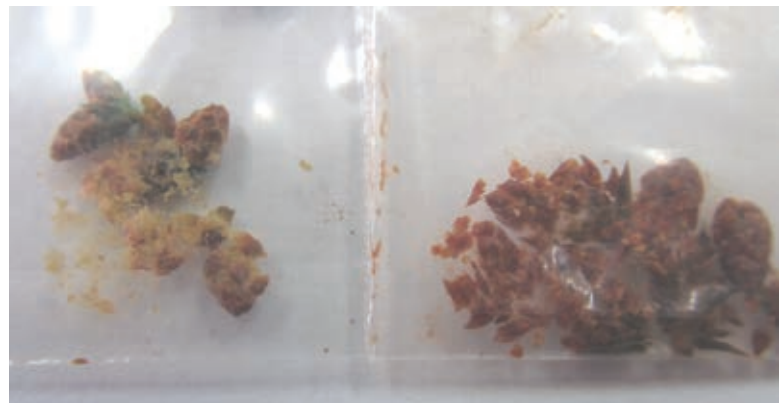
太平洋側で初めて発見された無花粉スギ
「田原1号」



無花粉スギ種子を生産するガラス温室内の
無花粉スギ閉鎖系採種園



検定に使用するペンチ（左）と
簡易実体顕微鏡（右）



ペンチでつぶした通常スギ（左）と無花粉スギ（右）
左は袋表面に花粉が付着している



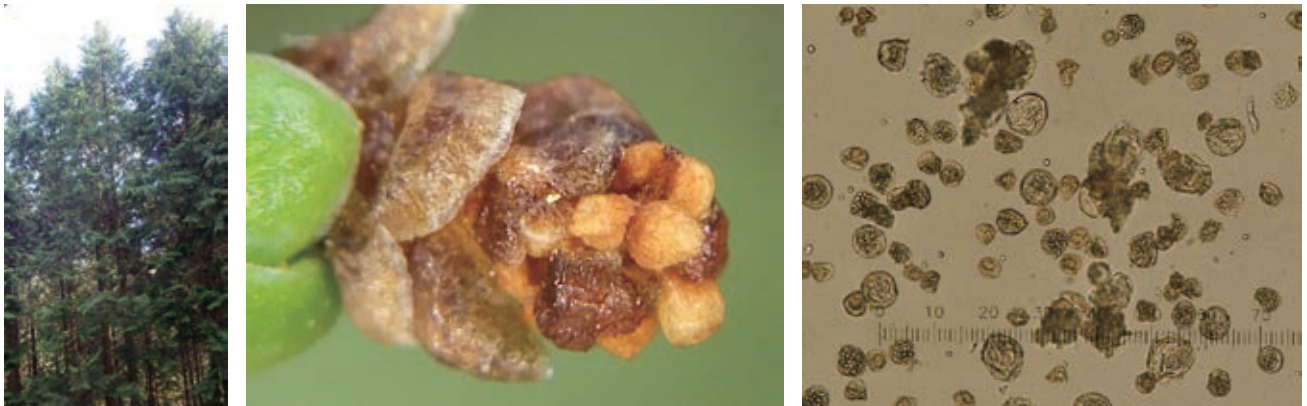
改良前の検定状況（左）と改良した検定状況（右）



改良前は野外作業であったが、改良後はハウス内の着席作業になり、検定の効率が大幅に改善した。

第4章 ヒノキ両性不稔個体の発見と実用化 (本文 p.19 ~ 27)

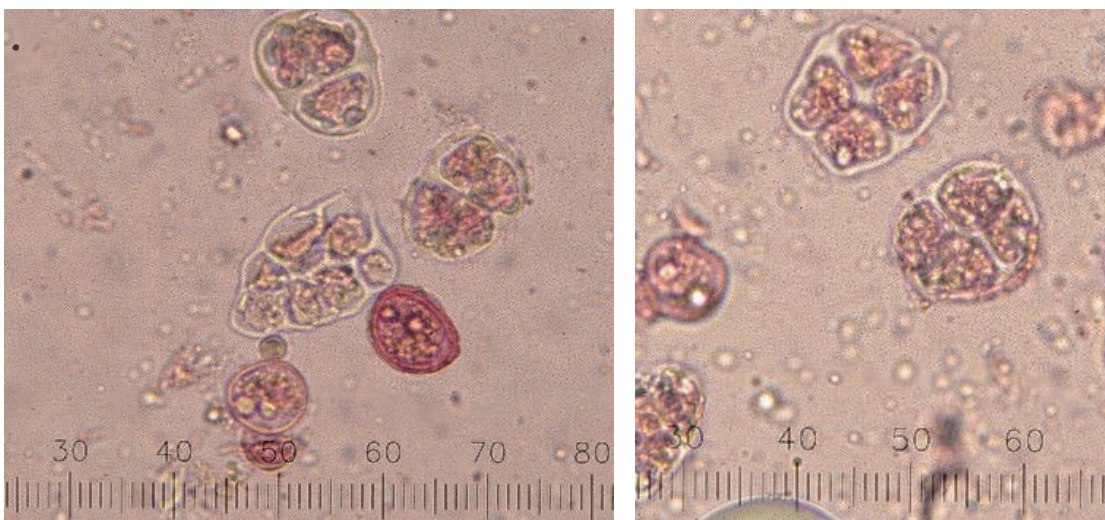
ヒノキ花粉症対策として神奈川県内のヒノキ林で2年間、4,074本のヒノキを調査し、無花粉となる両性不稔個体を発見し、無花粉となる要因が減数分裂の異常であることを明らかにした。



発見した両性不稔ヒノキ「丹沢 森のミライ」(左写真中央)、雄花の状況 (中央)、花粉嚢内の状況 (右) 大小の粒子が形成され正常な花粉は形成されず、開花しても花粉嚢が開かず花粉は飛散しない。



「丹沢 森のミライ」球果 (左写真)、秋の状況 (右写真左)、正常球果と種子 (同右) 開花時は正常球果と変わらないが、その後成長が止まり秋には種子を放出せず、両性不稔となる。



両性不稔個体 (左) と正常個体 (右) の花粉四分子期の比較
正常個体では、均等な大きさの四分子になっているのに対し両性不稔個体では大きさが不揃いな四分子 (不等分裂) や4個以上の異数分裂がみられる。ものさしの1目盛は2.5 μ mを示す

第5章 総合考察 (本文 p.27 ~ 31)

スギ・ヒノキ花粉症の軽減のためには、無花粉スギ・ヒノキをはじめとした花粉症対策品種に植え替えを進める必要がある。



全国で初めて造成した花粉の少ないスギ採種園（厚木市）



花粉症対策として全国で初めて選抜した花粉の少ないヒノキ（箱根1号）



苗木生産者で育苗中の無花粉スギへの GA3 散布の状況（左、横浜市）と植栽地の状況（右、南足柄市）
閉鎖系採種園で育苗した種子を県内の苗木生産者に配布し、無花粉スギ苗を育苗する。植栽後10年が経過した植栽地では平均樹高が10.3mに達している。



「丹沢 森のミライ」採種園（左）苗木生産者で育苗中のさし木苗木（中央および右）
採種園で生産した穂を苗木生産者に配布し苗木生産を進めている。枝張りの角度が小さくさし木苗木の素性が良い。コンテナ直ざしにより実生ヒノキ苗木と同様に2年で育苗が可能である。

神奈川県

自然環境保全センター報告

第20号 スギ・ヒノキの花粉飛散予測と無花粉品種の選抜及び実用化研究

Bulletin of the
Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center

No.20

2026年（令和8年）7月

神奈川県自然環境保全センター

発刊にあたって

自然環境保全センターは、平成12年に発足以降、26年が経過し自然環境保全のためのさまざまな取り組みを進めてまいりました。当センターの特色の1つとして、行政機関の中に研究部門を持ちその研究成果を行政部門にフィードバックし活用していることがあげられます。一例として、当センターの事業部門によるニホンジカの個体数管理や植生保護柵の設置と合わせて、研究部門で事業効果のモニタリングを行い、その成果を業務に反映し、大きな成果を上げております。

また、自然環境保全業務のほか、県有林の管理を所轄しており、森林・林業施策への対応も大きな柱の1つです。そのうち、林木の育種事業については、当センターの前身である林業指導所、県有林事務所時代から長きにわたって行っており、精英樹選抜から採種園の造成、育種種子の供給など成果をあげてきました。そうした中で、近年スギ・ヒノキの花粉症はその県民の有症率が48.1%に達すると推定されるなど、まさに社会問題となっております。このため当センターの研究部門では、花粉症対策を重要課題の1つとして研究を進めてまいりました。

この報告は、当センター研究連携課の主任研究員である齋藤央嗣氏が新潟大学大学院自然科学研究科に提出した学位論文です。同氏は、30年の長きにわたり、当センターの研究部門で林木育種事業や花粉症対策研究に取り組んでまいりました。その成果は、①ヒノキの雄花の目視による予測手法を確立し、全国で初めて予測結果を公表しました。また②太平洋側で初めてとなる無花粉スギを選抜し、苗木で無花粉スギを簡易に判定する手法を開発して種子による苗木生産を実用化し、さらに③全国で初めてとなる無花粉ヒノキを県内のヒノキ林で発見し、その無花粉となる要因を明らかにするとともに、林業的な特性を明らかにして品種登録を行い、苗木生産を実用化するなど、この報告ではそうした成果の一端をご紹介します。

現在、全国で唯一無花粉ヒノキの生産を行い、無花粉スギの生産が1万本に達するなど、県内のスギ・ヒノキ林業種苗はすべて花粉症対策品種に転換しています。こうした取り組みが、有症率が年々向上し、より深刻な社会問題となっている花粉症の解決につながることを期待しております。

令和8年7月

神奈川県自然環境保全センター所長 大貫 信近

目 次

発刊にあたって

スギ・ヒノキの花粉飛散予測と無花粉品種の選抜及び実用化研究

要 旨	1
-----	---

第 1 章 本研究の背景

1 はじめに—スギ・ヒノキの木材利用と植林の経緯—	2
2 スギ・ヒノキ花粉症の発見と有症率の増加	3
3 スギ・ヒノキ花粉の飛散予測	4
4 森林管理による花粉症対策	4
5 花粉症対策品種の選抜と普及に向けた取り組み	4
6 本論文の構成	5

第 2 章 雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測

1 はじめに	5
2 調査地および調査方法	7
2.1 調査地	7
2.2 目視による雄花着花状態の評価	8
2.3 雄花トラップによる雄花量の推定	8
2.4 ダーラム式花粉計測器による花粉飛散量の算出	8
2.5 花粉飛散前年夏の気象要因と雄花量指数及び花粉飛散量との関係	8
3 結 果	8
3.1 目視による雄花量と雄花量指数の年次変動	8
3.2 雄花トラップから推定された雄花量による雄花量指数の精度検証	9
3.3 ダーラム式花粉計測器から推定された花粉飛散量による雄花量指数の精度検証	10
3.4 花粉飛散前年夏の気象要因と雄花量指数及び花粉飛散量との関係	11
4 考 察	11

第 3 章 雄性不稔スギ実生苗生産のための簡易な検定手法の開発と精度検証

1 はじめに	13
2 材料と方法	13
2.1 雄性不稔スギの苗木を生産するための交配と育苗	13
2.2 雄性不稔苗木を選別するための簡易検定手法と出荷前に実施した雄性不稔性の再確認	14
2.3 簡易検定手法の作業性の改善の検討	15
2.4 簡易検定の 1 年後と 5 年後に実施した雄性不稔性の再確認	15
3 結 果	16
3.1 雄性不稔スギの簡易検定法と雄性不稔性の再確認	16
3.2 簡易検定手法の作業性の改善の検討	17
4 考 察	18
4.1 雄性不稔スギの生産と検定手法	18
4.2 雄性不稔スギの検定作業の作業性の改善	18

第4章 ヒノキ両性不稔個体の発見と実用化

1 はじめに	19
2 材料及び方法	20
2.1 ヒノキ雄性不稔個体の選抜と雄性不稔性の発現過程の顕微鏡観察	20
2.2 雌性の稔性調査	20
2.3 さし木による活着率とさし木個体の雄性不稔性の確認	21
2.4 染色体数の調査	21
3 結 果	21
3.1 ヒノキ雄性不稔選抜調査	21
3.2 雌性の稔性の確認	23
3.3 さし木による増殖と雄性不稔の確認	26
3.4 染色体数の調査	26
4 考 察	26
4.1 ヒノキの不稔個体の選抜	26
4.2 雄性不稔の生じる要因	26

第5章 総合考察

1 ヒノキの花粉予測と花粉症対策	27
2 スギ・ヒノキの雄性年品種の選抜と実用化	28
2.1 雄性不稔品種の選抜	28
2.2 雄性（両性）不稔品種の実用化	29
3 まとめ	30

摘 要	31
1) 雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測	31
2) 雄性不稔スギ実生苗生産のための簡易な検定手法の開発と精度検証	31
3) ヒノキ両性不稔個体の発見と実用化	31

Summary	32
---------	----

謝 辞	33
-----	----

参考文献	34
------	----

○本誌の著作権について

第2章は、日本花粉学会会誌70巻2号に掲載された「雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測」を一部改変してとりまとめたものである。著作権は日本花粉学会が有するため、同学会より転載許可を受けた（2026年1月10日）。

第3章は、日本森林学会誌102巻に掲載された「雄性不稔スギ実生苗生産のための簡易な検定手法の開発と精度検証」を一部改変してとりまとめたものである。著作権は日本森林学会が有する。

第4章は、日本森林学会誌99巻に掲載された「ヒノキ両性不稔個体の発見」を一部改変してとりまとめたものである。著作権は日本森林学会が有する。

スギ・ヒノキの花粉飛散予測と無花粉品種の選抜及び実用化研究

齋藤 央嗣 *

Prediction of pollen dispersal in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don.) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.), and selection and utilization of male-sterile cultivars

Hiroshi Saito*

要 旨

齋藤央嗣：スギ・ヒノキの花粉飛散予測と無花粉品種の選抜及び実用化研究 神自環保セ報 20, 2026

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) とヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) は同じヒノキ科に属する裸子植物で広く造林され、現在ではスギは 441 万 ha、ヒノキ 257 万 ha、計 698 万 ha と国土面積の約 18% を占めている。この結果、スギ花粉症の有症率は全国平均で 38.8% となり、深刻な社会問題となっている。本研究では、増加傾向にある花粉飛散量を軽減し花粉症対策に資するため、これまで実用化されていなかったヒノキの目視による花粉飛散予測手法の確立、雄性不稔品種による実生苗による実用化に資するための簡易な雄性不稔品種の検定手法の確立、さらにこれまで発見されていなかった無花粉ヒノキ選抜とその実用化に資することを目的とした。

神奈川県内のヒノキ林で目視による雄花量と花粉飛散量との関係を調査した。ヒノキ林の雄花量を点数化した雄花量指数は、雄花トラップで捕捉した雄花数と有意な相関関係が認められた。雄花量指数と神奈川・東京に飛散した花粉数と比較したところ、指数回帰により横浜市金沢区と 0.94、東京都千代田区と 0.88 と有意な高い相関関係があり、花粉飛散を予測できることが明らかになった。夏の気象要因（日照時間、平均気温、降水量）とヒノキ花粉飛散量との相関関係を調べたところ、有意であったのは 6～7 月の降水量だけで 0.6 程度の相関であり、雄花量指数との相関に比較して低く、気象要因のみでは花粉飛散量の予測は困難であった。また、直近 12 年間のスギとヒノキ花粉飛散量の相関は有意ではなく、スギ・ヒノキの花粉飛散は同調していないことが明らかになった。このため、ヒノキの花粉飛散予測は、ヒノキ単独で予測を行う必要があり、気象要因による予測が困難であること、目視による雄花量指数による予測が有効であることが明らかになった。

また無花粉となる雄性不稔スギは単一の劣性遺伝子（雄性不稔遺伝子）に支配され、メンデルの法則に従って遺伝する。そのため、劣性ホモの雄性不稔スギに雄性不稔遺伝子をヘテロ接合体でもつスギを交配することにより、種子による苗木生産が可能である。しかし半分は可稔となるため、雄性不稔苗木の生産には、雄性不稔個体を選別する検定が必要になる。これまで顕微鏡を用いて雄性不稔の判定を行っていたが、神奈川県では新たに開発した苗畑で雄花を

潰す簡易な検定法により、2010年から2019年の10年間で23,485本の雄性不稔実生苗を生産した。この検定結果を検証するため、雄性不稔と判定した試料を実体顕微鏡で確認した結果、誤判定率は1.1%であった。また、雄性不稔と判定した苗木を1年後と5年後に再確認した結果、検定精度は98.1%、97.6%となり有効な検定手法であることが確認された。さらに、検定の作業効率を改善するため、生分解性コンテナ苗を用いた生産体制を検討した結果、ビニールハウス内で座ったままの作業が可能となり、作業性が向上するとともに、誤判定も有意に減少した。

ヒノキの花粉症対策のため、雄性不稔個体の探索を行った。神奈川県内のヒノキ林を探索した結果、雄花から花粉が飛散しない個体が発見された。花粉の飛散を調べるため、雄花がついた枝を袋に入れ水差した結果、飛散期を過ぎても花粉嚢が開かず、全く花粉を飛散しなかった。花粉嚢内の状況を光学顕微鏡で観察した結果、正常花粉と異なる大小の粒子が観察された。さらに電子顕微鏡で花粉嚢内を観察した結果、正常花粉同様に花粉の表面に形成されるオービクルは観察されたものの、正常な花粉は形成されていなかった。種子の稔性を調査した結果、結実した球果は小型で、正常な種子は形成されなかった。さし木の活着率は70%であり、クローン増殖が可能であった。増殖したさし木クローンに着花した雄花も花粉を飛散せず、雄性不稔形質は増殖個体でも再現性があった。染色体数を確認したところ $2n = 22$ 本で2倍体であり、染色体数の異常は認められなかった。花粉四分子期の観察により、雄性不稔形質は、減数分裂時の不等分裂が原因であると推定された。雄花及び球果の状況から、両性不稔個体であると判断された。

一連の研究により森林・林業サイドから可能な対策の検討を進め、目視によるヒノキの雄花の観察による花粉飛散予測、無花粉スギの検定手法という新たな技術を開発するとともに、全国で初めて無花粉となる両性不稔の無花粉ヒノキを選抜した。これらは神奈川県の業務の中で実用化され、すでに花粉症対策に供されている。しかし、花粉症対策品種の活用における最大の課題は、花粉を放出している既存のスギ・ヒノキ林の植え替えである。伐採、搬出技術の向上と担い手の確保、スギ・ヒノキの木材利用の促進、伐採後の林地災害の防止、造林や育林コストの軽減など、さまざまな課題がある。また植え替え需要に対応できる無花粉スギ・ヒノキの種苗を安定的に確保するため、採種徳園の整備、種苗生産及び供給体制の整備が必要である。これらの課題に取り組むことにより、花粉症対策を着実に進められるものと思われる。

キーワード：ヒノキ、スギ花粉症、ヒノキ花粉飛散予測、簡易雄性不稔検定、両性不稔ヒノキ、

第1章 本研究の背景

1. はじめに

—スギ・ヒノキの木材利用と植林の経緯—

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) とヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) は現在では同じヒノキ科に属する裸子植物である。スギは青森県から屋久島まで、ヒノキは福島県から同じく屋久島まで自生し、ヒノキは日本固有種であるのに対し、スギは日本に自生する *C. japonica* var. *japonica* および *C. japonica* var. *radicans* に加えて中国南部に *C. japonica* var. *sinensis* が自生する (Cai et al. 2020; Tsumura et al. 2020)。両種は日本の環境に適した樹種であるため、広く造林されてきた (林 1960; 平井 1996; 有岡 2010a; 有岡 2011; 林野庁 2017)。現在の自生地以外にも、過去の分布を示す証拠として各地の埋没林

があり、富山県魚津市の魚津埋没林 (宮地 1987; 鈴木 2002)、島根県太田市の三瓶小豆原埋没林 (大津ら 2020)、静岡県静岡市の登呂遺跡周辺 (鈴木 2002) など、スギが確認されている。加えて、神奈川県箱根町の芦ノ湖の湖底には「逆さスギ」としてスギ・ヒノキの埋没林が存在することが知られている (大木ら 1985; 宮地 1987)。これらの埋没林の分布は、両種が現在分布の見られない低地にも広く自生していたことを示唆する (鈴木 2002)。

スギ・ヒノキは、形質に優れ加工しやすいことから、有史以降利用が確認されており、縄文時代の遺跡からは、スギが舟や食器などに、ヒノキが弓や食器などに利用されてきたことが報告されている (鈴木 2002)。約2000年前の静岡県登呂遺跡では大量のスギの矢板や建築材が出土しており、ヒノキについても梯子などの建築材としての利用が確認されている (有岡 2011)。ヒノキは建築材として優良で

あり、スギやコウヤマキとともに飛鳥や藤原京などの都の造営において大量に利用された（鈴木 2002；有岡 2011）。1200 年以上前の飛鳥時代創建された世界最古の木造建築物である法隆寺では、金堂や五重塔に利用されている木材の大部分にヒノキ材が用いられていることが報告されている（西岡・小原 1978；鈴木 2002；有岡 2011）。近年、琵琶湖における堆積花粉の調査によって、スギの花粉量は約 2000 年前から約 50 年前（1970 年代）にかけて減少したことが明らかにされた（林ら 2012）。この結果は、有史以降の人間による伐採が相当量に及び、その影響が花粉飛散量にまで及んだ可能性を示唆している。

一方、利用と合わせて古くから植林も行われてきた。スギについては「日本三大実録」に平安時代の 866 年（貞観 8 年）に、常陸国鹿島神宮の造営用材の確保のため、スギ 4 万本、クリ 5,700 本を植栽した記録が残されている（有岡 2010a）。林業地では、1400 年頃に京都北山地方で挿木造林が行われた例があり、その他、吉野地方では 1500 年頃、飢肥地方では 1600 年頃から造林が始まったとされる（日本林業技術協会 1973）。各地でさかんに造林が行われるようになったのは今から 300 年から 400 年前の江戸時代と考えられている。ヒノキについては、和歌山県の高野山において同じく平安時代の 1014 年頃および 1082 年頃に植栽の記録がある（佐藤 1971）。その後、室町時代の 1533 年には奈良県葛野郡小野村でスギ・ヒノキを植栽した記録があり（佐藤 1971）、さらに 1592 年に神奈川県南足柄市大雄町の大雄山最乗寺においてスギ・ヒノキ・マツ・モミを植栽した記録がある（宮沢 1983；鈴木 1986）。林業地では、1624 年の寛永年間に三重県の尾鷲で植栽が開始され、ヒノキの美林で有名な木曽では 1708 年に植栽が行われ、1774 年に補植された。旧藩時代には 1842 年および 1848 年に植栽されたが失敗したという記録もある（佐藤 1971）。藩政時代から造林は行われたものの、現代の造林方法と異なり 1ha 当たり 1 万本以上の密植が行われるなど（佐藤 1971）、スギと比較して植栽が必ずしも良好な結果ではなかったようである。留山などの禁伐措置による資源管理が取られたものの、天然林を伐採する略奪型の林業が続いた。スギに次ぐ大規模な面積の造林が本格化するのには明治時代後期以降である（佐藤 1971；有岡 2011）。

江戸時代には諸藩により林業地でスギ・ヒノキの造林が進められたが、明治以降は、土地所有の明確化や国有林（山林局）の設置、日清・日露の戦争による木材需要の増加や治水対策の必要性により、スギ・ヒノキの造林がさらに推進された（有岡 2010a）。第 2 次世界大戦後は、木材不足の解消、造林未済地の整備、台風被害の治水対策を背景に造林が進められ、昭和 30 年頃には、薪炭利用の減少もあり、拡大造林施策がとられた（森林・林業・木材辞典編集委員会編 1993；斎藤・井手 1994；有岡 2010a）。この結果、全国の森林面積 2,502 万 ha のうち、人工林面積は 1,009 万 ha に達した（林野庁 2017）。そのうちスギは 441 万 ha、ヒノキは 257 万 ha で、この 2 種で合計 698 万 ha となり、国土面積の約 18% を占める。これらの広大な面積の人工林の成長は、スギ・ヒノキ花粉量の増加の要因となり、スギ花粉症の発症と花粉症患者の増加につながったと考えられる。

2. スギ・ヒノキ花粉症の発見と有症率の増加

スギ花粉症は、堀口・斎藤（1964）により初めて報告された。自然治癒の難しい I 型アレルギー疾患である。東京都の調査では、スギ花粉症の有症率は 1983～1987 年の 10.0% から、約 30 年後の 2016 年には 48.8% に達しており、増加傾向が示されている（東京都 2017）。一方、全国の耳鼻咽喉科医家族を対象にした調査では、1998 年の 16.2% から 2008 年には 26.5% に上昇し、2019 年の調査では全国平均が 38.8% となり同様に有症率が大幅に増加している（松原ら 2020）。この調査では、山梨県のスギ花粉症の有症率は 65.0% と全国で最も高く、2 位が埼玉県の 56.1% となっており、南東北から関東、東海にかけての地域で有症率が高い傾向となっていた。年齢別の有症率では、当初は 30～39 歳が最も高かったが（信太・清水 1983）、近年では若齢層での発症が増加しており、10～19 歳の有症率は 49.5% となり、全世代で最も高くなった（松原ら 2020）。同様に、東京都の調査でも当初は働き盛りの 30 代に多かったが、2016 年の調査では 14 歳以下の小児や 60 歳以上の高齢者においても推定有病率が高くなってきている（東京都 2017）。特に高齢者の有症率の増加が顕著であり、若年者から高齢者まで幅広く罹患することから、スギ花粉症は国民的な社会問題となっている。さらに、スギ花粉症には

ヒノキ科花粉も関与することが指摘されている（安枝 2002；太田 2019）。ヒノキ花粉の主要なアレルゲンはスギと共通抗原性（交差抗原性）を示し（信太ら 1983；井手ら 1991；安枝 2002）、スギ花粉症患者の70～84%がヒノキ花粉にも反応することが報告されている（佐橋・花粉情報協会 2002；石野 2025）。このことから、スギ花粉症とヒノキ花粉症は一体的にスギ・ヒノキ花粉症と扱われるようになってきている（齋藤ら 2006；太田 2019；石野 2025）。

スギ花粉症患者の増加の要因となる花粉量の増加については、スギの樹齢の影響が指摘されている（齋藤・井手 1994）。スギ花粉は、植栽後樹齢30年以降に本格的に飛散するとされており（金指・横山 1988）、長期間の花粉尘計でも飛散量の増加が確認されている（奥田ら 2006；佐橋ら 2014；岸川ら 2017；齋藤ら 2017；渡辺・鈴木 2020）。特に、日本で最長の花粉尘計を行っている相模原市では、1965年の計測開始から5年間の平均値は1,306個/cm³であったが、2010～2014年の5年間では7,047個/cm³に達し、約5倍に増加している（齋藤ら 2017）。花粉症有症率の増加には、ディーゼル排気微粒子物質（DEP）などの大気汚染物質（Muranaka et al. 1986；山崎 1992；有岡 2010b）、食生活の変化（山崎 1992；有岡 2010b）、ダニの増加など住環境の変化（山崎 1992）、さらには電波や寄生虫の感染率の低下（山崎 1992；藤田 1999；太田 2019）など様々な要因が指摘されている。しかし、スギ・ヒノキ人工林の面積の増大に加え、山崎（1992）も指摘しているように、伐期を迎えても伐採が十分に行われていない状況が花粉飛散量を増加させ、花粉症有症率の増加にも最も大きく寄与していると考えられる。

3. スギ・ヒノキ花粉の飛散予測

スギ・ヒノキの花粉尘量の予測は、花粉飛散量が花粉症の症状の重症度や血中におけるIgE抗体価と相関があることから（信太・清水 1983）、予防治療に重要な情報を提供する（山崎 1992）。また、患者の予防に加え、治療薬やマスクなどの生産計画にも利用できる。

これまで、スギおよびヒノキの総花粉飛散量の予測は、雄花の着花量と夏季の気象要因との間に高い相関関係があることから、夏季の気象要因に基づいて予測がなされてきた（岸川ら 1988；難波ら

1997；環境省 2009；須藤ら 2011）。しかし近年、花粉飛散量と気象要因の相関関係が崩れ、気象要因のみを用いた予測が困難になってきている（安田 2024）。スギについては、6月頃から雄花の花芽分化が始まり、秋には花粉が形成されることから（横山・金指 1992）、秋の雄花観察に基づく予測手法が開発され、実用化されている（齋藤ら 2011）。しかし、ヒノキについては雄花量に基づく飛散予測手法は確立されていない。そのため、ヒノキの花粉尘飛散予測を行うには、新たな手法をヒノキ独自に開発する必要がある。

4. 森林管理による花粉症対策

森林管理による花粉症対策としては、当初、手入れ不足の森林の拡大が花粉飛散増加の要因と考えられ（信太・清水 1983；山崎 1992）、間伐や枝打ちなどの林業施業による花粉量軽減策が試みられた。特に間伐は樹木本数を減少させるため効果が期待されたが、枝打ちでは雄花を着花する力枝を除去しなければ十分な効果が得られず（福島ら 1996）、また間伐では密度低下によってかえって雄花量が増加することが明らかになった（清野ら 2003；梶本・福島 2015）。これらの結果から、従来の森林施業では十分な花粉軽減効果は得られないことが判明した。そのため、花粉を飛散する既存のスギ・ヒノキ林を伐採して更新することが、最も効果的な対策と考えられる。前述のとおり、花粉飛散量は植栽後30年程度で飛散が本格化するとされるため（金指・横山 1988）、高齢林分を伐採して利用し、若齢林に更新することが花粉症対策として有効である。さらに、雄性不稔のスギ・ヒノキに転換できれば、将来にわたって花粉の飛散を防ぐことが可能になる。

5. 花粉症対策品種の選抜と普及に向けた取り組み

花粉症の社会問題化に対応するため、花粉症対策品種の選抜が進められた。最初に1995年に千葉県で花粉の少ないスギが選抜され（岩澤・小平 1995）、翌1996年には林野庁により花粉の少ないスギ15品種が選抜された（近藤 2009）。選抜には、雄花着生量が指標とされた。神奈川県では、精英樹の実生家系の検定林での着花調査から花粉の少ないスギ16品種を選抜し（齋藤・明石 1998）、これらを用いて全国で初めてとなる花粉症対策品種のみによる採種園を造成し、種子生産を開始した（齋藤

2012)。その後、林野庁では、花粉の少ないスギの定義を見直し、一般のスギよりも雄花量が少ない低花粉スギ品種・少花粉スギ品種（雄花着生量に応じて区分）、花粉を飛散しない無花粉スギ（学術的には雄性不稔スギ）品種、さらには特定母樹も一定の基準を満たすものとして、これらを『花粉の少ないスギ』とした（林野庁 2024）。2023 年時点で、森林総合研究所林木育種センターおよび各都道府県により、147 品種の花粉の少ないスギが選抜されている（森林総合研究所林木育種センター 2023）。ヒノキについては、雄花の大きさがスギの半分程度であるため、検定林での着花調査が困難であった。そのため、神奈川県では、ヒノキ採種園における雄花着花量をデータとして主成分分析を行い、豊凶などの年次変動の影響を考慮して全国で初めて花粉の少ないヒノキ 5 品種を選抜した（齋藤・明石 2004）。その後、森林総合研究所林木育種センターを中心に全国での少花粉品種の選抜とその普及が進められており（河崎ら 2008）、2023 年までに少花粉ヒノキ 55 品種が選抜されている（森林総合研究所林木育種センター 2023）。

雄花着生量を基準に選抜された低花粉や少花粉などのスギ・ヒノキ品種は、その後の成長に伴って一定量の花粉が飛散すると考えられる（平ら 2005）。一方、花粉を全く飛散しない雄性不稔スギは、1992 年に富山県で初めて発見された（平ら 1993）。雄性不稔スギは単一の潜性遺伝子に支配されており（Saito et al. 1998）、成長後も花粉を飛散することはない。このため、雄性不稔品種の実用化は、究極的な花粉症対策として期待されている。なお、スギは林業種苗法により広域的な移動が制限されるため（林業種苗研究会 2010）、普及させるには地域に適した雄性不稔スギを選抜し、実用化を図る必要がある。また、スギはさし木が可能であるが、実生苗の方がさし木苗よりも樹高成長が良いことが知られている（Matsushita 2025）。さらに、多雪地では実生苗よりもさし木苗の方が雪害の影響を受ける傾向にあり（宮下 2007）、関東地方で江戸時代から利用されてきたさし木品種サンプスギの人工林で非赤枯性溝腐病の被害が報告されている（寺嶋 2016）。これらのことから、さし木苗が好まれない地域や馴染みのない地域も多い。したがって、雄性不稔スギを日本各地に広く普及させるためには、実生苗による雄性不稔スギ苗の普及方法を確立する必要がある。

ヒノキについては、これまで雄性不稔個体は発見されていない。そのため、花粉を全く出さない花粉症対策を進めるには、雄性不稔ヒノキの選抜と普及が不可欠である。

6. 本論文の構成

本研究の目的は、増加傾向にあるスギ・ヒノキの花粉飛散量を軽減し、花粉症対策に資することである。そのために、これまで実用化されていなかったヒノキにおける目視による花粉飛散予測手法を確立するとともに、スギでは雄性不稔品種の実生苗の普及に資するための簡易な検定法を開発する。さらに、これまで発見されてこなかった無花粉ヒノキを選抜し、その普及につなげる。

本論文の主体をなす第 2 章から第 4 章の構成は、以下の通りである。

第 2 章では、ヒノキ花粉症対策に資するため、目視による雄花量予測手法を検討し、その有効性を検証する。この章は、日本花粉学会会誌 70 巻 2 号に掲載された「雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測」を一部改変してとりまとめたものである。著作権は日本花粉学会が有するため、同学会より転載許可を受けた（2026 年 1 月 10 日）。

第 3 章では、花粉を飛散しない雄性不稔スギを普及するため、実生苗から雄性不稔スギを確実に識別する簡易検定法を開発する。この章は、日本森林学会誌 102 巻に掲載された「雄性不稔スギ実生苗生産のための簡易な検定手法の開発と精度検証」を一部改変してとりまとめたものである。著作権は日本森林学会が有する。

第 4 章では、スギに比べて花粉症対策の遅れていたヒノキにおいて、雄性不稔個体の選抜を行い、その普及に向けた基礎情報を収集する。この章は、日本森林学会誌 99 巻に掲載された「ヒノキ両性不稔個体の発見」を一部改変してとりまとめたものである。著作権は日本森林学会が有する。

第 2 章 雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測

1 はじめに

スギ花粉症は社会問題となって久しいが、ヒノキも主要な花粉症原因植物である（岸川 1997；安枝 2002）。長期的な調査から、近年の花粉飛散量の増加が報告されており（奥田ら 2006；佐橋ら 2014；

岸川ら 2017；齋藤ら 2017；渡辺・鈴木 2020)、特に造林面積の多い西日本や、東海から関東にかけて顕著である(佐橋 2014)。ヒノキでは、花粉の少ない品種(齋藤・明石 2004)や無花粉品種の選抜(齋藤 2017)が進められ、すでに普及が始まっている(齋藤 2022)。しかし、全国のヒノキ植栽面積は約 260 万 ha に及ぶため(林野庁 2017)、花粉対策品種への植え替えによって花粉飛散量を軽減するには、大規模な林分転換が必要である。一方、スギでは 2014 年に舌下免疫療薬が実用化されたが(湯田ら 2015)、ヒノキでは未だ開発されておらず、当面は花粉情報を活用しながら対症療法を受けるしかない。このような背景から、ヒノキの花粉飛散量予測は極めて重要である。

ヒノキの花粉飛散量はスギとの同調性が高く(齋藤ら 2017；渡辺・鈴木 2020)、特に夏季の日射量などの気象要因と強い相関があることから、スギ・ヒノキを合わせた総飛散量として予測されてきた(岸川ら 1988；難波ら 1997；須藤ら 2011；環境省 2009)。しかし、2014 年および 2018 年には東京都千代田区において、造林面積がより広く通常は飛散量の多いスギを上回るヒノキの花粉飛散が観測され(佐橋 2014；東京都保健医療局 2024；佐橋 2018)、2014 年には相模原市でも同様の現象が確認された(齋藤 2017)。このことは、必ずしもヒノキの花粉

飛散がスギと同調しない状況を示している。スギ・ヒノキの同調関係が崩れた結果、夏季の気象要因に基づく総飛散量の予測が困難となっており(安田 2024)、ヒノキの花粉飛散量を精度高く予測するためには、ヒノキ独自の花粉飛散予測手法を新たに開発することが不可欠となっている。

一方、気象要因によらない手法として、スギでは 6 月頃から雄花の花芽分化が始まり、秋には花粉まで形成されることから、秋の雄花観察に基づく花粉飛散予測手法が開発され(横山・金指 1992)、2001 年以降、大都市周辺の 17 都府県で秋の雄花調査が実施され(全国林業改良普及協会 2024)、スギの花粉飛散予測に活用されている。しかし、ヒノキでは、スギと比べて雄花が小さく(約 3 mm)、花粉の形成が飛散直前であるため(橋詰・岡田 1968；齋藤 2017)、秋の時点では雄花が十分に発達しておらず、雄花量の評価が困難であることから、スギと同じ方法による花粉飛散予測は難しいと考えられてきた。これまで、ヒノキの花粉飛散前に雄花量を評価し、実際の花粉飛散量との関係から精度を検証した報告は存在しない。そこで本研究では、ヒノキの雄花の目視調査によって雄花量を評価し、ヒノキ林内に設置した雄花トラップから推定した雄花量とダラム式花粉計測器等で収集した実際の花粉飛散量からその精度を検証した。調査は 12 年間にわたって実施

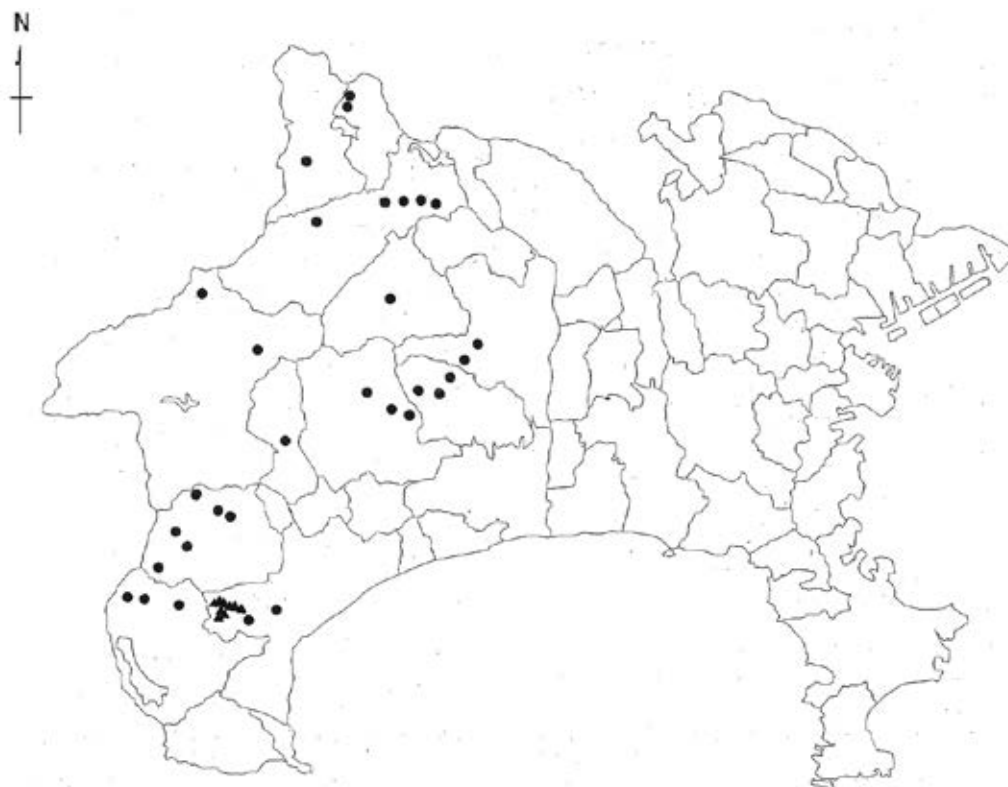


図 2-1 神奈川県内の調査地位置図
黒丸と黒三角は目視によるヒノキ雄花量調査を行った調査地点を示す。黒三角は雄花トラップも実施した調査地である。

された。本研究の成果は、ヒノキにおける花粉飛散予測技術の開発に有用な知見を提供すると考えられる。

2 調査地および調査方法

2.1 調査地

目視によるヒノキ雄花量調査のため、2012年11月に神奈川県内に40カ所のヒノキ林を調査地として選定した(図2-1)。調査地の選定にあたっては、以下の条件を考慮した: ①樹高10 m以上、林齢30年生以上で、ヒノキ林がその樹高以上の林帯幅が

あつて面的な広がりを持つこと、②林道等に面し、樹冠部の下まで観察可能な個体が10本以上あり、12倍の双眼鏡で雄花が確認できること、③着花性の低い北向きの林分を避け、調査年(2012年)に一定の着花が確認できること、④神奈川県内のヒノキ林分布を考慮し、北部から西部にかけて未調査区域が生じないように林分を選定すること。各調査地では、林縁に固定調査木(10本)を設定し、継続調査が可能にした。なお、調査地のうち9カ所は、1991年から雄花トラップ調査を継続している小田原市久野の調査地10林分のうち、目視可能



図2-2 枝での雄花着花ランク別の着花状況の例

矢印は雄花の着花部位を示す。()内の数字はランクの点数を示す。実際のランクの判定は、枝単位ではなく樹冠全体の雄花着花状況を確認して判定を行う。

な9林分とした。これらの久野のヒノキ林では20年以上にわたる雄花トラップデータが蓄積されており(齋藤 2017)、目視調査の精度検証に利用した。

2.2 目視による雄花着花状態の評価

目視調査は、各調査地で設定した10本の調査木を対象に、雄花の着花状態を以下の6段階に区分し(ランクA~F、図2-2)、スギで行われている横山・金指(2001)の方法を参考に点数を配分した。各調査地で観察した10本の合計点をその調査地の雄花量指数とし、40か所の調査地における雄花量指数の平均値をその年の雄花量指数とした。

- | | | |
|---|-------------|-------|
| A | : 雄花が非常に多い | (10点) |
| B | : 雄花が多い | (5点) |
| C | : 雄花が少ない | (2点) |
| D | : 雄花が非常に少ない | (1点) |
| E | : 雄花がほとんどない | (0点) |
| F | : 雄花がない | (0点) |

調査は、雄花が白く観察のしやすい12月上旬から中旬に実施した。観測には、目視または倍率10倍、12倍、20倍の双眼鏡(MONACH10×42、MONACH12×56、MONACH5 20×56、ニコン、東京)、必要に応じて20倍の野鳥観察用望遠鏡(FIELD SCOPE 20倍、ニコン、東京)を使用し、雨や霧、強風時を避けて行った。各調査地で10本、40か所の総調査本数は400本であった。観察木は原則として固定したが、伐採等があった場合は隣接木で調査を行った。調査は2012年12月(2013年飛散期)から2023年12月(2024年飛散期)までの12年間実施し、判定は調査者によるばらつきを避けるため、全調査期間を通じて著者が行った。

2.3 雄花トラップによる雄花量の推定

小田原市久野の9か所のヒノキ林において、3月から6月にかけて各調査地に5基の雄花トラップ(面積0.1288 m²)を設置し、落下した雄花を収集した。雄花トラップは捕虫網状の円形ネットを3本の疑似竹の支柱に固定して設置した。原則として雄花の個数を直接カウントしたが、収集した雄花が多い場合は総乾燥重量を計測し、100個あたりの乾燥重量(3回繰り返し計測の平均値)から換算して雄花数を推定した。乾燥重量は、試料を秤量瓶に入れ、85℃の乾燥器(WFO-602S、東京理化器械、東京)で48時間乾燥した後に計量した。得られた雄花数は1 m²当

たりの個数に換算した。本研究では、目視調査にあわせて実施した2013年~2023年までの11年分のデータを用いた。

2.4 ダーラム式花粉計測器による花粉飛散量の算出

花粉飛散量のデータは、厚木市七沢のヒノキ林、横浜市金沢区、東京都千代田区および大田区において、2013年から2024年にダーラム式花粉計測器で計測されたものを用いた。ダーラム式の花粉計測では、ワセリンを塗布したスライドガラスをダーラム式花粉計測器(DK-1SA、西精機、千葉)に設置し、スライドガラスは毎日交換した。回収したスライドガラスは、カルベラ液を用いて1.8cm四方のカバーガラスをかけて封入し、染色されたヒノキ花粉を光学顕微鏡(Optiphot、ニコン、東京)により100倍で観察した。花粉数は1 cm³あたりの個数に換算して記録した。なお、東京都内2か所(千代田区および大田区)の花粉飛散量は、東京都保健医療局HP(東京都保健医療局 2024)が公開しているデータを使用した。あわせて、スギ花粉飛散量とヒノキ花粉飛散量の関係についても解析した。

2.5 花粉飛散前年夏の気象要因と雄花量指数及び花粉飛散量との関係

これまでスギ・ヒノキ花粉の合計花粉飛散量の予測に用いられてきた夏季の気象要因と、本研究で得られたヒノキの花粉飛散量(4地点:神奈川県厚木市と横浜市、東京都千代田区と大田区)および雄花量指数(海老名市)との関係を調べた。各調査地の気象データには、近接する観測地点の2012年夏から2023年夏までの12年分の気象庁アメダスデータ(気象庁 2024)を用いた(厚木市七沢および海老名については海老名、横浜市金沢区は横浜、東京都千代田区及び大田区は大手町)。雄花量指数には、神奈川県中央部の海老名市のアメダスデータを代表値として用いた。気象データは、6月から9月の各月の日照時間、降水量、平均気温に加え、2ヶ月間、3ヶ月間、4ヶ月間の合計値(平均気温は平均値)とした。

3 結果

3.1 目視による雄花量と雄花量指数の年次変動

12年間の調査結果について、6段階の基準で判定

した着花ランク別本数の頻度を図 2-3 に、雄花量指数の年次変動を図 2-4 に示した。図 2-3 に示すとおり、2017 年 12 月（2018 年飛散期）の調査結果ではランク A の個体の割合がもっとも多く、L 字型の頻度分布を示した。一方、他の年はランク B または C の頻度が高く、正規分布に近い形を示した。雄花量指数の年次変動（図 2-4）では、2017 年 12 月まで多い年と少ない年が交互に現れていたが、2017 年 12 月の調査において最高値の 80.8 を記録した後、翌 2018 年 12 月には最低値の 28.1 となった。その後は、平均値を下回る年が 4 年間続くなど、変動幅が小さくなる傾向が見られた。

3.2 雄花トラップから推定された雄花量による雄花量指数の精度検証

雄花トラップを設置した 9 調査地において、雄花トラップから推定された 1 m²あたりの雄花量と目視による雄花量指数との関係（11 年間のデータ）を図 2-5 に示す。雄花量指数はヒノキ林の林縁木を対象とした目視調査の結果に基づき、雄花トラップは林内にランダムに設置したものである。両者の相関係数は、単回帰で 0.80、対数回帰で 0.78 となり、いずれも有意な相関関係が認められた（ $p < 0.01$, $n = 99$, d. f. = 97）。

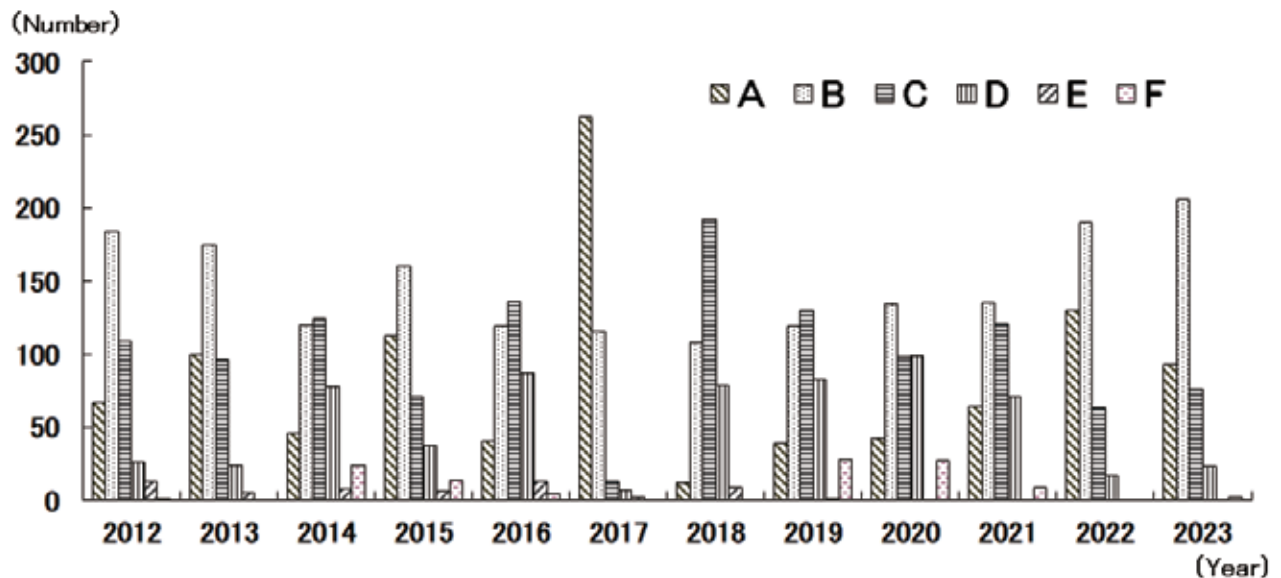


図 2-3 2012 年から 2023 年におけるヒノキ雄花着花ランク別本数
縦軸はランク別の調査本数を示す。

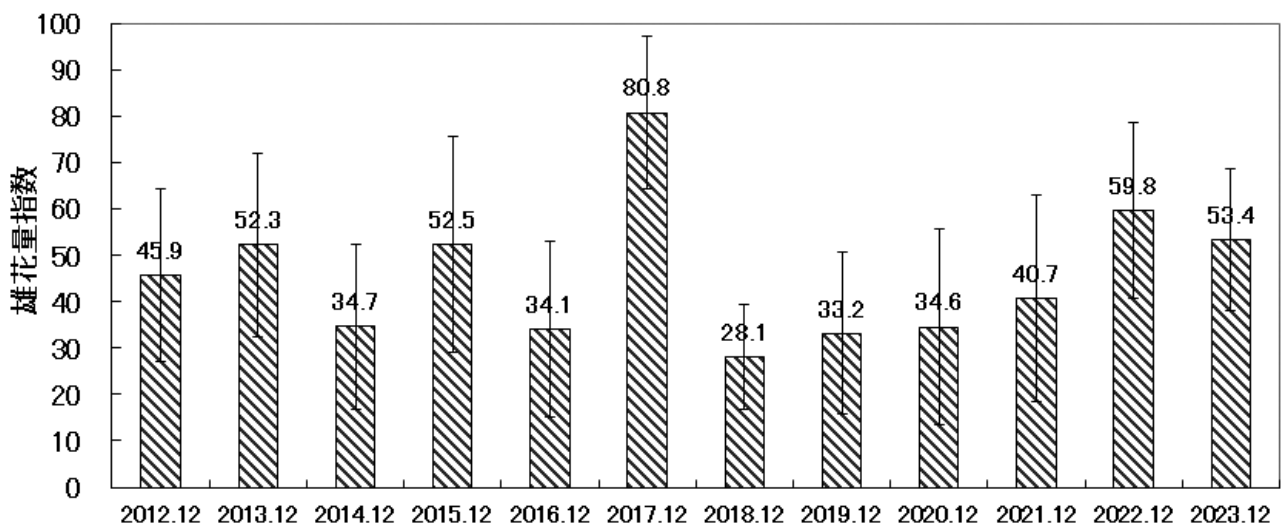


図 2-4 神奈川県内のヒノキ林における目視による雄花量指数の年次変動（2012-2023 年）
縦軸は目視による雄花量指数、バーは標準偏差を示す。

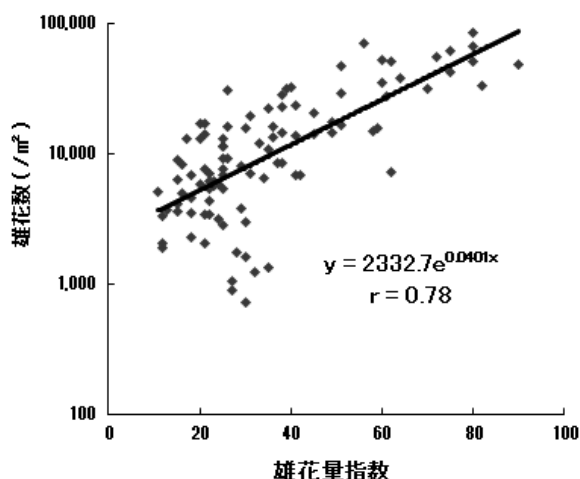


図 2-5 ヒノキにおける雄花量指数と雄花数の相関関係 (2013–2023 年)

縦軸は雄花数、横軸は目視による雄花着花量指数を示す。

3.3 ダーラム式花粉計測器から推定された花粉飛散量による雄花量指数の精度検証

40 か所の調査地で目視により評価した雄花量指数と、4 地点（神奈川県厚木市と横浜市、東京都千代田区と大田区）で測定した花粉飛散量との関係を図 2-6 に示した。指数回帰による相関係数は、厚木市で 0.91、横浜市で 0.94、大田区で 0.91、千代田区で 0.88 といずれも 0.85 を上回り、有意に高い相関が認められた（すべて $p < 0.001$, $n=12$, d. f. =10）。これにより、12 月に目視で評価した雄花量指数が翌春のヒノキ花粉飛散を予測する指標となりうることが示された。なお、ヒノキ花粉飛散量とスギ花粉飛散量の相関係数は 0.02 ~ 0.37 にとどまり、有意な相関関係は認められず、両者の花粉飛散には同調

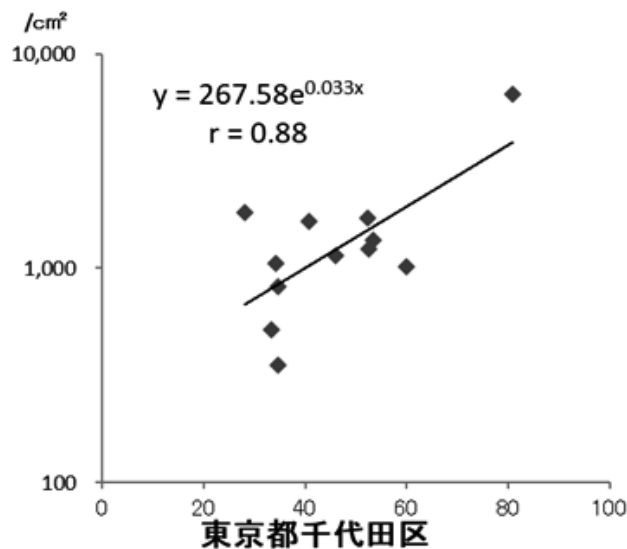
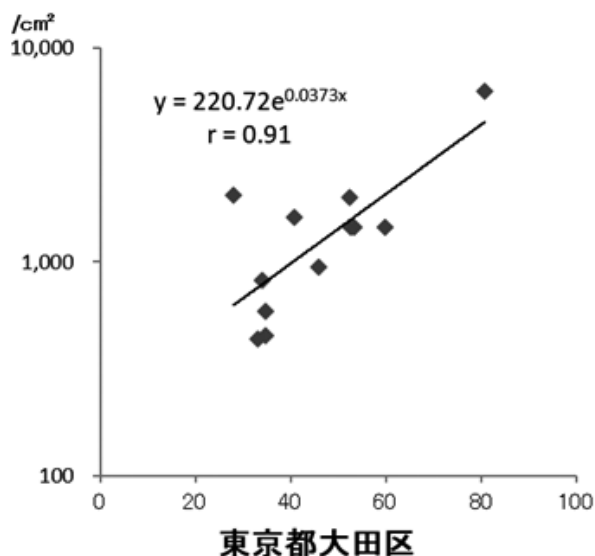
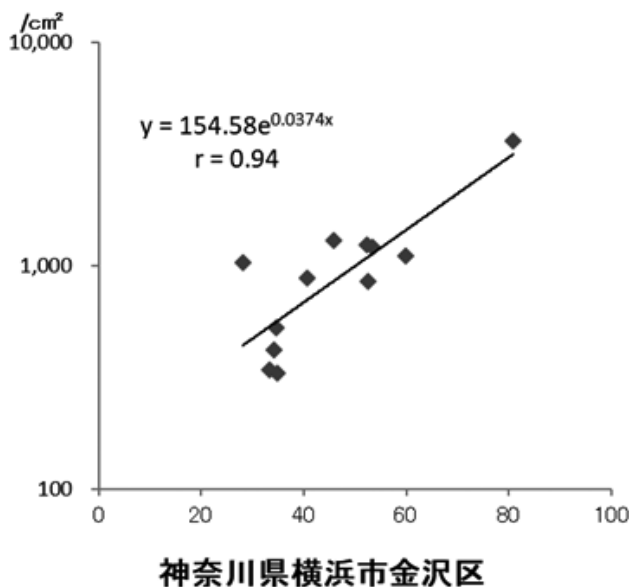
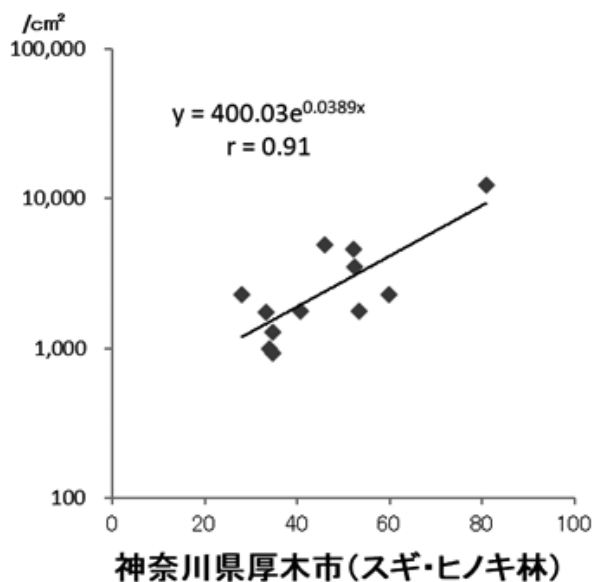


図 2-6 ヒノキ雄花量指数と神奈川県内及び東京都のヒノキ花粉飛散量の相関関係 (2013–2024 年)

縦軸は花粉飛散数、横軸は目視による雄花量指数を示す。

表 2-1 花粉飛散前年夏の気象要因と雄花量指数及び花粉飛散量との相関関係 (2012 ~ 2023 年)

気象要因	要因と花粉飛散計測地点	気象要因の測定月									
		6月	7月	8月	9月	6-7月	6-8月	7-8月	7-9月	8-9月	6-9月
日照時間	雄花量指数	0.10	0.36	-0.53	0.30	0.36	-0.05	-0.08	0.05	-0.23	0.08
	厚木市七沢	0.10	0.27	-0.41	0.18	0.28	-0.04	-0.07	0.01	-0.20	0.04
	横浜市金沢区	0.28	0.41	-0.48	-0.01	0.43	0.07	0.01	0.01	-0.36	0.06
	東京都千代田区	0.40	0.34	-0.65*	-0.02	0.40	-0.10	-0.19	-0.17	-0.53	-0.09
	東京都大田区	0.45	0.37	-0.64*	-0.02	0.43	-0.06	-0.16	-0.14	-0.52	-0.06
平均気温	雄花量指数	-0.11	0.47	-0.30	-0.06	0.35	0.16	0.23	0.12	-0.16	0.08
	厚木市七沢	-0.41	0.32	-0.36	-0.29	0.08	-0.09	0.07	-0.11	-0.35	-0.21
	横浜市金沢区	-0.21	0.47	-0.32	-0.12	0.28	0.09	0.21	0.07	-0.21	0.00
	東京都千代田区	-0.27	0.36	-0.49	-0.33	0.21	-0.07	0.01	-0.17	-0.43	-0.21
	東京都大田区	-0.23	0.42	-0.48	-0.34	0.27	-0.01	0.07	-0.13	-0.42	-0.17
降水量	雄花量指数	-0.26	-0.42	0.03	0.15	-0.61*	-0.49	-0.32	-0.21	0.12	-0.39
	厚木市七沢	-0.28	-0.39	-0.04	0.25	-0.59*	-0.51	-0.32	-0.17	0.15	-0.36
	横浜市金沢区	-0.35	-0.38	0.02	0.23	-0.67*	-0.54	-0.28	-0.09	0.21	-0.29
	東京都千代田区	-0.46	-0.39	0.05	-0.01	-0.61*	-0.34	-0.17	-0.14	0.03	-0.30
	東京都大田区	-0.54	-0.35	0.00	0.06	-0.62*	-0.39	-0.18	-0.11	0.04	-0.30

表中の値は、気象要因と花粉飛散量及び雄花量指数との相関係数を示す。

*:5%水準で有意な相関関係

性が認められなかった。

3.4 花粉飛散前年夏の気象要因と

雄花量指数及び花粉飛散量との関係

花粉飛散前年夏の気象要因と雄花量指数及び4地点での花粉飛散量との相関係数を表2-1に示した。日照時間については、8月のみ千代田区及び大田区の花粉飛散量と有意な負の相関が認められた。同月の他地点及び雄花量指数については有意ではないものの負の影響がみられた。平均気温については、いずれの項目でも有意な相関はみられなかったが、7月の平均気温は雄花量指数及び花粉飛散量に正の影響を与える傾向があり、6、8、9月の平均気温は負の影響を示した。降水量については、6月～7月の合計降水量と雄花量指数及び全地点の花粉飛散量との間に、負の有意な相関が認められた。

4 考察

ヒノキの花粉飛散総量の予測は、これまで主にスギと合わせた値として予測されており（岸川ら1988；環境省2009）、ヒノキ単独の解析事例は限られている（渡辺・鈴木2020）。これは、多くのスギ花粉症患者がヒノキ花粉症を併発するため（岸川1997；安枝2002）、両種の総花粉量を予測することで、スギ花粉症の発症リスクを把握できるという合理性に基づいていると考えられる。ただし、この

予測はスギ・ヒノキの花粉飛散が同調していることを前提としている。これまで長期調査では花粉飛散の同調性が報告されていたが（齋藤ら2017）、本研究で検討した直近12年間のデータでは有意な相関は認められなかった。この要因として、表2-1に示した花粉飛散量と夏季の気象要因との関係では、平均気温は7月のみが正の相関を示した一方、6、8、9月で負の相関を示した。また、日照時間についても8月はすべて負の相関が認められた。すなわち、これまで翌春の花粉飛散量と相関があるとされてきた暑い夏が必ずしも花粉飛散量の増加につながらず、むしろ、ヒノキでは一定以上の夏の高温は翌春の花粉飛散量を減少させる可能性が示唆された。さらに、着花の同調性に関しては、スギでは気温が平年を大きく下回るような冷夏の翌々春に大量飛散することが指摘されており（田中ら2005；倉本2021）、冷夏が豊凶変動をもたらしている可能性が考えられている。調査中（2012～2023年）、海老名において6～9月の平均気温が平年値（過去30年間の平均値）を下回ったのは2014年と2015年のわずかに2回のみであり、それらも平年比99%および98%にとどまり、実質的に冷夏はなかったと言える。結果として、猛暑による大量飛散の翌年には結実による雄花の減少がみられるものの（倉本2021）、冷夏がなく暑い夏が連年的に続いたことで豊凶のメリハリがなくなり（倉本2021）着花の同

調性が失われたと考えられる。実際、図 2-4 に示す雄花量指数の年次変動では、2018 年から 2021 年にかけて低い値で横ばいが続いていた。この結果は、これまで報告されてきた夏季の気象要因と花粉飛散量との関係が直近 12 年間では明瞭に認められなかった一因であると考えられる。また、スギについても単一の気象要因との相関では 0.7 前後にとどまり、回帰式も新しいデータを加えるたびに大きく変動することから、湯田ら (2002) が指摘するように、気象要因のみに基づく予測には限界があると考えられる。

目視による雄花量評価は、気象要因の影響を受けずに花粉飛散を予測できる点で、きわめて有効であると考えられる。スギでは、6 月から雄花の形成が始まり、夏には目視できるようになり、11 月には明確になって年内に花粉が形成される (橋詰 1973)。一方、ヒノキでも 6 月に雄花の形成が始まるが、花粉形成は飛散期直前であり (橋詰・岡田 1968)、雄花のサイズも小さいため観察が困難である (遠藤・明石 2003 ; 齋藤・明石 2004)。本研究では、年内に予測を行う必要性から 12 月に目視調査を実施した。この調査は、目視が容易な林縁木を対象とすることによって可能になった。調査の結果、12 月上旬には葉の先端の雄花が白く見えることから比較的観察が可能であるが (図 2-2)、12 月下旬にはやや灰色に変化し確認がやや困難になることが判明した。ただし、この色の変化は個体差が大きく、地域によっても異なる可能性があるため注意が必要である。さらに、この林縁木での目視による雄花量指数は、林内に設置した雄花トラップによる推定値と有意な相関を示した (図 2-5)。このことは、林分全体の雄花量と林縁木の雄花量の同調性が高いことを示している。目視調査によって推定された雄花量が林分全体の雄花量を精度よく指標したことにより、結果として、都市域における花粉飛散量とも強い相関が得られた (図 2-6) と考えられる。

雄花の目視調査手法としては、スギでは、個体全体を 4 段階の指数によって評価する手法 (横山・金指 2001)、4 方位別に 3 段階で評価する手法 (湯田ら 2002)、孤立木や林縁木を用いて 4 段階で評価する方法 (平ら 1997)、シラカバ等では、枝に着花した雄花数をカウントし、枝数を積算する方法 (八坂 2005 ; Yasaka et al. 2009) などが行われている。いずれの手法においても、雄花量や花粉飛散数との

検証が行われ、高い相関が得られている (横山・金指 2001 ; 湯田ら 2002 ; 八坂 2005)。孤立木や林縁木を用いた平ら (1997) の手法では、花粉飛散量と雄花量との相関が 0.71 と気象要因との相関よりもやや低く、豊作年での予測の変動幅が大きくなっており、連年的に着花しやすい孤立木等を用いたことが影響している可能性がある。シラカバで実施された八坂ら (2005) の手法は、雄花序を直接カウントする手法であり、確度は高いと考えられるが、雄花が小さく全数の確認が困難なヒノキでは適用が難しい。スギにおいて湯田ら (2002) が実施した手法は、単木の調査が可能な研究機関構内で実施されており、実際の林分で同様に 4 方向から観察するのは困難である。今回の手法は、ヒノキのように雄花の小さい樹種においても簡易に調査が可能な点で優れている。ただし、6 段階による雄花量評価には、雄花を識別できる経験が必要であり、調査者間で差が生じる可能性がある。本研究と並行して実施された千葉県での調査では、4 段階に簡素化した目視調査においてもヒノキ林の雄花量と有意な相関が得られている (福島 2023)。このことから、目視による雄花量調査は予測手法として有効であり、スギの調査法 (横山・金指 2001) と同様に段階評価の簡素化も可能であると考えられる。

本研究では着生した雄花量と花粉飛散量との間に有意な相関がみられた。しかし、花粉飛散量は、ヒノキでは飛散期の降雨による影響を受ける可能性が報告されている (小笠原ら 2000)。この報告では、48 時間の降雨試験によって花粉量が 80% 以上減少したことが指摘されている。また、シラカバ類においても飛散期の降雨が花粉飛散に影響することが報告されている (Yasaka et al. 2009)。神奈川県では、スギ花粉の飛散する 3 月よりもヒノキ花粉が多く飛散する 4 月の降水量が多いため (気象庁 2024)、ヒノキはスギよりも降雨の影響を強く受ける可能性がある。飛散期の気象要因による花粉飛散量の減少は、夏季の気象要因等の他の手法に基づく予測でも生じうるため、予測手法全般に共通する課題と言える。したがって、雄花量から精度の高い花粉飛散予測を行うためには、長期の気象予測の精度向上も不可欠である。

第3章 雄性不稔スギ実生苗生産のための 簡易な検定手法の開発と精度検証

1 はじめに

堀口・斎藤 (1964) により初めて報告されたスギ花粉症は、自然治癒の難しいアレルギー疾患であり、大きな社会問題となっている。東京都の調査では、有症率が 1983～87 年の 10.0% から 2016 年には 48.8% に達している (東京都 2017)。その根本的な対策の一つとして林木育種による花粉飛散量の軽減策が進められている (斎藤 2010; 齋藤 2012)。神奈川県では、県内選抜の精英樹の中から雄花着花量の少ないスギを選抜し (齋藤・明石 1998)、全国で初めてとなる花粉症対策品種のみによる採種園を造成し、種子生産を開始した (齋藤 2012)。しかし、これらの雄花着花量の少ないスギは相対的な花粉量は少ないが、成長に伴い将来的には一定量の花粉が飛散することになる。

一方、1992 年に富山県において、雄花は着生するものの、花粉を飛散しない雄性不稔スギが初めて発見された (平ら 1993)。その後各地で雄性不稔スギの探索が行われ、複数の雄性不稔スギが発見・選抜されている (平 2004; 五十嵐ら 2004; 斎藤ら 2005; 高橋ら 2005; 吉井・平 2007; 三浦ら 2011)。神奈川県においても、2004 年に花粉症対策品種として選抜した精英樹中 4 号の実生家系から雄性不稔スギが選抜された (齋藤 2006)。この雄性不稔スギは、富山不稔 1 号と同じ雄性不稔遺伝子 (*MALE STERILITY1* (*MS1*)) により雄性不稔が発現することが明らかになっており (藤澤ら 2007; 斎藤 2009b)、その遺伝様式はメンデルの法則に従う劣性遺伝 (あるいは潜性遺伝) である (Taira et al. 1999)。

雄性不稔スギの苗木生産方法には、実生 (種子) とさし木がある。さし木ではクローンであるため全て雄性不稔となるが、遺伝的多様性が低下し、生育期間の長い林木では気象害や病虫害等の被害を受けるリスクが高まる懸念がある (大庭・勝田 1991; 斎藤 2015)。また、さし木による普及には、相当数の採穂木の育成が必要であり、短期間に大量の苗木を生産することは困難である。一方、実生では、雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で持つスギの花粉を、雄性不稔スギ (雄性不稔遺伝子をホモ接合型で持つスギ) に人工交配して種子を得る。この方法では人

工交配や閉鎖系施設内での交配が必要となるものの、スギでは球果 1 個あたりに含まれる種子数がおよそ 63～117 粒と多いため (萩行ら 1970)、早期に大量の種子を確保することが可能であり、さし木のための資材や発根促進等の処理も不要である。九州以外の地域では実生苗が好まれる傾向にある (斎藤 2015)。神奈川県では、ガラス温室を閉鎖系採種園 (斎藤・平 2006; 斎藤 2009a) として、その室内に配置した雄性不稔スギに雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で持つスギの花粉を交配することで、雄性不稔スギの種子を生産し、それを用いて苗木を育成してきた (齋藤 2012)。これらの苗木は、雄性不稔と可稔個体が理論上 1:1 に分離することから、簡易検定手法を開発して雄性不稔の苗木を選別し (斎藤ら 2010a; 齋藤 2012)、普及させている。

本研究では、まず、簡易検定で雄性不稔と判定された苗を対象に出荷前に実体顕微鏡で雄性不稔の再確認を行った。雄花が未熟な場合には誤判定する可能性があることから (本間ら 2006)、一般的に、雄性不稔個体の選抜では、複数回の確認が行われている (斎藤ら 2005; 吉井・平 2007; 三浦ら 2011)。そのため、簡易検定後に実体顕微鏡で雄性不稔であることを再確認した苗について、1 年後と 5 年後に顕微鏡 (実体顕微鏡あるいは光学顕微鏡) を用いて再確認を行い、最終的にこれらの結果に基づいて簡易検定法の精度を評価した。また、検定作業は冬期の長時間の作業となることから、生産の拡大に向けて検定手法の作業性の改善についても検討したので併せて報告する。

2 材料と方法

2.1 雄性不稔スギの苗木を生産するための交配と育苗

本研究では、2004 年に神奈川県で発見された雄性不稔スギ「田原 1 号」(別名「神奈川不稔 1 号」、齋藤 2006; 斎藤 2009b) と雄性不稔遺伝子をヘテロで保有している精英樹 (中 4 号、片浦 6 号、大井 7 号) との人工交配により作出・選抜した雄性不稔スギを母樹として用いた。これらはいずれも富山不稔 1 号と同じ雄性不稔遺伝子 (*MS1*) により、花粉四分子期までに粒子同士が付着し花粉粒が形成されず雄性不稔となる (Saito et al. 1998; 斎藤 2009b)。使用した雄性不稔クローンは年次により異なるが、合計 7 クローン (1 年あたり 1～7 クローン)

を用いた。花粉親には、富山不稔1号に神奈川県産の複数の少花粉スギ（精英樹）を交配した F1 個体（雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で持つ個体）の中から、母樹として用いた雄性不稔個体との間に血縁関係ないものを選んで使用した。花粉親として用いた家系統は年次により異なるが、合計で5家系（1年あたり2～5家系）であった。種子は、2007年1月より自然環境保全センター所内（神奈川県厚木市七沢）にある閉鎖したガラス温室内に造成した閉鎖系採種園（斎藤・平；2006、斎藤；2012）と、野外に植栽された雄性不稔スギを母樹とした人工交配により生産した。これらの交配から得られる種子における期待される雄性不稔個体の出現率はどちらも1/2である。さらに2014～2015年には、可能な限り多くの雄性不稔苗木を確保するため、雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型で持つ個体同士の交配による種子（期待される雄性不稔個体の出現率は1/4）も併用した。生産した種子は、2008～2017年春に神奈川県山林種苗協同組合に所属する2～3軒の苗木生産者（表3-1及び附表、横浜市、秦野市、小田原市、南足柄市）の苗畑（露地）に播種し、翌春に苗畑に床替えを行った。2017年春の床替え（2018年検定分）以降については、露地播種後、翌春に258mlの生分解性不織布ポット（商品名：ビオポットZacH50-300BB、グリーンサポート社、大阪）を用いたコンテナに移植した（以下、コンテナ苗と表記）。育苗した苗木はいずれも、床替え後の7月上旬に50ppmのジベレリン水溶液（以下、GA₃と表記）を葉面散布し、着花促進を行った。

2.2 雄性不稔苗木を選別するための簡易検定手法と出荷前に実施した雄性不稔性の再確認

神奈川県内では、通常、スギは播種後2年間育苗し、2年目の3月には出荷が開始されるため、雄性不稔の苗木は雄花開花前の2月までに選別する必要がある。そこで本研究では、春に播種して1年後（2年目春）に床替えを行い、7月上旬にGA₃（50ppm）を散布して着花促進した苗木を用いた試行の結果、以下の雄性不稔スギを選別する簡易検定手法を考案した。

①雄花の採取

2年目の1月末～2月中旬に、苗木に着生した雄花を採取し、小型のチャック付きポリエチレン袋（55mm×40mm×0.04mm、ユニパックS-4、生産日本社、東京）に複数個入れる。

②雄花の押し潰し

袋の上から雄花をペンチ（図3-1）で潰す。

③花粉粒の確認

潰した雄花を目視または20～30倍のルーペで確認し、花粉粒が確認されれば可稔個体、確認されなければ雄性不稔個体と判定する（図3-1）。採取する雄花は、できるだけ大きいものを選び、潰して花粉囊が不鮮明なものは着花無しと判断した。

④記録

結果を苗木にラベリングし、野帳にも記載する。

この簡易検定作業は、2010～2017年にわたって苗木生産者が生産した苗木の全量（43,731本）を対象に、経験者と未経験者を混在させた3～4人程度の班を編成して実施した。各班は、①雄花の採取、②雄花の押し潰し、③花粉粒の確認、④結果の



図3-1 チャック付き袋内でつぶした雄花（左：雄性不稔、中：可稔）と検定に使用するペンチ（右）

ラベリングと野帳への記録、を分担して行った。検定は、神奈川県自然環境保全センター職員、神奈川県山林種苗協同組合職員及び苗木生産者の他、神奈川県の林業普及指導事業の一環として実施した職員研修の参加者によって行われた。

雄性不稔と判定した個体は、苗木と雄花を潰したチェック付き袋をナンバリングした上で、袋のままサンプルを室内の実体顕微鏡（VMT 1x 2x、オリンパス、東京）で観察し、花粉の有無を再確認した。この観察の段階で可稔と判定された個体は誤判定とし、誤判定率を算出した。

2.3 簡易検定手法の作業性の改善の検討

先述の簡易検定法は、1 本ごとに判定を行うため一定の時間と労力を要し、真冬の屋外作業であることから作業性の改善が課題であった。そこで、検定苗木を、苗畑で育成された裸苗から、分離可能な生分解性ポットで育成されたコンテナ苗へと変更した。次に、簡易検定法のステップ③の雄花の観察では、ルーペによる観察に代えて、野外で使用できる携帯型実体顕微鏡（倍率 20 倍、ファールミニ、ニコン、東京；図 3-2）を用いた観察に変更した。また、ステップ④のラベリングでは、個体ごとのラベリングと野帳記入を省略し、判定結果別にコンテナ苗をトレイに仕分けることにより、記録作業の効率化を図った。さらに、2018 年には、検定効率を高めるため、雄花の割れ目から花粉嚢が確認でき、目視で可稔と判定できる個体については、雄花を袋に入れて潰さずに判定した（図 3-3）。この改良簡易検定作業は、2018 ～ 2019 年 に苗木生産者が生

産した苗木の全量（27,020 本）について、先述の従来の簡易検定と同様のメンバーで実施した。また、改良法で雄性不稔と判定された苗についても、従来法と同様に再確認を行った。

従来の方法で検定した 2012 ～ 15 年までの作業効率と、コンテナ苗として育成し、簡易実体顕微鏡を雄花の観察に用いた 2018 年の作業効率を比較した。2 ～ 5 人の作業班ごとに作業時間を調査し、1 人当たり 1 時間で処理できる検定本数を算出した。

2.4 簡易検定の 1 年後と 5 年後に実施した雄性不稔性の再確認

2018 年に改良簡易検定で雄性不稔と判定され、実体顕微鏡で再確認された苗のうち、神奈川県自然環境保全センター苗畑に据え置いた 197 本を対象に、翌年に再確認を行った。2018 年 7 月上旬に 50ppm の GA₃ を葉面散布して着花促進した。2019 年 3 月に花粉の飛散の有無を確認した後、雄花を採取し、チャック付き袋内で潰して全試料を実体顕微鏡で観察し、雄性不稔の判定を行った。

同様に、簡易検定後に実体顕微鏡で雄性不稔と再確認された苗のうち、2013 年に神奈川県南足柄市の神奈川県立 21 世紀の森に設定された「成長の森」に植栽され、2018 年 3 月に雄花が自然着花した 156 本を対象に再確認を行った。再確認では、まず花粉飛散期に雄花をたたき、花粉飛散の有無を確認した。その後、雄花を採取し、押しつぶし法によりスライドガラス上で雄花を潰し、光学顕微鏡（Optiphot、ニコン、東京）で観察し、花粉の有無を確認した。あわせて、樹高および胸高直径の測定も行った。



図 3-2 裸苗での従来法（左）と生分解ポットによるコンテナ苗を利用した改善法（右）の作業状況

3 結果

3.1 雄性不稔スギの簡易検定法と雄性不稔性の再確認

10年間にわたる雄性不稔実生苗の簡易検定の結果を表3-1に、生産者別の結果を附表に示す。2018年以降はコンテナ苗を用い、改良法によって検定を

実施した。これまでに合計70,751本の検定を行い、23,485本の雄性不稔スギを生産した。この個体数には、発芽後2年目には着花せずに、3年生で再度検定を行った個体も含まれる(表3-1)。発芽後1年半の時点でGA₃処理により着花促進を行ったところ、雄花が着花しなかった個体の割合は9.3%であ



図3-3 改良法による雄性不稔スギ判定のフローチャート

り、9割以上の個体が検定可能であった。雄花をチャック付き袋内でつぶして観察した際に不稔と判定したものの、その後の実体顕微鏡による再確認で誤判定となった個体は10年間で250本であり、雄性不稔個体全体に対する割合は1.1%であった。年次および検定方法（従来法と改良法）を要因、年次ごとの雄性不稔個体数および誤判定個体数を従属変数とした2元配置分散分析の結果、誤判定率は有意に低く（ $p < 0.01$ ）、年次間に有意差は認められなかった。ただし、初心者の多い研修時や悪天時には誤判定が多くなることがあった。

改良型簡易検定の1年後に再確認を行った197個体のうち、雄性不稔個体は195個体、花粉が確認された個体は2個体であり、誤判定率は1.0%であった。一方、簡易検定（従来法）の5年後に再確認を行った156個体のうち、雄性不稔個体は153個体、可稔個体は3個体で、誤判定率は1.9%であった。これらの樹高と胸高直径の平均値はそれぞれ4.4 m（標準偏差0.75）と4.7 cm（標準偏差1.28）であった。改良型簡易検定の1年後の再確認では、供試個体の誤判定率は0.9%（2018年）であり（表3-1）、

検定精度は 0.991×0.99 により検定精度は98.1%と算出された。簡易検定の5年後の再確認では、供試個体の誤判定率は0.5%（2013年）であり（表3-1）、検定精度は 0.995×0.981 により97.6%と算出された。これらの結果から、いずれも有意水準を上回る高い精度であったことが明らかになった。

3.2 簡易検定手法の作業性の改善の検討

従来の方法により苗畑で裸苗を検定した4年間と、生分解性コンテナで育成した苗木を簡易実体顕微鏡で観察した2018年の改良型簡易検定の検定効率を比較した結果を表3-1の第13列に示した。1人当たり1時間当たりの検定効率は、裸苗では4年間で37.8本/人/hであったが、コンテナ苗での検定効率は46.7本/人/hと高い値を示した。従来法では真冬の屋外での立ったまま作業を行う必要があったが、改善法ではビニールハウス内で着席した状態で作業が可能となり（図3-2）、作業性が大幅に向上した。その比較結果を表3-2に示す。改善法では、コンテナ苗生産に灌水施設やビニールハウス等の施設が必要となるが、検定作業の効率は大きく

表3-1 2010年から2019年に実施した雄性不稔スギ簡易検定の結果

検定年	生産者数(軒)	苗の形態	調査本数(本)	内3年生(本)	雄性不稔(本)	可稔(本)	着花無(本)	雄性不稔出現率(%)	雄性不稔出現期待値	誤判定(本)	誤判定率(%)	検定効率(本/人/h)
2010	2	裸苗	2,815		683	2,079	53	24.7	0.5	17	2.4	
2011	3	裸苗	2,071	10	447	1,070	554	29.5	0.5	3	0.7	
2012	3	裸苗	983	311	269	585	129	31.5	0.5	3	1.1	38.0
2013	2	裸苗	4,344		1,419	2,516	409	36.1	0.5	7	0.5	36.0
2014	3	裸苗	7,314		1,038	5,994	282	14.8	0.25・0.5	9	0.9	39.0
2015	3	裸苗	1,982	125	610	1,178	194	34.1	0.25・0.5	0	0.0	38.0
2016	3	裸苗	11,798		4,761	5,325	1,712	47.2	0.5	32	0.7	
2017	3	裸苗	12,424	376	3,387	8,103	934	29.5	0.5	95	2.7	
2018	3	コンテナ苗	14,934		5,614	7,828	1,492	41.8	0.5	49	0.9	46.7
2019	3	コンテナ苗	12,086		5,257	6,009	820	46.7	0.5	35	0.7	
合計			70,751	822	23,485	40,687	6,579	36.6		250	1.1	

注1) 誤判定の評価は、簡易検定で雄性不稔と判定された苗を対象に実体顕微鏡での観察で行った。

誤判定率は簡易検定で雄性不稔と判定された苗数に対する誤判定であった苗数の割合。

注2) 2018～19年は一部裸苗を含む

表3-2 雄性不稔スギ簡易検定の従来法と改善法の行程内容の比較

項目	従来法	改善法	改善法のメリット
検定場所	苗畑	ビニールハウス	悪天候でも作業可
苗木	裸苗	生分解性コンテナ苗	検定と同時に仕分けが可能
班の標準人数	3～4人	2～3人	改善法は2人でも実施可能で作業効率が高い
観察方法	ルーペ	簡易実体顕微鏡	視野率が高く判定が容易で確実
検定後のラベリング	3つの区分ごとに毎木にラベル	ラベル付いたコンテナに仕分け	苗木の毎木ラベルが不要
検定後の記帳	毎木を記帳	雄性不稔レイのみ記帳	必要最低限の記帳のみでよい
作業の姿勢	野外で起立、中腰	ハウス内で全員着席	着席して実施可能
開花の促進	不可	ハウスでの開花促進可能	ビニールハウスでの処理による
目視による判定	(実施無し)	一部実施(花粉飛散確認)	開花促進により判定できる個体数が多くなる
人・時間当たり作業本数	37.8本/人/h	46.7本/人/h	
全体の比較	苗木生産の施設等は不要であるが、検定作業は作業性が劣る	コンテナ苗の苗木生産施設が必要であるが、検定作業用の作業性は高い	

改善された。また、改良型簡易検定では検定効率をさらに高めるため、一部の苗については袋詰めを行わず、目視による検定を試みた(図3-3)。その結果、改良法による誤判定率は0.8%であった。雄性不稔個体数と誤判定個体数を従属変数、検定方法(従来法と改良法)を要因とした2元配置分散分析の結果、改良法の誤判定率は従来法に比べて有意に低いことが示された($p<0.05$)。

4 考察

4.1 雄性不稔スギの生産と検定手法

雄性不稔の判定には、雄花の着生が必須である。50ppmの GA_3 の散布による着花促進処理により、10年間にわたる調査で、雄花が着花した苗の割合は90.7%であった(表3-1、調査本数および着花しなかった本数より算出)。この結果から、1年生の苗木でも多くの個体で雄花の着花が可能であることが明らかになり、 GA_3 処理による葉害や徒長の影響はほとんど認められなかった。橋詰(1959)は、1年生苗を用いた試験において、 GA_3 による葉害は100ppm以上で生じることを報告しており、本研究で使用した50ppmという低い処理濃度が葉害を回避できた要因と考えられる。一方、10年間の検定における雄性不稔の出現率は36.6%で、期待値の50%を下回った。この原因は、誤植や人工交配時の誤りであると考えられる。

簡易検定で雄性不稔と判定された苗の再検定の結果、誤判定は1.0~2.4%にとどまり、有意に少なかったことから、十分な検定精度が確保されていると考えられた。誤判定の主な原因としては、雄花における花粉形成の時期のずれが考えられる。橋詰(1962)は、通常雄花では11月までに花粉が形成される一方、 GA_3 による雄花の分化期間は約80日間と長期にわたること、また10月の GA_3 処理では、年内の花芽形成が雄しべ形成期あるいは造胞組織分化期で停止(休眠)し、翌年2月中旬から3月中旬に花粉が形成された例があることを報告している。このことは、 GA_3 処理時期や調査地の違いにより、分化が不十分な雄花で検定を行うと、可稔個体を雄性不稔と誤判断される可能性を示唆している。本間ら(2006)は、一つの鉢に5本以上のスギ実生苗を植栽し、それらの当年生苗に GA_3 処理を行って雄性不稔の判定を実施した後、翌年に再判定を行ったところ、判定結果が変わることがあったことを報告して

いる。これらの結果は、当年生苗や十分に発達していない雄花では誤判定の危険性があることを示唆する。今回の苗木生産では、2年目で検定しており、樹齢が本間らの事例より1年大きいこと、また苗畑・生分解性コンテナいずれにおいても単木で生育して一定の日照条件が確保されていたことから、未熟な雄花が少なく、誤判定はほとんど見られなかったと考えられる。また、葉腋に形態的に葉芽に近い長さ2~3mm程度の未熟な雄花もみられたが、花粉嚢が不鮮明なものは着花無と判断したことも(図3-3)、誤判定がわずかであった理由であると考えられる。

4.2 雄性不稔スギの検定作業の作業性の改善

簡易的な検定法の普及にあたっては、誰でも容易に実施できる方法であることが求められる。この検定作業は、袋に雄花を入れて潰すだけであり(図3-1、図3-3)、習得は容易である。裸苗で実施していた従来法では、真冬の屋外での直立あるいは中腰の姿勢で作業する必要があったが、生分解性コンテナ苗と簡易実体顕微鏡を組み合わせた方法に改良することで、ビニールハウスの屋内で全員着席のままの作業が可能となり、1年のみの結果ではあるが、作業性が向上したことが確認されている(図3-2、表3-2)。さらに、検定後に可稔または不稔の個体をトレイごとに分別することで、ラベリング作業を大幅に省略でき、2人でも作業可能であった。改良法は従来法に比べて有意に誤判定が少なく、精度改善の効果も確認された。現在、神奈川県ではさらに効率を高めるため、雄花の開花を促進して、見た目での判定可能な個体の割合を増やす方法を検討している(図3-3)。植栽時期の遅い富山県では、実体顕微鏡等による観察は行わず、花粉飛散期に雄花をたたいて花粉飛散の有無で判定する方法が用いられている(斎藤、2018)。開花促進が可能になれば、このような方法による判定も可能となる。実際に2019年には、一部の苗木を花粉飛散前にビニールハウス内に搬入し加温処理を試行したところ、一部の苗木では雄花が開花し、また開花しなかった雄花も花粉嚢が膨らみ、見た目でも可稔と判定できる個体が増加した。この処理により、潰した雄花の判定も容易になり、効率的な検定が可能になることが示された。

今回の結果から、雄性不稔スギの生産のために実施した簡易検定法は98%の精度を確保しており、1

回の検定で確実な雄性不稔スギ実生苗の生産に貢献できることが明らかになった。神奈川県では、今後10年間で雄性不稔スギの生産本数を15,000本に引き上げることを目標にしており（神奈川県a 2018）、今後の生産量の増大に向けてさらなる作業効率の向上に取り組むことで、雄性不稔スギの安定的な供給が可能になると考えられる。

第4章 ヒノキ両性不稔個体の発見と実用化

1. はじめに

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) は、日本の固有種であり、古くから木材として利用され、広く造林されてきた（佐藤 1971；平井 1996；有岡 2011）。スギ花粉症が社会問題と

なって久しいが、昨今のDNA解析で推定された系統関係を反映するように作られたAPG体系では、ヒノキはスギ (*Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don) と同じヒノキ科に分類される（大場 2009；河原 2014）。ヒノキ花粉の主要なアレルゲンは、スギと共通抗原性を持ち（信太ら 1983；井手ら 1991）、スギ花粉症患者がヒノキ花粉でも症状を発症することから、スギと同様の花粉症対策が必要とされる。このため林業分野では、ヒノキについても品種改良による花粉飛散量の軽減対策が検討されてきた（遠藤・明石 2000）。神奈川県では、全国に先駆けて2004年に県内産精英樹の中から雄花着生量の少ないヒノキを選抜し（齋藤・明石 2004）、同年から苗木の普及を開始した（齋藤 2012）。林野庁でも同様の対策として少花粉品種が選抜され（河崎

附表 年次及び生産者別の簡易検定による雄性不稔スギの検定結果

検定年	生産者	苗の形態	調査本数 (本)	内3年生 (本)	雄性不稔 (本)	可稔 (本)	着花無 (本)	雄性不稔 出現率(%)	雄性不稔出 現期待値	誤判定 (本)	誤判定率 (%)
2010	A	裸苗	2,466		604	1,813	49	25.0	0.5	16	2.6
2010	C	裸苗	349		79	266	4	22.9	0.5	1	1.3
2011	A	裸苗	857	10	222	603	32	26.9	0.5	2	0.9
2011	B	裸苗	160		50	102	8	32.9	0.5	0	0.0
2011	C	裸苗	1,054		175	365	514	32.4	0.5	1	0.6
2012	A	裸苗	802	311	242	536	24	31.1	0.5	3	1.2
2012	B	裸苗	171		26	40	105	39.4	0.5	0	0.0
2012	C	裸苗	10		1	9	0	10.0	0.5	0	0.0
2013	A	裸苗	3,381		1,135	2,115	131	34.9	0.5	7	0.6
2013	C	裸苗	963		284	401	278	41.5	0.5	0	0.0
2014	A	裸苗	3,733		510	3,206	17	13.7	0.25・0.5	0	0.0
2014	B	裸苗	619		119	415	85	22.3	0.5	2	1.7
2014	D	裸苗	2,962		409	2,373	180	14.7	0.25	7	1.7
2015	A	裸苗	1,410		534	766	110	41.1	0.5	0	0.0
2015	B	裸苗	176	84	17	84	75	16.8	0.5	0	0.0
2015	D	裸苗	396	41	59	328	9	15.2	0.25	0	0.0
2016	A	裸苗	5,782		2,569	2,845	368	47.5	0.5	14	0.5
2016	B	裸苗	3,647		1,168	1,340	1,139	46.6	0.5	13	1.1
2016	D	裸苗	2,369		1,024	1,140	205	47.3	0.5	5	0.5
2017	A	裸苗	5,643	376	1,539	3,765	339	29.0	0.5	18	1.2
2017	B	裸苗	4,142		1,206	2,694	242	30.9	0.5	3	0.2
2017	D	裸苗	2,639		642	1,644	353	28.1	0.5	74	10.3
2018	A	コンテナ苗	8,544		3,221	4,652	671	40.9	0.5	35	1.1
2018	B	コンテナ苗	1,436		572	826	38	40.9	0.5	4	0.7
2018	B	裸苗	483		188	246	49	43.3	0.5	0	0.0
2018	D	コンテナ苗	2,328		950	1,178	200	44.6	0.5	4	0.4
2018	D	裸苗	2,143		683	926	534	42.4	0.5	6	0.9
2019	A	コンテナ苗	6,859		2,858	3,429	572	45.5	0.5	23	0.8
2019	D	コンテナ苗	2,286		1,040	1,074	172	49.2	0.5	5	0.5
2019	E	コンテナ苗	2,799		1,286	1,443	70	47.1	0.5	7	0.5
2019	E	裸苗	142		73	63	6	53.7	0.5	0	0.0
合計			70,751	822	23,485	40,687	6,579	36.6		250	1.1

注1) 誤判定の評価は、簡易検定で雄性不稔と判定された苗を対象に実体顕微鏡での観察で行った。

誤判定率は簡易検定で雄性不稔と判定された苗数に対する誤判定であった苗数の割合。

注2) 生産者欄のアルファベットは生産者別に記載

ら 2008)、全国的に普及が進んでいる。しかし、平 (2005) がスギで指摘しているように、花粉の少ない品種 (少花粉品種) は成長に伴って予想以上に花粉を飛散するようになる可能性があることから、雄性不稔個体の利用が、最も理想的な花粉症対策と考えられる。

雄性不稔個体は、イネやトマトなど、多くの植物で発見されており、品種改良や F1 品種の種子生産に活用されている (藤巻ら 1985 ; 田丸 1991)。スギでは、1992 年に富山県で初めて発見され (平ら 1993)、現在までに約 20 個体が選抜されている (平 2004 ; 五十嵐ら 2004 ; 斎藤ら 2005 ; 高橋ら 2005 ; 吉井ら 2007)。神奈川県と富山県では、雄性不稔スギの苗木の出荷が行われている (斎藤 2012 ; 斎藤ら 2014)。一方、スギと近縁であるヒノキでも雄性不稔個体の選抜が期待されるが、これまで報告はなかった (斎藤 2012)。本研究では、神奈川県のヒノキ林を網羅的に探索した結果、雄花及び雌花が着花するものの、花粉を飛散せず種子も生産しない両性不稔個体を発見した。今回両性不稔であることを確認するとともに、雄性不稔の発現の要因について検討を行った。また両性不稔であるため、普及する場合は、無性繁殖となることから、さし木による増殖試験を実施したのであわせて報告する。

2. 材料及び方法

2.1 ヒノキ雄性不稔個体の選抜と雄性不稔性の発現過程の顕微鏡観察

雄性不稔個体の探索調査は、神奈川県内のヒノキ林で実施した。調査個体は、2011 年春に湘南、足柄上、西湘地区を中心に 2,867 本、2012 年春に湘南、県央地区を中心に 1,207 本の計 4,074 本である。4 月上旬の雄花の開花期に、雄花の着いた樹冠を直接または高枝バサミ (高さ 3 ~ 4 m) で叩き、花粉の飛散の有無を調査した。花粉が飛散しなかった個体は、その場で雄花を採取し、小型のビニール袋内で雄花をつぶしてルーペ (20 ~ 30 倍) により花粉の有無を確認した。現地で判定できない個体については、雄花を持ち帰り、押しつぶし法によりスライドガラス上で潰した雄花をカルベラ液で封入・染色し、光学顕微鏡 (Optiphot、ニコン、東京) で観察して雄性不稔が疑われる個体を選抜した。なお、カルベラ染色は花粉外壁を染色するため、その染色の有無は花粉外壁形成に問題が生じる不稔個体の選抜に有

効と考えられる。

選抜した個体の雄性不稔性を再確認するため、開花前の雄花が 100 個以上着花した 50cm 程度の枝を選抜個体の原木から採取し、スギ・ヒノキで一般的な花粉採取法である水差し法 (倉本ら 2013 ; 倉本ら 2014) で花粉飛散を確かめた。雄花が着花した枝は、2012 年に 4 枝、2013 年に 5 枝を採取し、グリシン紙の袋をかけて口元に綿をかませて封じたうえで水差しし、通常の花粉飛散が終了する 5 月中旬まで日当たりの良い室内に静置した。その後、袋内の花粉の有無を観察するとともに、押しつぶし法により花粉囊の内容物を光学顕微鏡で観察した。また、雄花及び花粉囊の断面を走査型電子顕微鏡 (JAM-6010LA、日本電子、東京) で観察した。走査型電子顕微鏡での観察では、採取した雄花を一度 70% エタノール中で保存した後、自然乾燥させ、白金を蒸着して高真空下で観察した。これらの調査は、2012 から 2013 年の 2 カ年にわたり実施した。

雄性不稔の発現過程を明らかにするため、開花前の雄花を採取し、花粉囊の発達過程を調べた。調査では、2012 年 4 月につぎ木で増殖した 9 本の選抜個体と正常個体に着生した雄花を、2016 年 3 月 16 日から 4 月 13 日まで 5 ~ 7 日おきに採取した。採取した雄花はスライドガラス上で押しつぶし法により潰し、カルベラ液で封入・染色した後、花粉囊の内容物を光学顕微鏡で観察した。

2.2 雌性の稔性調査

種子の稔性を確認するため、選抜個体の原木で自然交配により得られた球果を採取し、種子の形成の有無を調べた。2012 年および 2013 年の 10 月中旬に、開く前の球果を一般的なヒノキ種子採取法 (佐藤 1973) に従って採取し、大きさや重量を計測して正常個体と比較した。その後、球果を自然乾燥させ、種子の形成の有無を確認した。調査に用いた球果の数は、2012 年は選抜個体が 8 個、正常個体が 10 個、2013 年は選抜個体が 33 個、正常個体が 40 個であった。また、2012 年春と 2013 年春にさし木で増殖した個体が 2015 年と 2016 年に結実したことから、これらの個体についても種子の形成の有無を調べた。さらに種子の稔性を確認するため、発芽率調査を実施した。正常個体は、開裂前の球果を採取して開裂させ、種子を得た。一方、選抜個体は自然に種子が分離しないため、開裂後の球果を分解し、球果に付

着している種子をピンセットで取り外して供した。発芽試験は、水を浸した濾紙に種子 100 粒を置床し、23℃に設定したインキュベータ内で 22 日間実施した。処理は選抜個体、正常個体とも 4 回繰り返し、その平均値を発芽率とした。

2.3 さし木による活着率とさし木個体の雄性不稔性の確認

選抜個体のさし木による増殖の可能性を検討するため、2012 年春と 2013 年春にさし木増殖試験を行い、発根率を調べた。さし穂は選抜個体原木から 2 年間で 94 本を採取し、用土には赤玉土細粒を用いた。さし穂の発根促進のため、インドール酪酸（商品名：オキシベロン）100ppm に 24 時間浸漬した。さし穂には、1 年生枝と 2 年生枝を用いた。

また、2012 年及び 2013 年にさしつけた個体がいずれも翌年に雄花を着花したことから、花粉飛散の有無を確認した。その後、2016 年まで毎年雄花が着花したため、継続して観察を行った。

2.4 染色体数の調査

3 倍体等の染色体数の異常の有無を確認するため、2015 年及び 2016 年に実施したさし木個体を用い、各年に染色体数の調査を実施した。実験は石川ら（1998）に従い、一部処理時間を延長して実施した。さし木個体の根端を採取し、5℃の低温下で

0.008 M の 8- オキシキノリン水溶液に 24 ～ 48 時間浸漬して前処理を行った。その後、酢酸アルコール（99%エタノール：氷酢酸＝3：1）に浸漬し、5℃で 5 時間以上固定した。さらに、1 N 塩酸に 5℃で 24 時間以上処理したのち、押しつぶし法によりスライドガラス上でつぶし、酢酸オルセイン液で染色して光学顕微鏡で観察した。観察は、選抜個体・正常個体ともに、染色体数が確認できた 5 つ以上の細胞を対象として行った。

3. 結果

3.1 ヒノキ雄性不稔選抜調査

2011 年の調査では、調査した 2,867 本すべてで花粉の飛散または雄花における花粉形成が確認され、雄性不稔の可能性のある個体は見つからなかった。しかし、2012 年春に秦野市内のヒノキ林で実施した調査において、花粉が全く飛散しない個体が 1 本発見された（以下、選抜個体とする）。選抜個体の樹高は 10.3 m、胸高直径 17.9 cm であり、周辺個体の年輪解析から樹齢 39 年と推定された（図 4-1A）。選抜個体は、形態や通直性、成長等において周辺個体と差はなく、林業的な欠点は認められなかった（図 4-1A）。選抜個体の雄花をたたいても花粉を飛散せず、チャック付き袋内でつぶしたところ、赤色を帯びた溶液が放出され、通常観察される肌色の花粉は確認できなかった。放出された赤色の溶液

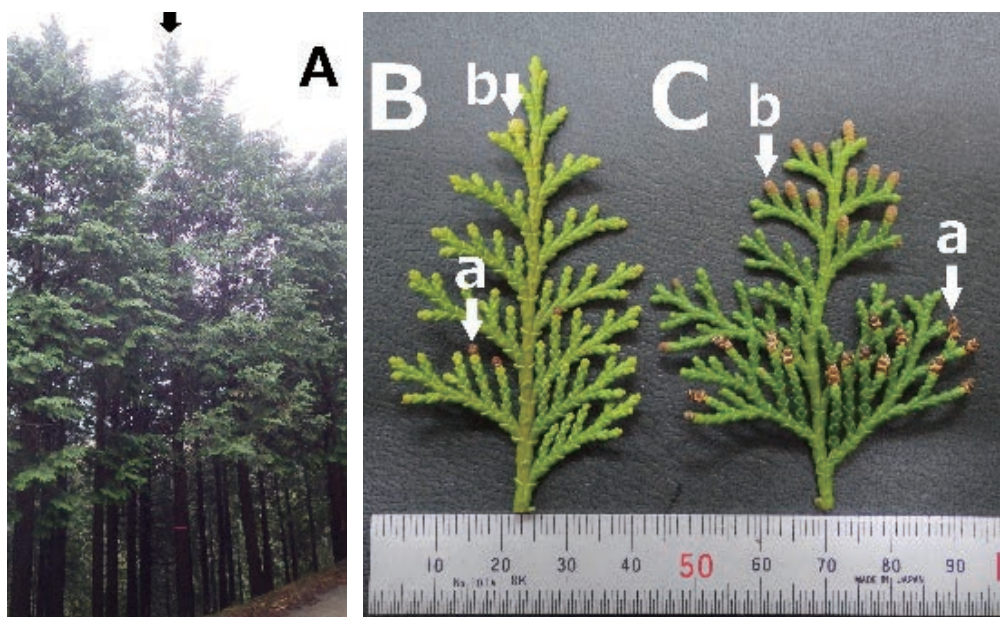


図 4-1 選抜された両性個体の全体像（A）と選抜された両性不稔個体および通常個体の葉（それぞれ B および C：4 月 28 日に撮影）

写真 A の黒い矢印は選抜個体を示す。写真 B・C の a は雄花、b は雌花を示す。

を30倍ルーペで確認したところ、一部に粒子状の形態が観察されたが、正常花粉と比べて大きさが不均一であった。花粉囊を押しつぶし法により光学顕微鏡で観察した結果、通常の花粉とは異なり大小様々な粒子が確認された(図4-2B)。

選抜個体の雄花がついた枝にグリシン紙の袋をかけ、水差しして静置したところ、雄花は鱗片間が開いて開花動作を示したものの、通常観察される花粉は袋内では全く観察されなかった。飛散後の正常個

体の雄花と比較すると、正常個体では花粉が放出され花粉囊がつぶれていたのに対し、選抜個体では花粉囊が開裂せず、花粉が全く放出されていなかった(図4-3)。花粉囊を押しつぶし法により光学顕微鏡で確認したところ、大小の粒子が互いに付着し、塊状になっていた(図4-2C)。雄花の断面を電子顕微鏡で観察したところ、選抜個体では花粉囊内の内容物が収縮しており、大きさの異なる粒子が観察された。大きな粒子の表面には正常花粉と同様にオービ

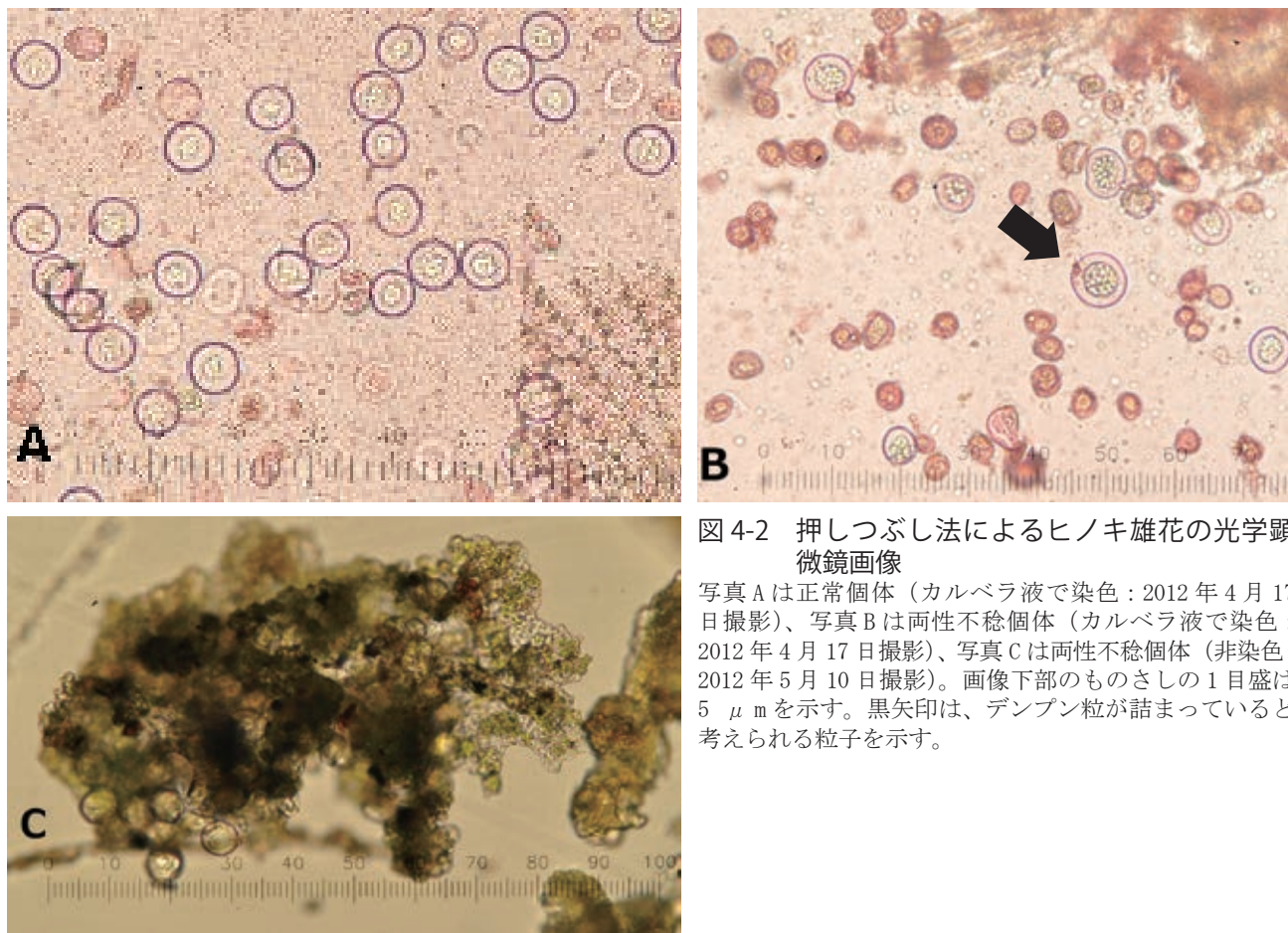


図4-2 押しつぶし法によるヒノキ雄花の光学顕微鏡画像

写真Aは正常個体(カルベラ液で染色:2012年4月17日撮影)、写真Bは両性不稔個体(カルベラ液で染色:2012年4月17日撮影)、写真Cは両性不稔個体(非染色:2012年5月10日撮影)。画像下部のものさしの1目盛は5 μ mを示す。黒矢印は、デンプン粒が詰まっていると考えられる粒子を示す。

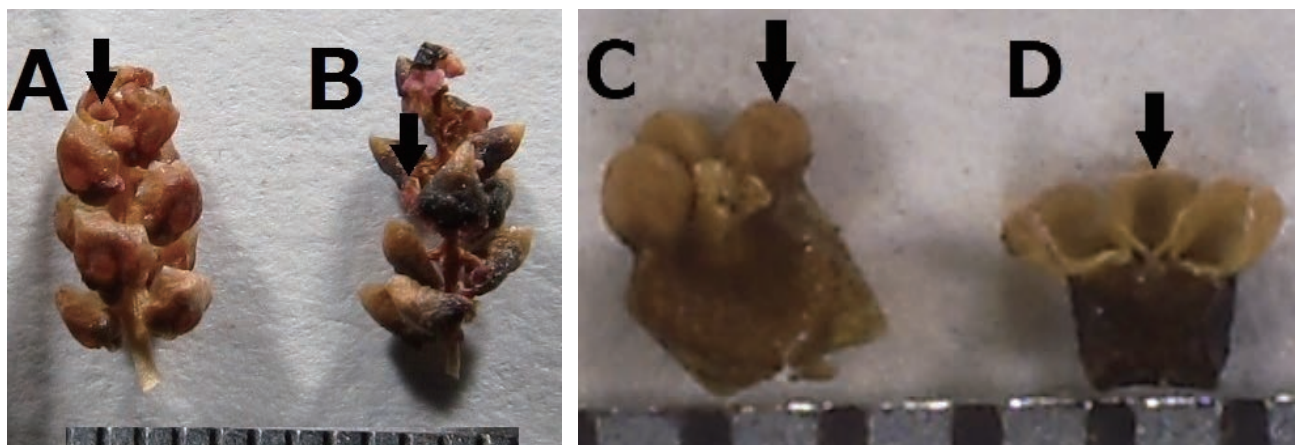


図4-3 両性不稔個体と正常個体の開花後の雄花の比較

A: 選抜個体、B: 正常個体、C: 選抜個体(拡大)、D: 正常個体(拡大)。画像下部のものさしの1目盛は0.5 mmを示す。黒矢印は花粉囊を示す。

クルが認められた（図 4-4C）。翌年の 2013 年に採取した雄花でも同様に花粉囊内に大小の粒子が認められ、袋がけ後に水差ししても花粉は全く放出されなかった。

花粉の発達過程を調べるため、2016 年 3 月 22 日に採取した雄花を押しつぶし法で観察したところ、花粉四分子は不等分裂しており、大きさの異なる細胞に分裂していることが確認された（図 4-5A）。また、分裂数は必ずしも 4 個ではなく、2～7 個に分裂しているものも観察された（図 4-5B）。その後、4 月 17 日には大小の異なる粒子が観察され、飛散期を過ぎるとそれらは塊状になった。

3.2 雌性の稔性の確認

選抜個体の球果を採取し、種子の確認を行った。球果は明らかに小さく、正常個体の 7 割程度の大きさであった。2013 年の測定では、縦径（高さ）、横径（幅）、重量のいずれも隣接する通常ヒノキの球

果より有意に小さく、選抜個体の球果重量は平均 0.29g で、隣接木の 0.76g の半以下であった（図 4-6）。正常個体の球果は乾燥後に開裂して種子が放出されたのに対し、選抜個体の球果は開裂しても種子が放出されなかった（図 4-7）。選抜個体では、種子が球果内で萎縮したまま発達せず、割れ目から離れない状態となっており、そのままでは単粒の種子を全く得ることが出来なかった。これらの結果は、調査した 2 年間とも同様であった。さらに、2015 年および 2016 年にさし木増殖した個体に結実した球果も、種子を放出しなかった。選抜個体の球果を分解して付着した種子を取り外したところ、正常個体の種子の 4 % ほどの重量で有意に小さかった。発芽試験の結果、これらの種子は全く発芽しなかった（図 4-8）。

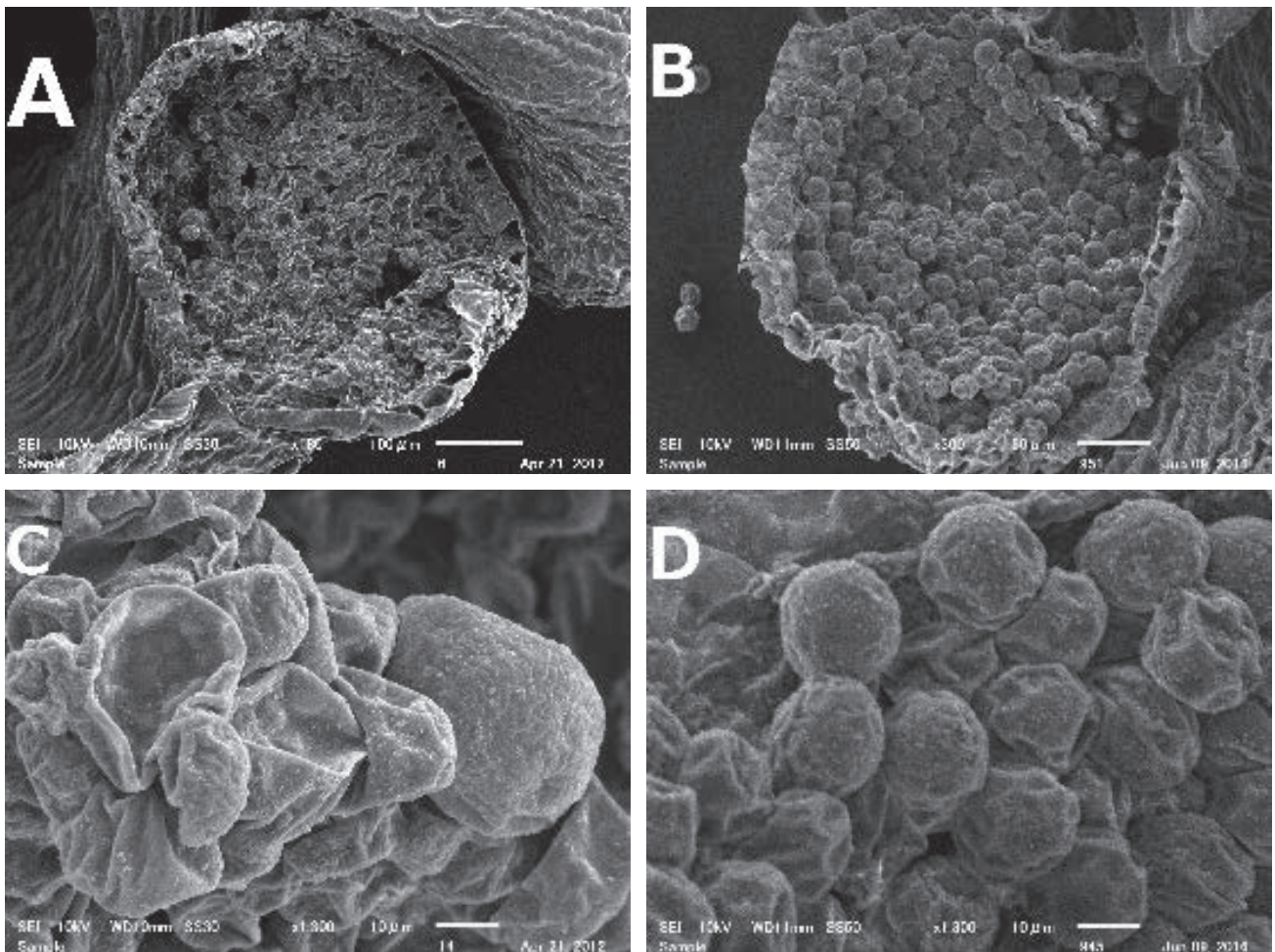


図 4-4 花粉囊内の花粉の走査電子顕微鏡画像

A：両性不稔個体、B：正常個体、C：両性不稔個体（拡大）、D：正常個体（拡大）。
バーは A：100 μ m、B：50 μ m、C・D：10 μ m を表す。

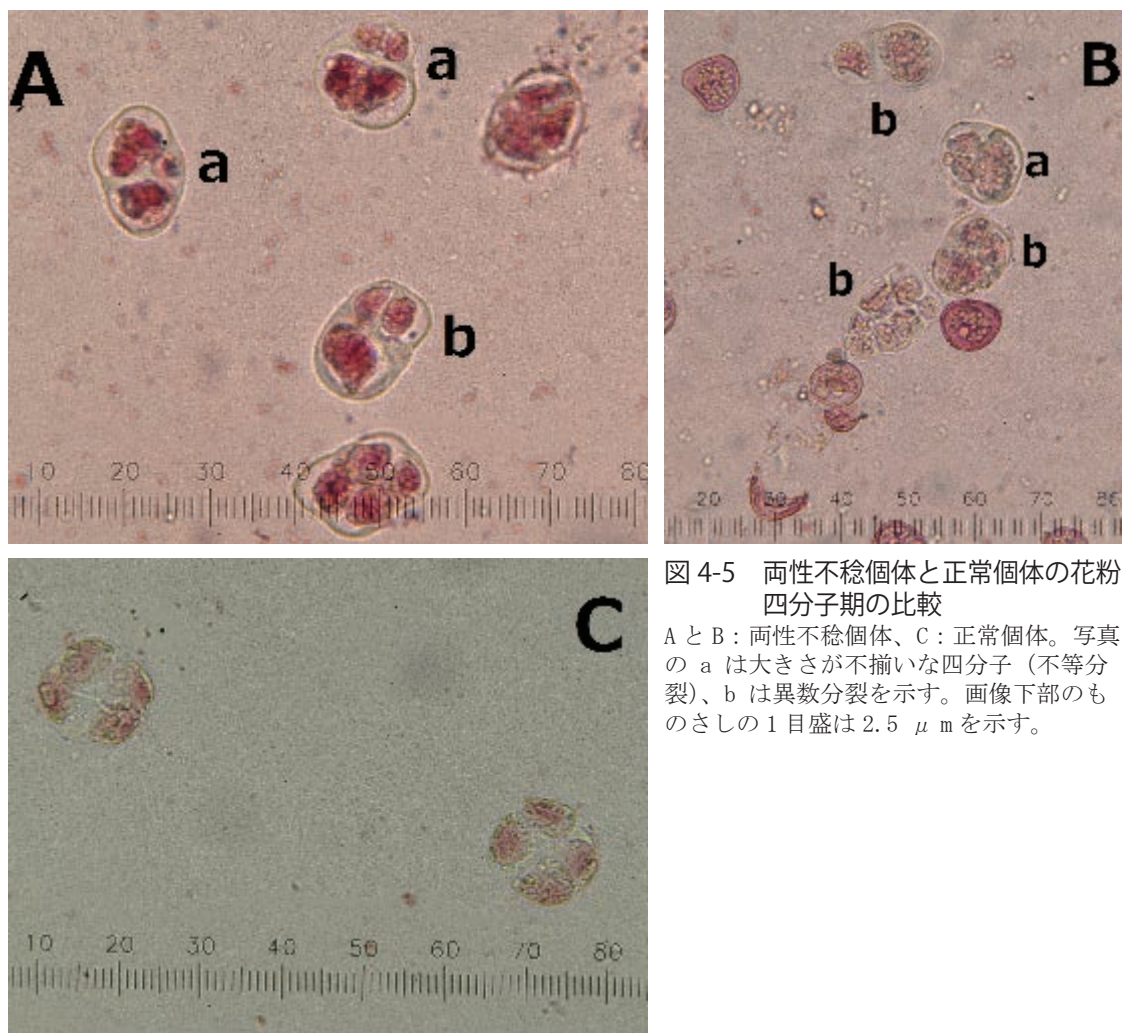


図 4-5 両性不稔個体と正常個体の花粉四分子期の比較

A と B : 両性不稔個体、C : 正常個体。写真の a は大きさが揃った四分子（不等分裂）、b は異数分裂を示す。画像下部のものさしの 1 目盛は $2.5 \mu\text{m}$ を示す。

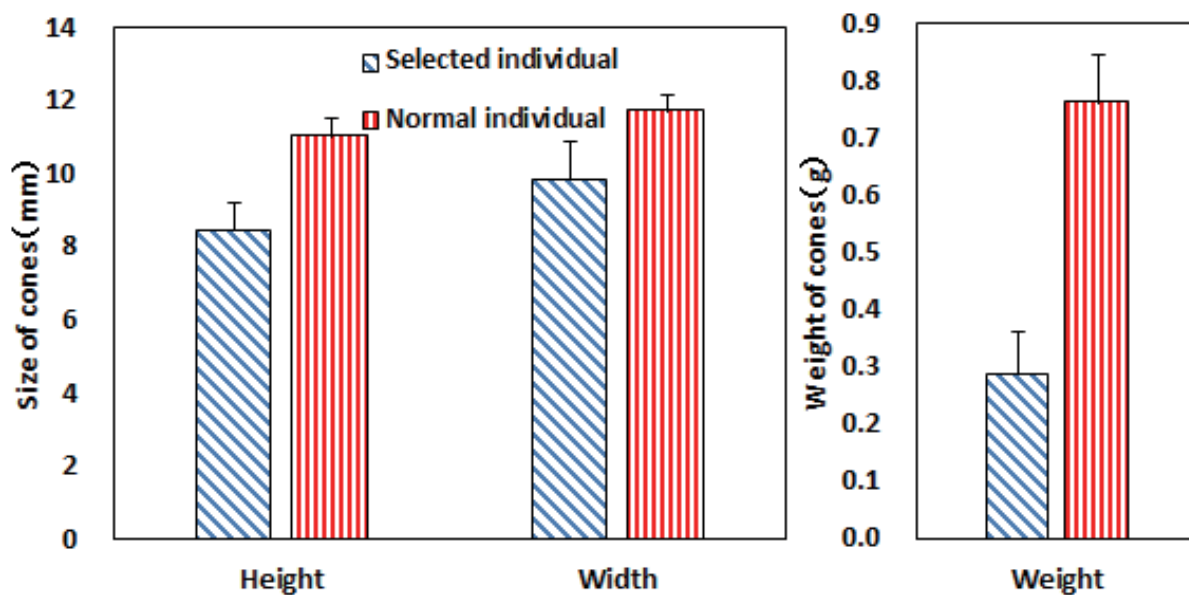


図 4-6 選抜された両性不稔個体と正常個体の球果（2013 年採取）の比較

選抜個体 ($n=33$) の球果は、正常個体 ($n=40$) の球果と比較して、すべての測定項目において有意に小さかった（一元配置分散分析；縦径（高さ）： $F=281.2$ 、横径（幅）： $F=103.2$ 、重量： $F=635.8$ 、 $p<0.001$ ）。バーは標準偏差を示す。

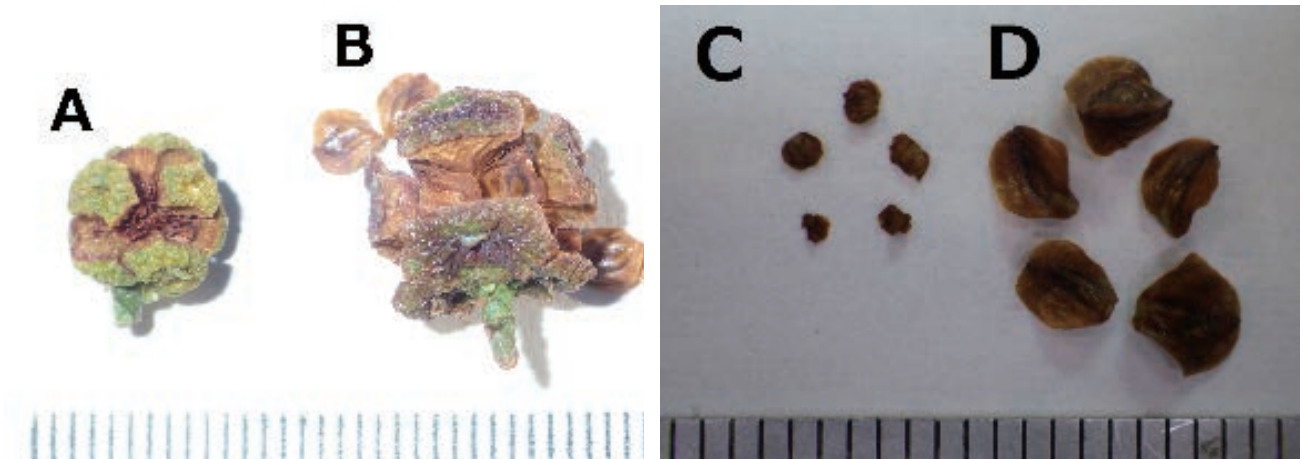


図 4-7 両性不稔個体と正常個体の開裂した球果と種子の形態

A: 両性不稔個体 (種子が枯れた球果)、B: 正常個体 (球果と種子)、C: 両性不稔個体 (種子)、D: 正常個体 (種子)。正常個体は球果が開き種子が放出されるが、選抜個体は種子が球果の中で枯れてしまい、放出されない。ものさしの1目盛は1mmを示す。

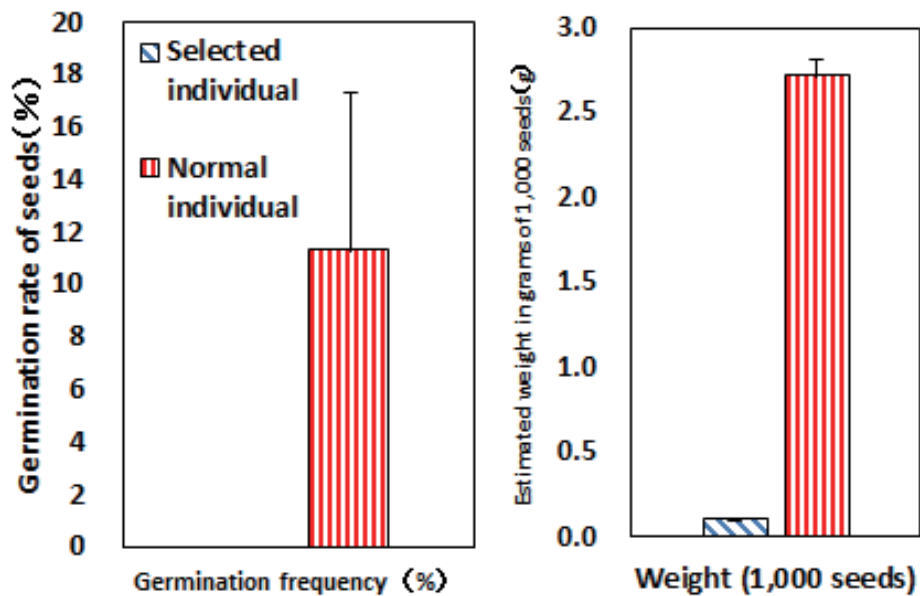


図 4-8 種子の1000粒重と発芽率

選抜個体の種子は全く発芽しない。選抜個体の種子は、いずれも正常個体の種子と比較して有意に低い値である (一元配置分散分析、発芽率: $F=13.72$ 、重量: $F=2,388.2$ 、 $n=4$ 、 $p<0.001$)。棒は標準偏差を示す。

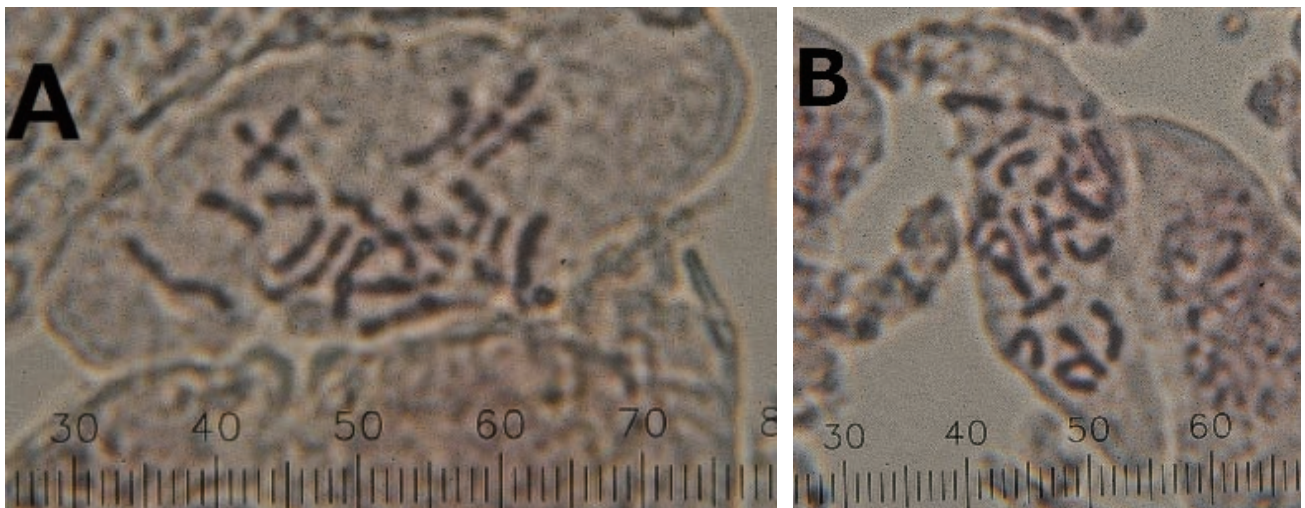


図 4-9 選抜個体と正常個体の細胞分裂中期の染色体

A: 両性不稔個体 ($2n=22$)、B: 正常個体 ($2n=22$)。ものさしの1目盛は1 μm を示す。

3.3 さし木による増殖と雄性不稔の確認

さし木の発根率の2年間の平均値は67%であり、さし木による増殖は可能であった。また、2013年および2014年にさし木個体に着花した雄花を観察した結果、親個体と同様に花粉嚢内には大小の粒子が観察され、花粉嚢が開裂せず、花粉を飛散しなかった。これにより、雄性不稔形質は増殖個体においても再現性があり、苗木としての増殖が可能な形質であることが明らかになった。その後、2016年まで毎年着花した雄花を観察したが、花粉嚢は開裂せず花粉は飛散しなかった。

3.4 染色体数の調査

根端細胞の染色体の状況を図4-9に示す。染色体数の確認ができた選抜個体の9個の根端細胞を調べたところ、いずれも染色体数は $2n = 22$ 本で正常個体と変わらなかった。したがって、選抜個体は3倍体等の変異体ではないことが明らかになった。

4. 考察

4.1 ヒノキの不稔個体の選抜

今回、本研究で選抜した個体は、2年にわたる雄花と雌花の調査から、両性不稔個体であることが明らかとなった。さらに、さし木で増殖した個体の雄花も同様に複数年にわたり花粉を飛散しなかったことから、再現性が確認された。雄性不稔スギの命名法(斎藤 2009b)に従えば、この個体は「ヒノキ神奈川不稔1号」となるものである。

両性不稔となる要因として、ヒノキでは同属のサワラとの雑種形成の可能性が考えられる。ヒノキとサワラの種間雑種では、減数分裂時に11本の染色体のうち3本が相同染色体にならず、花粉四分子期に4~7細胞等の不等な分裂が起こることが報告されている(Fukuhara 1978; 大黒・岡村 1987)。しかし、ヒノキとサワラの種間雑種は、外見的に正常な花粉の割合が高いこと(大黒・岡村 1987)、充実率は低いものの種子を形成すること(大黒・岡村 1987; 福原 1989)から、本研究で選抜された花粉と種子を全く放出しない個体とは形態的に異なっている。このことから、雑種である可能性は低いと考えられる。また、両性不稔となる要因として、倍数体の可能性も考えられる。藤下(2002)は、同じヒノキ科のスギの3倍体では微小花粉や巨大花粉はほとんど認められず、花粉の大きさの変異は2倍体ス

ギと大差なかったことを報告している。本研究で選抜された個体は、大小の花粉粒子を形成するという特徴を示し、スギの3倍体とは異なっていた。選抜個体の染色体数を調査した結果、染色体数は $2n=22$ で異常は認められず、3倍体等の変異体ではなく2倍体であることが明らかとなった。

4.2 雄性不稔の生じる要因

今回選抜されたヒノキと同様の両性不稔個体は、スギでも報告されている(Hosoo et al. 2005; 川名ら 2006)。スギで報告されている新大2号および10号は、花粉嚢内で大小さまざまなサイズの小胞子を形成し、減数分裂時の異常分裂が原因と考えられている。また、雌性についても不稔となることから、胚嚢母細胞からの減数分裂にも異常が生じていると推定される。今回選抜されたヒノキは、スギと同様に雄花の花粉嚢内に大きさの異なる小胞子を形成したことから、減数分裂時の不等分裂により雄性不稔になると推定される。今回雌性の不稔については詳細な観察は行っていないが、種子が球果内で萎縮して放出されないことから、新大2号や10号と同様に種子に胚が形成されず正常な種子が形成できないため、不稔になると推定される。

同じような減数分裂後の雄性不稔の形態は、放射線またはエチレンイミン処理により誘発されたイネの人為雄性不稔系統29系統(藤巻ら 1986)のうち、5系統(うち2種は同一遺伝子)でも観察されている。これらの系統では、四分子期から小胞子期の間に葯内に大小の小胞子が観察され、出穂期には葯内の小胞子が減少して葯壁に付着し、一部の小胞子は巨大化していたことが報告されている(田丸 1994)。今回発見された雄性不稔の発現形態は、このイネの事例と酷似しており、ヒノキ科以外の雄性不稔でも観察される形態であると考えられる。なお、これらのイネ系統は両性不稔ではないが、一部は結実率が低く、雌性にも何らかの異常があったことが指摘されている。

モデル植物であるシロイヌナズナでは、*SYN1* / *DIF* 遺伝子(Bai et al. 1999)、*ASY1* 遺伝子(Caryl et al. 2000)、*MEI1* / *MCD1* 遺伝子(He et al. 1998)、*AtSPO111* 遺伝子(Hartung et al. 2000; Grelon et al. 2001)、*AtDMC1* 遺伝子(Couteau et al. 1999)、*SDS* 遺伝子(Azumi et al. 2002)などに変異が生じると、雌雄両方の減数分裂に障害が起

き、両性不稔になることが報告されており（安積ら 2004）、このうち、*ASY1* 遺伝子、*MEI1* / *MCD1* 遺伝子、*AtSPO111* 遺伝子、*AtDMC1* 遺伝子、*SDS* 遺伝子については、減数分裂により異数四分子が形成される。今回選抜された両性不稔のヒノキも同様に、減数分裂の異常により異数四分子が形成されることから、シロイヌナズナで報告されているような、減数分裂に関与する遺伝子の変異が原因となっている可能性が高いと考えられる。

また、ヒノキ花粉については、橋詰・岡田（1968）は、花粉の成長期の終わりに、生殖細胞と花粉管細胞の2核が見られることを報告している。一方、選抜個体では、花粉外壁が形成されていると思われるもののデンブ粒と思われる粒子が詰まっているもののみで、2核に分裂している状況を確認することは出来なかった（図4-2B 黒矢印）。もしこれらがデンブ粒であれば、ヨウ素ヨウ化カリ等で染色できることから、不可稔判定に染色が利用できる可能性がある。今後、選抜を効率的に行うために検討すべき課題である。

1992年に平らによってスギの雄性不稔が発見されて以来20年以上が経過したが、今回の発見により、ヒノキにおいてもスギと同様の不稔個体が存在することが明らかになった。花粉を飛散しないことから、その普及はヒノキの根本的な花粉症対策に寄与すると期待される。しかし、その林業的な利用にあたっては、雌性も不稔であるため種子による苗木生産ができず、さし木や接ぎ木といったクローン増殖による手法に限定される。本研究では、選抜個体のさし木発根率は約70%と比較的高く、さし木による苗木生産が可能であることが示された。今後は、材質等のクローン特性を評価するとともに、さし木発根率の向上を図り、より効率的な苗木生産手法を検討する必要がある。また、将来的に交雑育種を可能にするためには、スギのように、交配に利用できる雄性不稔個体を探索する必要がある。

第5章 総合考察

1 ヒノキの花粉予測と花粉症対策

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) は、花粉症の重要な原因植物の一つである（岸川 1997；安枝 2002）。ヒノキ花粉の主要なアレルゲンは、スギと共通抗原性を持つため（信太ら

1983；井手ら 1991）、スギ花粉症患者がヒノキ花粉でも発症する。スギについては花粉飛散量の予測手法が開発され、実用化されているが（齋藤ら 2011）、ヒノキでは雄花量に基づく飛散予測手法は確立されていない。そこで本研究では、ヒノキの花粉飛散量の予測手法の開発を目的とした。研究の結果、スギ同様に、雄花量を目視で評価した雄花着点数により、花粉飛散量を予測できることが明らかになった。スギでは、より簡易に治癒する治療方法として2014年に舌下免疫療法が実用化されている（湯田ら 2015）。しかし、ヒノキでは舌下免疫薬がまだ開発されていない。そのため、本研究でヒノキの花粉飛散予測法を確立したことは、臨床的な対策や治療を進める上で重要な意義を持つと考えられる。

神奈川県では、全国に先駆けて2016年の飛散期からヒノキの花粉飛散予測の結果を毎年記者発表し、花粉症対策に活用している。この調査を全国に拡大するためには、スギに比べてヒノキの雄花が小さく、物理的に着花調査が困難である（遠藤・明石 2000）という課題を克服する必要がある。本研究では、雄花の観察が比較的容易な林縁木を調査対象とし、さらに、スギでは秋に行っている雄花量調査を、ヒノキの雄花が白くなり比較的観察しやすくなる12月初めに実施することで、この課題を克服することができた。ただし、雄花の脱落痕や前年の球果が白く見えることがあり、また前年に形成された未開花の雄花が残存していることもあるため、離れた場所からの判別には一定の経験を要する。ヒノキの雄花は当年に伸長した枝の先端に形成されることから、当年枝か前年以前に伸長した枝かを見分けることで、正確に雄花を判別することが可能となる。そのため、本調査を実施するには、ヒノキの雄花の発達に伴う形態変化を理解し、枝の伸長状況を含めて発達段階に応じて雄花を見分ける技術を持つ人材の育成が必要である。スギ花粉症の有症率が4割を超えると推定されており（松原ら 2020）、ヒノキの花粉症患者も相応に高いと推定されるから、ヒノキに関する観測態勢を早急に整備することが望まれる。スギについては、2023年の花粉症に関する関係閣僚会議の開催以降、目視によるスギ林の雄花調査の観測態勢が整備され、2025年からは林野庁の委託調査により、北海道を含む23都府県827か所へと拡充された（全国林業改良普及協会 2025）。ま

た、その他の県においても環境省の委託調査より、スギの分布しない沖縄県を除く46都道府県で観測態勢が整備されている（環境省 2024）。こうした状況を踏まえると、ヒノキについても観測態勢の整備が求められる。まずは、ヒノキ雄花に一定の見識を有する林業研究機関の関係者等を中心に人材育成を進め、観測を実施していくことが必要であると考えられる。なお、こうした調査の課題を解決するため、林野庁の調査事業においてドローンやデジタルカメラを活用した調査手法の検討が行われてきた。しかし、ドローンは対象に近接するとドローンが発生させる風の影響で写真撮影ができなくなるなどの課題が多く、実用化には相当な課題解決が必要である（全国林業改良普及協会 2024）。

2 スギ・ヒノキの雄性不稔品種の選抜と実用化

2.1 雄性不稔品種の選抜

国民病となったスギ・ヒノキ花粉症対策には、さまざまな角度からの取り組みが必要である。花粉発生源に関する対策としては、花粉の少ない品種の開発（高橋 2022）や植え替えが行われてきた。この対策は、主として雄花量が少ない少花粉品種によって進められてきた。花粉の少ないスギ苗木の生産量は、10年前の約140万本から約1,500万本へと飛躍的に増加し、現在ではスギ苗木全体の生産本数の約5割を占めている（内閣官房 2023）。さらに、2023年5月30日の花粉症に関する関係閣僚会議の閣議決定では、将来的（約30年後）に花粉発生量を半減させることを目標に、国および自治体等における苗木生産体制の短期的かつ集中的な整備を行い、10年後には花粉の少ないスギ苗木の生産割合を全体の9割以上とする方針が示されている（内閣官房 2023）。一方、少花粉品種は、若齢期（30年未満）は雄花着花量が少なく、植え替えによって一定の花粉量が削減されるものの、平（2005）が指摘しているように、成長に伴って予想以上に花粉を飛散するようになる可能性がある。このことから、長期的かつ確実な花粉発生源対策としては、雄性不稔個体の利用が最も理想的であると考えられる。

雄性不稔となる無花粉品種の選抜方法として、斎藤・寺西（2014）は、①15年生以上の人工林からの選抜、②採種園産実生苗からの選抜、③採種園や採穂園などクローン集植所からの選抜、の3つを挙げている。神奈川県では、②のスギ採種園産実生苗

からの選抜を行った。採種園産の実生個体は、採種園が精英樹で構成されていることから、精英樹を親とする後代となる。精英樹は昭和30年代に選抜され、成長形質や材質など品種改良のための特性が明らかになっていることから、その後代は普及の面で有利である。神奈川県では、選抜した雄性不稔スギ“田原1号”の母親に当たる精英樹“中4号”も雄性不稔対立遺伝子 *ms1* をヘテロ接合型で持つことが明らかとなった。さらにその後の調査により、神奈川県の他の3つの精英樹（片浦6号、箱根4号、丹沢2号）についても、*ms1* をヘテロ接合型で持つことが明らかになった。これらと隣接県の静岡県の精英樹“大井7号”（*ms1* をヘテロ接合型で持つ）を組み合わせることで交配することにより、近親交配を回避しつつ複数の無花粉家系を育苗することが可能になり、実用化に大きく貢献した。

近年のゲノム解析技術の進展により、スギでは、雄性不稔遺伝子の同定（Hasegawa et al. 2021；Kakui et al. 2023）、雄性不稔遺伝子をもつ個体を識別するDNAマーカーの開発（Mishima et al. 2018；坪村ら 2019；Hasegawa et al. 2020；Tsuruta et al. 2022；Watanabe et al. 2024；Ueno et al. 2024；渡部ら 2025）、それらのDNAマーカーを用いた選抜（マーカー選抜）が行われた（Moriguchi et al. 2020；Watanabe et al. 2022, 2024；三嶋ら 2025；渡部ら 2025）。これまでに *MS1* および *MS4* が同定されており、それ以外の雄性不稔遺伝子についても、マーカー開発と選抜への応用が期待されている。選抜マーカーの整備の進展により、複数の雄性不稔遺伝子を併せ持つ雄性不稔個体の育成も、現実的な育種目標として取り組まれ始めている（Watanabe et al. 2024）。以上のように、スギについては無花粉品種の選抜を効率的に進めるための基盤が整いつつあり、雄性不稔対立遺伝子を持つ精英樹等の優良木は加速度的に増加している。現在進められている国を挙げた花粉症対策の推進を追い風として、無花粉品種の早期の普及拡大が強く期待される。

本研究では、ヒノキについて、スギ同様に②の採種園産実生個体からの雄性不稔個体の選抜を試みた。しかし、3回にわたる選抜試験を行ったが、雄性不稔個体は見つからなかった。そこで、①の15年生以上の人工林からの選抜へと切り替えた。これはスギ人工林において雄性不稔個体が1/1,100～

1/6,000 の割合で存在する（斎藤ら 2005；平ら 2005；斎藤・寺西 2014）という推定に基づくものである。雄性不稔個体の選抜は、ヒノキの開花期に雄花をたたき、花粉の飛散を目視で確認する方法により行った。日本海側のスギ林では、積雪上から調査することができるので、樹冠に手が届きやすい（斎藤・寺西 2014）。一方、ヒノキでは、太平洋側の 3 月末から 4 月以降に調査を実施するため、積雪はなく、雄花までの距離が離れていると調査が困難となる。このため、調査対象は主に樹冠が下までである林縁木に限られ、調査効率は必ずしも高いとはいえなかった。さらに、ヒノキの花粉形成期は 3 月中旬頃であり、調査期間は 3 月下旬から 4 月中旬頃までの極めて短期間に限定される。また、①の方法により選抜された個体は、②の採種園産実生個体（精英樹の後代）や③のクローン集植所の個体とは異なり、一般林分に生育する個体であるため、選抜時点では成長や材質などの特性が明らかになっていない。そのため、特性評価を行った上で普及を図る必要がある。以上のような制約から、ヒノキにおける雄性不稔個体の選抜は効率が低く、調査上の負担も大きい。さらに、本研究で選抜した無花粉品種は両性不稔であるため、交配による遺伝的改良が不可能である。そのため、遺伝的改良が可能な新たな無花粉品種の選抜が強く望まれている。これらの課題を克服するためにも、ヒノキにおいても雄性不稔個体を効率的に選抜するための DNA マーカーの開発が期待される。

2.2 雄性（両性）不稔品種の実用化

雄性不稔スギを実用化するにあたり、さし木による増殖を行えば、すべて無花粉の個体を得ることができる。しかし、その場合、生産される苗木は単一のクローンとなる。林木は農作物とは異なり、栽培環境下の人的制御を行うことができないため、自然環境下において長期に健全に生存できることが必須である（井出・白石 2012）。クローン苗は、一般的に、実生苗よりも初期成長が遅く（松永ら 2008；木戸口 2008；酒井ら 2019）、病虫害の発生時に被害が一斉に拡大するリスクが高いとされている（宮島 1989；井出・白石 2012）。またさし木増殖では、発根性の低下や枝性の発現など、非遺伝的持続性（topophysis）に起因する形質上の問題が生じる場合がある（宮島 1989）。そのため、スギでは、さ

し木造林が主体の九州地方を除き、実生苗の利用が主流となってきた。本研究においても、実生苗であれば容易に普及が可能であると考え、種子による雄性不稔スギの実用化を進めた。まず、種子生産のため、閉鎖した温室内に *ms1* をホモ接合型で持つ雄性不稔スギ (*aa*) を母親、*ms1* をヘテロ接合型で持つ個体 (*Aa*) を父親として採種園を造成し、生産した種子を生産者に配布して苗木生産を開始した。ただし、生産した種子による苗木では、雄性不稔スギ (*aa*) と花粉を出すスギ (*Aa*) が 1 : 1 で出現する。そのため、雄性不稔スギを苗木段階で簡易に検定する必要があり、本研究では雄性不稔スギ苗を検定する方法を開発し（第 4 章）、実用化を実現した。この方法による苗木生産は、夏期のジベレリンの散布と雄性不稔スギ苗の検定作業以外は通常の生産と違いはない。この点は、雄性不稔スギの実用化を進める上できわめて重要である。その結果、2010 年春に初めて苗木生産者が生産した雄性不稔スギ約 600 本が、同年に神奈川県で開催された第 61 回全国植樹祭に出荷された（斎藤ら 2010b）。神奈川県では、現在、本手法と一部さし木により、年間約 1 万本あまりの雄性不稔無花粉スギ苗を生産している。同県では、各都道府県からの視察を受け入れており、本手法は、富山県で普及している雄性不稔スギ苗の検定の一部にも利用されている（斎藤 2022）。現在では富山県はさし木による雄性不稔スギ生産に移行しているが（斎藤 私信）、今後、本手法が多く都道府県に活用されることが期待される。

一方、ヒノキについては、本研究で両性不稔個体を選抜したが、先述の通り、実生生産ができない。スギでは、コンテナ直差しによる少花粉品種（丹羽 2021）や雄性不稔スギ品種（斎藤 2022）のさし木増殖が報告されている。一般的に、ヒノキはスギに比較してさし木が難しい。しかし、少花粉ヒノキ品種 2 種（西川 4・西川 15）では、発根率が約 7 割であったことが報告されており（原口 2015）、事業用に望ましいとされる発根率は 71% 以上（戸田・藤本 1983）とされている。そこで、本研究では選抜した両性不稔ヒノキの発根率を調べるため、コンテナ直差し試験を行った。当初は用土の問題で発根率が低かったが、ココピートに赤玉土または鹿沼土を 1 : 1 で混合した用土を用いることで、9 割近い発根率を得ることができた（斎藤ら 2020）。また、この個体の初期成長がヒノキ在来品種のナンゴウヒと同

等であることを示した(齋藤ら 2020)。さらに、発見した原木の材質調査を行い、周辺ヒノキと比較して材質に遜色がないことを明らかにした(齋藤ら 2020)。これらの成果をうけ、神奈川県自然環境保全センター所内に無花粉ヒノキ採穂園を造成し、さし穂を生産者に配布して苗木生産を開始した。苗木は2021年から出荷が開始され(齋藤 2022)、2025年春には採穂園由来のさし穂から育苗した約1,000本の無花粉ヒノキ苗木が出荷された。その後も生産は順調に拡大しており、同年春には4,750本の採し穂を6軒の生産者に配布した。2年後には、3,000本程度の苗木生産が見込まれている。この生産拡大には、選抜した個体の特性も関係している。スギやヒノキのさし木では、前述のとおり、発根性の低下や枝性の発現など、非遺伝的持続性(topophysis)に起因する形質上の問題が生じること(宮島 1989)が知られているが、この個体は枝の岐出角度が 46.8 ± 5.7 度と比較的高く(神奈川県 2018b)、コンテナに直さししても、発根すれば通直性が高く、比較的枝性が発現しにくい。そのため、1本立ちした素性の良い苗木が得られる。この特性は、苗木のロスが少なくなることから、苗木生産者からも高く評価されている。また、枝の岐出角度は外見的に判別しやすい形質であるため、林地でヒノキを選抜する際の一つの指標となる可能性がある。以上より、本研究で選抜した無花粉となる両性不稔ヒノキは、実用的価値の高い有用な個体であると結論づけられる。

2024年3月に刊行された2022年度の林野庁の林業種苗の統計によれば、スギの苗木生産量は30,041千本であり、そのうち花粉の少ないスギの生産量は15,799千本と全体の52.6%に達しているが、雄性不稔スギの生産量は、富山県74千本、神奈川県9千本、新潟県1千本の計84千本にとどまり、全体の0.3%に過ぎない(林野庁 2024)。無花粉ヒノキの苗木生産は、神奈川県のみで行われているという状況である。社会問題化した花粉症の深刻さを考えると、雄性不稔スギおよび無花粉ヒノキの安定的な種苗生産体制の構築が急務である。

国民病となったスギ・ヒノキ花粉症対策には、さまざまな角度からの取り組みが必要であり、森林・林業サイドでは花粉の少ないスギ・ヒノキへの植え替えが積極的に進められてきた。しかし、2018年の林野庁長官の国会答弁では、神奈川を含む1都2

県(東京都、神奈川県、埼玉県)のスギ・ヒノキ林について、現状の植え替えのペースのままではスギ・ヒノキ林の植え替え完了までに350年を要するとの見解が示された(衆議院事務局 2018)。この背景には、伐採、搬出技術の向上と担い手の確保、スギ・ヒノキの木材利用の促進、伐採後の林地災害の防止、造林や育林コストの軽減など、さまざまな課題が山積していることが挙げられる。神奈川県では、2027年から開始される次期かながわ水源環境保全・再生施策において、植え替え支援を行う計画が検討されている。花粉発生源対策を着実に進めるためには、このような植え替えを後押しする行政施策の継続的な実施が不可欠であると考えられる。

3 まとめ

無花粉スギ・ヒノキ品種は、少花粉品種などの雄花着生量が少ないスギとは異なり、花粉削減の効果が高齢期まで継続される。本研究では、目視によるヒノキの雄花の観察による花粉飛散予測、雄性不稔スギの検定手法という新たな技術を開発するとともに、全国で初めて無花粉となる両性不稔となる無花粉ヒノキを選抜した。これらの成果はすべて神奈川県の業務の中で実用化され、すでに花粉症対策として供されている。今後、雄性不稔スギ・ヒノキ品種の普及を全国に拡大するためには、それぞれの地域の環境に適した優良品種の開発に加え、それらを用いた採穂穂園の整備、種苗生産及び供給体制の確立が必要であると考えられる。

林木育種はこれまで成長形質などの量的形質の改良を主軸として進められてきた。花粉症対策においても、少花粉品種のように複数の遺伝子支配による形質を対象とし、集団選抜育種法による改良が中心であった。そのため、雄性不稔形質のような単一遺伝子支配による形質については、組織的な育種体系の中に十分に組み込まれてこなかった。一方、スギの雄性不稔については、最初の発見以降、遺伝様式や花粉崩壊過程の解明(Saito et al. 1998; Taira et al. 1999; 吉井・平 2007; 宮嶋ら 2010; Tsurisaki et al. 2024; Hasegawa et al. 2018)、雄性不稔遺伝子の連鎖地図へのマッピング(Moriguchi et al. 2012; 2014; 2016)、識別マーカーの開発(Mishima et al. 2018; 坪村ら 2019; Hasegawa et al. 2020; Tsuruta et al. 2022; Watanabe et al. 2024; 渡部ら 2025; Ueno et al.

2024)、原因遺伝子の同定 (Hasegawa et al. 2021 ; Kakui et al. 2023) など様々な研究の蓄積により、近年ではマーカー選抜 (Moriguchi et al. 2020 ; Watanabe et al. 2022, 2024 ; 渡部ら 2025 ; 三嶋ら 2025) の実施が可能になった。雄性不稔形質は単一の遺伝子支配による形質であることから、品種改良において取り込みやすい形質である。そのため、現在進められている第二世代以降の品種改良において、積極的に育種体系の中に組み込むべ

きであると考えられる。またヒノキについては、本研究において両性不稔品種が選抜された以降も、雄性不稔品種は新たに発見されておらず、遺伝解析の進展という点においても、スギと比較して大きく遅れている。本研究で開発した花粉飛散予測法に関しても、知見の蓄積は十分といえないのが現状である。本研究は、ヒノキにおける花粉症対策研究の進展に向けた基盤的知見を提供するものであり、今後の研究および実用化に寄与すると考えられる。

摘要

1) 雄花の目視によるヒノキ花粉飛散予測

ヒノキの花粉症対策を目的として、神奈川県内のヒノキ林において、目視で評価した雄花量と実際の花粉飛散量との関係を調査した。ヒノキ林の雄花量を点数化した雄花量指数は、雄花トラップから推定した雄花数と有意な相関関係が認められた。雄花量指数と神奈川・東京における花粉飛散量と比較した結果、指数回帰により、横浜市金沢区では相関係数 0.94、東京都千代田区では 0.88 と有意に高い相関関係が認められ、目視による雄花量によって花粉飛散量を予測できることが明らかになった。一方、これまで行われてきた夏季の気象要因 (日照時間、平均気温、降水量) とヒノキ花粉飛散量との相関関係を調べたところ、有意な相関が認められたのは 6～7 月の降水量だけであり (相関係数は約 0.6)、雄花量指数との相関に比べて低かった。このことから、気象要因のみを用いた花粉飛散量の予測は困難であると考えられた。また、直近 12 年間のスギとヒノキ花粉飛散量の間には有意な相関は認められず、両種の花粉飛散は同調していないことが明らかになった。このため、ヒノキの花粉飛散予測はスギとは独立して行う必要があり、気象要因による予測よりも、目視による雄花量指数を用いた予測が有効であることが明らかになった。

2) 雄性不稔スギ実生苗生産のための簡易な検定手法の開発と精度検証

雄性不稔スギ (無花粉スギ) は、単一の劣性遺伝子 (雄性不稔遺伝子) に支配され、メンデルの法則に従って遺伝する。そのため、雄性不稔遺伝子をホモ接合型でもつ雄性不稔スギに雄性不稔遺伝子をヘテロ接合型でもつスギを交配することにより、種子による苗木生産が可能となる。しかし、この交配では後代の約半数が可稔となるため、雄性不稔苗木の生産には、これらを選別するための検定が不可欠である。神奈川県では、従来、雄性不稔苗の検定は顕微鏡を用いて行われてきたが、苗畑において雄花を潰す簡易な検定法が新たに開発された。この方法により、2010 年から 2019 年までの 10 年間で、23,485 本の雄性不稔実生苗が生産された。この検定結果の精度を検証するため、雄性不稔と判定した試料を実体顕微鏡で再確認したところ、誤判定率は 1.1% と低かった。また、雄性不稔と判定した苗木を 1 年後と 5 年後に再確認した結果、検定精度は 98.1% および 97.6% であり、本手法が高い信頼性を有する有効な検定手法であることが確認された。さらに、検定作業の効率化を目的として、生分解性コンテナ苗を用いた生産体制を検討したところ、ビニールハウス内で座ったままの作業が可能となり、作業性が向上した。加えて、誤判定も有意に減少することが示された。

3) ヒノキ両性不稔個体の発見と実用化

ヒノキの花粉症対策のため、雄性不稔個体の探索を行った。神奈川県内のヒノキ林を探索した結果、雄花から花粉が飛散しない個体が発見された。この個体からの花粉飛散の有無を確認するため、雄花が着生した枝を採取し、袋掛けしたうえで水差ししたところ、飛散期を過ぎても花粉嚢は開かず、花粉の飛散はまったく認められなかった。花粉嚢を押しつぶし法により光学顕微鏡で確認したところ、大小の粒子が互いに付着し、塊状になっていた。さらに、電子顕微鏡による観察では、正常花粉と同様に花粉表面に形成されるオービク

ルは観察されたものの、花粉嚢内の内容物は収縮しており、正常な花粉は形成されていなかった。種子の稔性を調査したところ、結実した球果は小型で、正常な種子は形成されなかった。一方、さし木の活着率は70%であり、クローン増殖が可能であった。増殖したさし木クローンに着花した雄花も花粉を飛散せず、雄性不稔形質はさし木増殖個体においても再現性があった。染色体数を確認したところ、 $2n = 22$ の2倍体であり、染色体数の異常は認められなかった。花粉四分子期の観察結果から、この個体の雄性不稔形質は、減数分裂時の不等分裂に起因すると推定された。以上の結果から、本研究で発見した個体は両性不稔個体であると判断された。

Summary

Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) are widely cultivated. As a result, the national average prevalence of cedar pollinosis is 38.8%, making it a serious social problem. The objectives of this study are to reduce the increasing amount of pollen dispersal and to contribute to measures against pollinosis by developing a method for predicting pollen dispersal based on visual observation of male strobili of Japanese cypress, which has not been put to practical use; by developing a simple field-based screening method of male-sterile Japanese cedar seedlings for use in practical seedling production; and by selecting a male sterile Japanese cypress individual that has never been discovered before and putting it into practical use.

We investigated the relationship between the visually observed abundance of male strobili and the amount of dispersed pollen in Japanese cypress forests in Kanagawa Prefecture. The index of male strobilus abundance based on visual inspection showed a significant correlation with the number of male strobili collected using male strobili traps. Comparison of the index of male strobilus abundance with the number of dispersed pollen grains revealed a significant relationship, indicating that pollen dispersal can be predicted using this index. In contrast, the correlation between summer meteorological factors and Japanese cypress pollen dispersal was weaker than that observed for the male strobilus abundance index. In addition, no significant correlation was detected between the amounts of Japanese cedar pollen and Japanese cypress pollen. These results indicate that forecasting pollen dispersal based on meteorological factors is difficult, whereas forecasting based on visual assessment of male strobilus abundance is effective.

In this study, a simple field-based screening method was developed to determine male sterility by crushing male strobili, eliminating the need for microscopic observation previously required for this assessment. Using this method, 23,485 male-sterile seedlings were produced in Kanagawa Prefecture over a 10-year period starting in 2010. To verify the validity of the method, all samples identified as male sterile were examined using a stereomicroscope, revealing an error rate of 1.1%. The seedlings identified as male sterile were further retested one and five years later, resulting in error rates of 1.0% and 1.9%, respectively. These results indicate that the method is an effective screening approach.

To develop measures against pollinosis caused by Japanese cypress pollen, we screened for male-sterile individuals and identified an individual that did not release pollen from its male strobili. Optical microscopic observations revealed particles both larger and smaller than normal pollen grains within the microsporangia. Examination of seed fertility showed that the cones were small and abnormally shaped. The rooting rate of cuttings was approximately 70%, and clonal

propagation was successfully achieved. No pollen release was observed from the male strobili of the cloned trees, indicating that the male sterility trait was stably reproduced in the clones. Chromosome counts showed that both the selected individual and normal individuals possessed 22 chromosomes. Observations during the pollen tetrad stage suggested that the male sterility trait was caused by unequal division during meiosis. Based on the morphological conditions of the male strobili and cones, sterility was confirmed in both male and female strobili.

Through this series of studies, we developed new techniques for predicting pollen dispersal based on visual observation of male strobili of Japanese cypress, as well as a method for screening male-sterile Japanese cedar seedlings. We also selected the first male-sterile Japanese cypress individual in Japan exhibiting sterility in both male and female strobili. All of these technologies and varieties have been put into practical use in Kanagawa Prefecture and are already being applied as countermeasures against pollinosis. However, the greatest challenge in implementing low-pollen and male-sterile varieties lies in replanting existing Japanese cedar and Japanese cypress forests that currently release large amounts of pollen. Several issues must be addressed, including improving logging and transportation techniques, securing a sufficient workforce, promoting the use of cedar and cypress timber, preventing forest disasters after logging, and reducing the costs of afforestation and forest management. Furthermore, to ensure a stable supply of male-sterile Japanese cedar and Japanese cypress seeds and seedlings, it is necessary to establish seed orchards and scion gardens and to develop sustainable seed and seedling production and distribution systems.

謝辞

本博士論文を遂行するにあたり、新潟大学農学部
の森口喜成准教授には、博士論文を構成する2つの
学術論文の草稿にご意見を賜るとともに、本論文の
とりまとめにあたり終始懇切なご指導とご鞭撻を
賜った。また、本論文のとりまとめにあたり、ご校
閲の労を賜った新潟大学佐渡自然共生科学センター
演習林の梶本卓也教授、新潟大学農学部の村上拓彦
教授および権田豊教授に、心から感謝の意を表す。

本研究の実施にあたり、農林水産省農林水産技術
会議農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業
(課題番号：22029)、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イノベー
ション創出強化研究推進事業(課題番号：29013C)
の支援を受けた。元新潟大学教授平英彰博士には、
田原1号に関するさまざまな試験の実施ならびにヒ
ノキ雄性不稔個体の選抜についてご助言をいただい
た。また、森林総合研究所林木育種センター東北育
種場の高橋誠博士には、イノベーション創出強化研
究推進事業の実施にあたり、ご指導と貴重なご意見
をいただいた。農林水産業・食品産業科学技術研究
推進事業課題の推進にあたっては、九州大学大学院

農学研究院の渡辺敦史教授、森林総合研究所林木育
種センターの坪村美代子育種研究室長をはじめ多く
の皆様のご指導とご協力をいただいた。富山県農林
水産技術センター森林研究所の斎藤真己博士には、
雄性不稔に関する研究の推進ならびに富山県で実
施している検定法をご教示いただくなど終始ご指導
をいただいた。都県の林木育種の関係者の皆様、特
に千葉県農林総合研究センター森林研究所の遠藤良
太所長および福島成樹所長、埼玉県寄居林業事務所
森林研究室の原口雅人室長、山梨県森林総合研究所
の西川浩己研究管理幹、静岡県農林技術研究所森林・
林業研究センターの袴田哲司博士には、研究初期か
ら長年にわたりご指導をいただくとともに、育種事
業、研究情報さらには花粉飛散情報の交換に至るま
でお世話になった。ここに深く感謝の意を表す。

本研究で実施したヒノキの花粉飛散予測について
は、森林総合研究所多摩森林科学園の横山敏孝樹木
室長に調査手法のご指導いただくとともに、林野庁
の花粉発生源対策事業スギ・ヒノキの雄花量調査の
推進事業(受託者(一社)全国林業改良普及協会)
の支援を受けた。事業の推進にあたり、林野庁並び
に事業推進のため設置された花粉関係調査委員会の
桜井尚武座長をはじめとする歴代委員の皆様から、

多くの有意義なご意見をいただいた。花粉飛散量については、平塚江南高校の高梨征雄教諭及び東京都の測定した花粉データを使用させていただいた。ここに深く感謝の意を表する。

また、雄性不稔スギ・ヒノキの生産は神奈川県山林種苗協同組合によって行われ、歴代理事長である故濱野進氏、故山口富治氏、町田憲司氏、小宮藤正氏、苗木生産者の羽太喜久雄氏、歴代専務理事の石田哲夫氏、丹羽久雄氏、小宮芳男氏には、苗木の育苗から雄性不稔スギの検定作業に至るまで、終始多大なご協力をいただいた。特に羽太喜久雄氏には、雄性不稔スギおよび両性不稔ヒノキの双方において、最初の試験生産にご尽力をいただいた。本研究に関わる雄性不稔スギの検定作業は、林業普及指導事業との連携のもとで実施され、同事業の研修として、神奈川県森林再生課の林業普及指導員である田中由紀技師、枝廣久尚主査、村松広主査、栗林留美副技師、中井亮介技師、今野次郎副技師、種市有季技師の指導のもと、多くの県担当者等に参加いただいた。さらに、育苗や雄性不稔の検定作業にあたっては、神奈川県自然環境保全センターの越地正研究部長、藤澤示弘主任研究員、毛利敏夫技能技師、山田翼技能員、山崎浩太技能員、久保典子職員、河野明子職員、大津喜代美職員、小島弥生職員、木下清子職員、小山直次技能技師、萩原ミサエ職員をはじめ、多くの職員の皆様にご協力いただいた。ここに記してお礼申し上げる（肩書きは当時のものである）。

さらに、花粉の少ないスギおよびヒノキの選抜にあたっては、森林総合研究所の故明石孝輝博士より林木育種研究に関するご指導をいただいた。論文のとりまとめが遅々として進まない著者に対し、東京大学の井出雄二名誉教授からは、論文完成に向けて多大な激励をいただいた。執筆には田村淳研究連携課長、谷脇徹主任研究員のご指導を受けた。本博士論文を構成する学術論文の草稿については、畑澤佐代子職員ならびに野邊陽子職員にご確認いただいた。ここに記してお礼申し上げる。

最後に、長年にわたり家庭を顧みない研究生を送り、迷惑をかけ続けた家族に深く感謝する。このほか、ここに記すことができないほど多くの方々からのご支援とご協力に対し、心からお礼申し上げる。

参考文献

- 有岡利幸 (2010a) 杉Ⅰ．法政大学出版局，東京
有岡利幸 (2010b) 杉Ⅱ．法政大学出版局，東京
有岡利幸 (2011) 檜．法政大学出版局，東京
Azumi Y, Liu D, Zhao D, Li W, Wang G, Hu Y, Ma H (2002) Homolog interaction during meiotic prophase I in *Arabidopsis* requires the *SOLO DANCERS* gene encoding a novel cyclin-like protein. The EMBO journal 21: 3081-3095
安積良隆・鈴木秀穂 (2004) シロイヌナズナを用いた植物の有性生殖研究における最近の展開 2003：植物減数分裂遺伝子、点から線へ、線からネットワークへ（総説）．神奈川大学年報 2003: 41-80
Bai X, Peirson B N, Dong F, Xue C, Makaroff C A (1999) Isolation and characterization of *SYN1*, a *RAD21*-like gene essential for meiosis in *Arabidopsis*. Plant Cell 11: 417-430 ; <https://bunka.nii.ac.jp/heritages/detail/190502>
Cai M, Wen Y, Uchiyama K, Onuma U, Tsumura Y (2020) Population genetic diversity and structure of ancient tree populations of *Cryptomeria japonica* var. *sinensis* Based Forests 11: 1192; <https://doi.org/10.3390/f11111192>
Caryl A P, Armstrong S J, Jones G H, Franklin F C (2000) A homologue of the yeast *HOP1* gene is inactivated in the *Arabidopsis* meiotic mutant *asyl*. Chromosoma 109: 62-71
Couteau F, Belzile F, Horlow C, Grandjean O, Vezon D, Doutriaux, M P (1999) Random chromosome segregation without meiotic arrest in both male and female meiocytes of a *dmc1* mutant of *Arabidopsis*. Plant Cell 11: 1623-1634
遠藤良太・明石孝輝 (2000) 千葉県におけるヒノキクローンの雄花着花性と広義の遺伝率．日本林学会関東支部大会発表論文集 51: 93-94
遠藤良太・明石孝輝 (2003) ヒノキ採種園と次代検定林の雄花着花状況から推定した遺伝率と育種効果．日本森林学会誌 85: 241-244

- 藤巻宏・鶴飼保雄(1985) 改造される植物. 培風館, 東京
- 藤巻宏・平岩進 (1986) 人為突然変異によって育成されたイネ雄性不稔系統の遺伝解析. 育種学雑誌 36: 401-408
- 藤澤示弘・毛利敏夫・藍原清子・河野明子 (2007) 花粉のないスギ・ヒノキ実用化プロジェクト. 平成 18 年度神奈川県自然環境保全センター研究部業務報告 39:56-57
- 藤下典之 (2002) 異常花粉一懐古録と最新の研究成果 (IV). 日本花粉学会会誌 48: 41-54
- 藤田紘一郎 (1999) 笑うカイチュウ. 講談社, 東京
- Fukuhara N (1978) Meiotic observations in the pollen mother cell of interspecific hybrid between *Chamaecyparis obtusa* and *C. pisifera*. Journal of the Japanese Forestry Society 60: 437-441
- 福原槍勝 (1989) ヒノキとサワラの種間交雑の稔性と雑種の識別. 林業試験場研究報告 354: 1-38
- 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 (1) 一間伐、枝打ち後 3 年間の雄花生産量の変化一. 日本森林学会発表論文集 107: 475 -478
- 福島成樹 (2023) 千葉県におけるヒノキの個体別雄花着生状況と雄花量の関係. 関東森林研究 74: 145-146
- Grelon M, Vezon D, Gendrot G, Pelletier G (2001) *AtSPO11-1* is necessary for efficient meiotic recombination in plants. The EMBO journal 20: 589-600
- 萩行治義・横山周一・河野耕蔵 (1970) スギの球果とタネ. 林木の育種 60: 13-16
- 原口雅人 (2015) コンテナ容器を用いた少花粉ヒノキの挿し木の発根性と成長促進. 埼玉県農林総合研究センター研究報告 14: 16-21
- Hartung F, Puchta H (2000) Molecular characterisation of two paralogous *SPO11* homo-logue sin *Arabidopsis thaliana*. Nucleic Acids Research 28: 1548-1554
- Hasegawa Y, Ueno S, Matsumoto A, Ujino-Ihara T, Uchiyama K, Totsuka S, Iwai J, Hakamata T, Moriguchi Y (2018) Fine mapping of the male-sterile genes (*MS1*, *MS2*, *MS3*, and *MS4*) and development of SNP markers for marker-assisted selection in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) . PLoS ONE 13, e0206695
- Hasegawa Y, Ueno S, Wei FJ, Matsumoto A, Ujino-Ihara T, Moriguchi Y, Kasahara M, Fujino T, Shigenobu S, Yamaguchi K, Bino T, Hakamata T (2020) Development of diagnostic PCR and LAMP markers for *MALE STERILITY 1 (MS1)* in *Cryptomeria japonica* D. Don. BMC Research Notes 13: 457
- Hasegawa Y, Ueno S, Wei FJ, Matsumoto A, Uchiyama K, Ujino-Ihara T, Hakamata T, Fujino T, Kasahara M, Bino T, Yamaguchi K, Shigenobu S, Tsumura Y, Moriguchi Y. (2021) Identification and genetic diversity analysis of a male-sterile gene (*MS1*) in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) . Scientific reports 11: 1496
- 橋詰隼人 (1959) スギ花芽分化におよぼすジベレリンの影響. 日本森林学会誌 41: 375-381
- 橋詰隼人 (1962) スギ花芽分化期および花芽の發育経過について. 日本森林学会誌 44: 312-319
- 橋詰隼人・岡田泰久 (1968) 林木の交配に関する基礎的研究 (I) ヒノキの花粉の形成・發育ならびに採取適期. 日本森林学会誌 50: 304-309
- 橋詰隼人 (1973) 針葉樹の花芽分化. 花性分化とその調整に関する研究. 鳥取大学演習林報告 7: 1-139.
- 林竜馬・兵藤不二夫・占部城太郎・高原光 (2012) 琵琶湖湖底堆積物に記録された過去 100 年間のスギ花粉年間堆積量の変化. 日本花粉学会会誌 58: 5-17
- 林弥栄 (1960) 日本産針葉樹の分類と分布. 農林出版, 東京
- He C, Mascarenhas J P (1998) *MEII*, an *Arabidopsis* gene required for male meiosis: isolation and characterization. Sexual Plant Reproduction 11: 199-207
- 平井信二 (1996) 木材の百科事典. 朝倉書店, 東京
- 本間莉恵・吉井エリ・平英彰 (2006) スギ雄性不稔の検定期間の短縮. 日本森林学会誌 88: 30-32
- 堀口申作・斎藤洋三 (1964) 栃木日光地方における

- スギ花粉症 Japanese Cedar Pollinosis の発見. アレルギー 13: 16-18
- Hosoo Y, Yoshi E, Negishi K, Taira H (2005) A histological comparison of the development of pollen and female gametophytes in fertile and sterile *Cryptomeria japonica*. Sexual Plant Reproduction 18: 81-89
- 井手武・芦田恒夫 (1991) スギ科・ヒノキ科樹木花粉の共通抗原性. アレルギーの臨床 11: 174
- 井出雄二・白石進 (2012) 森林遺伝育種学, 東京
- 五十嵐正徳・渡辺次郎・小沢創・斎藤寛・平英彰 (2004) 福島県でスギ雄性不稔個体を発見 (1) -探索地の選定と雄性不稔個体の確認-. 東北森林科学会誌 9: 86-89
- 石川依久子・中藤成美 (1998) 染色体の観察と研究. 井上勤監修, 植物の顕微鏡観察, 143-173. 地人書館, 東京
- 石野岳志 (2025) ヒノキ花粉症の動向は? JOHNS 41: 1012-1016
- 岩澤勝巳・小平哲夫 (1995) 千葉県における花粉の少ないスギの選抜. 日本森林学会関東支部論文集 47: 55-56
- 梶本卓也・福島成樹 (2015) 森林管理による花粉生産の抑制-間伐の可能性について. 森林科学 73: 17-20
- Kakui H, Ujino-Ihara T, Hasegawa Y, Tsurisaki E, Futamura N, Iwai J, Moriguchi Y (2023) A single-nucleotide substitution of *CjTKPR1* determines pollen production in the gymnosperm plant *Cryptomeria japonica*. PNAS Nexus. 2: 1-8
- 金指達郎・横山敏孝 (1988) 花粉症の原因としてのスギ花粉- 空中花粉が増大した要因- 森林立地 30: 11-16
- 神奈川県 (2018a) 神奈川県花粉発生源対策 10 年計画. 神奈川県環境農政局森林再生課. 横浜
- 神奈川県 (2018b) 品種登録出願資料 “神奈川県無花粉ヒ 1 号”. 横浜
- 環境省 (2009) 花粉症環境保健マニュアル 2009. 環境省環境保護部環境保全課, 東京
- 環境省 (2024) 「令和 6 年度スギ雄花花芽調査の結果等について」 2024 年 12 月 26 日報道発表資料. https://www.env.go.jp/press/press_04186.htm (2025 年 8 月 28 日アクセス)
- 河原孝行 (2014) APG に基づく植物の新しい分類体系. 森林遺伝育種 3: 15-22
- 川名正史・吉井エリ・平英彰 (2006) スギ雌性不稔の発現過程. 日本森林学会誌 88: 156-159
- 河崎久男・福田陽子・武津英太郎・高橋誠 (2008) 関東育種基本区における花粉の少ないヒノキ品種の開発. 森林総合研究所林木育種センター平成 18 年度年報: 48-49
- 木戸口佐織 (2008) スギさし木苗は 10 年以降の成長に期待してください -スギさし木苗と実生苗の植栽後 30 年間の成長量比較-. 岩手の林業 611: 8-9
- 岸川禮子・長野準・勝田満江・宗信夫 (1988) 福岡市におけるスギ・ヒノキ科花粉飛散の年次変動と気象条件: スギ・ヒノキ科花粉飛散予報. アレルギー 37: 355-363
- 岸川禮子 (1997) 原因花粉はどこに飛ぶか. 斎藤洋三総監修, これだけは知っておきたい花粉症, 42-47. NHK 出版, 東京
- 岸川禮子・児塔栄子・押川千恵・宗信夫・下田照文・齋藤明美・佐橋紀男・榎本雅夫・宇佐神篤・寺西秀豊・藤崎洋子・横山敏孝・村山貢司・今井透・福富友馬・谷口正実・岩永知秋 (2017) 花粉抗原からみる日本列島の空中花粉長期調査結果-わが国の重要な木本花粉抗原の地域性と年次変動-. アレルギー 66: 97-111
- 気象庁 (2024) 過去の気象データ検索. <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php> (2024 年 6 月 12 日アクセス)
- 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. 日本森林学会誌 85: 237-240
- 近藤禎二 (2009) 林木育種の成果シリーズ (4) 花粉症対策品種. 林木の育種 232: 61-63
- 倉本恵生 (2021) 気候変動と花粉症. 環境情報科学 50: 42-46
- 倉本哲嗣・藤澤義武 (2013) 講座: 林木育種の現場の ABC (5) 人工交配技術-スギ-. 森林遺伝育種 2: 154-157
- 倉本哲嗣・藤澤義武 (2014) 講座: 林木育種の現場の ABC (6) 人工交配技術-ヒノキ-. 森林遺伝育種 3: 30-33
- 松原篤・坂下雅文・後藤穰・川島佳代子・松岡伴和・

- 近藤悟・山田武千代・竹野幸夫・竹内万彦・浦島充佳・藤枝重治・大久保公裕 (2020) 鼻アレルギーの全国疫学調査 2019 (1998 年、2008 年との比較) : 速報—耳鼻咽喉科医およびその家族を対象として. 日本耳鼻咽喉科学会会報 123 : 485-490
- 松永孝治・倉本哲嗣・下村治雄・江藤幸二 (2008) スギおよびヒノキにおける実生とさし木の初期成長形質の比較. 九州森林研究 61: 124-127
- Matsushita M (2025) Advantages and disadvantages of planting seedlings and cuttings vary with environments: Japanese cedar seedlings achieve greater growth and survival rates but inferior stem forms than cuttings. Forest Ecology and Management 579: 122495
- Mishima K, Hirao T, Tsubomura M, Tamura M, Kurita M, Nose M, Hanaoka S, M Takahashi and Watanabe A (2018) Identification of novel putative causative genes and genetic marker for male sterility in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) . BMC Genomics 19, 277
- 三嶋賢太郎・坪村美代子・平尾知士 (2025) 日本の林木育種の過去・現在・未来 : (2) スギ—16 マーカ―選抜と無花粉スギ育種の今後. 森林遺伝育種 14 : 54-58
- 三浦沙織・行田正晃・山本格・五十嵐正徳・平英彰 (2011) 四分子期に異常が発生するスギ雄性不稔 4 系統の発現過程. 日本森林学会誌 93 : 1-7
- 宮嶋大介・吉井エリ・細尾佳宏・平 英彰 (2010) スギ雄性不稔新大 8 号の細胞学的・遺伝的特性. 日本森林学会誌 92: 106-109
- 宮島寛 (1989) 九州のスギとヒノキ. 九州大学出版会, 福岡
- 宮地直道 (1987) 日本の埋没林研究に向けて. 植生史研究 2 : 3-12
- 宮下智弘 (2007) 多雪地帯に植栽されたスギ挿し木苗と実生苗の幼齡期における成育特性の比較. 日本森林学会誌 89 : 369-373
- 宮沢敏雄 (1983) 大雄山スギ林の調査報告 - 現況の把握とその対応措置 -. 神奈川県文化財調査報告書 43:3-34,
- Moriguchi Y, Ujino-Ihara T, Uchiyama K, Futamura N, Saito M, Ueno S, Matsumoto A, Tani N, Taira H, Shinohara K, Tsumura Y (2012) The construction of a high-density linkage map for identifying SNP markers that are tightly linked to a nuclear recessive major gene for male sterility in *Cryptomeria japonica* D. Don. BMC Genomics 13: 95.
- Moriguchi Y, Ueno S, Higuchi Y, Miyajima D, Ito S, Futamura N, Shinohara K, Tsumura Y (2014) Establishment of a microsatellite panel covering the sugi (*Cryptomeria japonica*) genome, and its application for localization of a male-sterile gene (*ms-2*) . Molecular Breeding 33: 315-325
- Moriguchi Y, Uchiyama K, Ueno S, Ujino-Ihara T, Matsumoto A, Iwai J, Miyajima D, Saito M, Sato M, Tsumura Y (2016) A high-density linkage map with 2560 markers and its application for the localization of the male-sterile genes *ms3* and *ms4* in *Cryptomeria japonica* D. Don. Tree Genet Genomes 12: 57
- Moriguchi Y, Ueno S, Hasegawa Y, Tadama T, Watanabe M, Saito R, Hirayama S, Iwai J, Konno Y (2020) Marker-assisted selection of trees with *MALE STERILITY 1* in *Cryptomeria japonica* D. Don. Forests. 11: 734.
- Muranaka M, Suzuki S, Koizumi K, Takafuji S, Miyamoto T, Ikemori R, Tokiwa H (1986) Adjuvant activity of diesel exhaust particles for the production of IgE antibody in mice. Journal of Allergy and Clinical Immunology 77: 616-623
- 内閣官房 (2023) 花粉症に関する関係閣僚会議. 花粉症対策の全体像. 会議決定 (令和 5 年 5 月 30 日) . https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kafun/pdf/230530_honbun.pdf (2025 年 8 月 29 日アクセス)
- 難波弘行・坪井昭・三好教夫 (1997) 岡山県内のスギ・ヒノキ科花粉の飛散状況とその予測の可能性について. 日本花粉学会会誌 43: 87-96
- 日本林業技術協会編 (1973) 林業技術史第 3 巻 (造

- 林編、森林立地編、保護・食用菌編), 145-146. 日本林業技術協会, 東京
- 西岡常一・小原次郎 (1978) 法隆寺を支えた木. 日本放送出版協会, 東京
- 丹羽花恵 (2021) スギ少花粉品種を用いたコンテナへの直挿しおよび早期移植による発根成績. 岩手県林業技術センター研究報告 29: 1-7
- 小笠原寛・吉村史郎・後藤操 (2000) 雨や無風によるヒノキ花粉飛散量の減少. 日本花粉学会会誌 46: 39-44
- 奥田稔・宇佐神篤・岸川禮子 (2006) 空中飛散スギ、ヒノキ花粉数の最近の年次推移. アレルギー 55: 1531-1535
- 大場秀章 (2009) 植物分類表. アボック社, 鎌倉
- 大庭喜八郎・勝田 証 (1991) 林木育種学. 文永堂出版, 東京
- 大黒正・岡村政則 (1987) ヒノキ属の種間雑種 (ヒノキ×サワラおよびローソンヒノキ) の形態および細胞学的研究. 林木育種センター研究報告 5: 59-87
- 大木靖衛・小鷹滋郎・杉山茂夫 (1985) 箱根芦ノ湖の逆さ杉と南関東の巨大地震. 神奈川県温泉地学研究所報告 16: 65-72
- 太田信生 (2019) スギ・ヒノキ花粉症 新たな展開と展望を検証する. アレルギー・免疫 26: 141-143
- 大津志津香・石田弓子・中山侑也 (2020) 三瓶小豆原埋没林の保存に関する経緯と課題. 島根県立三瓶自然館研究報告 18: 129-137
- 林業種苗研究会編 (2010) 林業種苗の生産・配布に必要な知識 (増補第4版). 全国山林種苗協同組合連合会, 東京
- 林野庁 (2017) スギ・ヒノキ林に関するデータ. https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/kafun/data.html (2024年6月12日アクセス)
- 林野庁整備課 (2024) 林業種苗の概要. 林野庁, 東京
- 佐橋紀男 (2014) 2014年のスギ花粉前線. 日本花粉学会会誌 60: 37-45
- 佐橋紀男・岸川禮子・芦田恒雄・藤崎洋子 (2014) スギ・ヒノキ花粉観測30年以上の4地点における年次変動の比較. 日本花粉学会会誌 60: 63-68
- 佐橋紀男 (2018) 2018年のスギ花粉前線. 日本花粉学会会誌 64: 7-17
- 佐橋紀男・花粉情報協会 (2002) ここまで進んだ花粉症治療法. 岩波書店, 東京
- 齋藤明美・村上昭代・福富友馬・石井豊太・安枝浩・谷口正実 (2017) 相模原市における空中飛散花粉の50年間の推移. 日本花粉学会会誌 62: 75-85
- 齋藤央嗣・明石孝輝 (1998) 雄花着花性の選抜効果. 日本森林学会発表論文集 109: 359-362
- 齋藤央嗣・明石孝輝 (2004) ヒノキ雄花着花性の選抜効果. 林木の育種 211: 1-7
- 齋藤央嗣 (2006) 精英樹種苗からの花粉のないスギの選抜. 公立試験研究機関研究成果選集 3: 49-50
- 齋藤央嗣・毛利敏夫・河野明子 (2010a) 花粉のないスギ・ヒノキ実用化プロジェクト. 平成21年度神奈川県自然環境保全センター研究部業務報告 42: 101-102
- 齋藤央嗣・藤澤示弘・越地正・毛利敏夫・河野明子 (2010b) 無花粉スギ実生苗の出荷—第61回全国植樹祭での種苗・育種関係事業の取り組み. 林木の育種 237: 33-35
- 齋藤央嗣・越地正・毛利敏夫・河野明子 (2011) 神奈川県におけるスギ林の着花状況と花粉飛散予測. 神奈川県自然環境保全センター報告 8: 1-8
- 齋藤央嗣 (2012) 林木育種の成果シリーズ (17) —花粉症対策品種 (成果の普及と神奈川の事例を中心に) —林木の育種 245: 29-33
- 齋藤央嗣 (2017) ヒノキ両性不稔個体の発見. 日本森林学会誌 99: 150-155
- 齋藤央嗣・横山敏孝・越地正 (2017) 林齢の異なるヒノキ林の雄花量の年次変動. 日本森林学会大会学術講演集 122: E22
- 齋藤央嗣・森口喜成・高橋誠・平岡裕一郎・山野邊太郎 (2020) ヒノキ両性不稔品種“神奈川無花粉ヒ1号”の特性. 神奈川県自然環境保全センター研究報告 16: 1-8
- 齋藤央嗣 (2022) 無花粉ヒノキの発見及びスギ・ヒノキ花粉症対策品種の実用化. 森林遺伝育種 11: 54-58
- 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
- 斎藤真己・古賀由美子・古田喜彦・平英彰 (2005) 採種園産実生個体からの雄性不稔スギの選抜. 日本森林学会誌 87: 1-7
- 斎藤真己・平英彰 (2006) ガラス室内スギミニチュア採種園の特徴とその有効性. 日本森林学会誌 88: 187-191
- 斎藤真己 (2009a) 雄性不稔遺伝子を保有したスギの列状配置室内ミニチュア採種園の有効性. 日本森林学会誌 91: 168-172
- 斎藤真己 (2009b) 無花粉 (雄性不稔) スギのデータベース. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所
- 斎藤真己 (2010) スギ花粉症対策品種の開発. 日本森林学会誌 92: 316-323
- 斎藤真己・寺西秀豊 (2014) 無花粉 (雄性不稔) スギ品種の開発. 日本花粉学会会誌 60: 27-35
- 斎藤真己 (2015) スギ・ヒノキ花粉症対策品種の開発と普及. 森林科学 73: 21-25
- 斎藤真己 (2018) 無花粉スギの品種開発と普及. 森林技術 913: 12-15
- 斎藤真己 (2022) 規格外になった無花粉スギ実生大苗をコンテナさし木苗へ転換する方法. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告 14: 1-4
- 斎藤洋三・井手武 (1994) 花粉症の科学, 化学同人, 東京
- 斎藤洋三・井手武・村山貢司 (2006) 新版花粉症の科学. 化学同人, 東京
- 酒井敦・北原文章・山中啓介・三島貴志・岩田若奈・島田博匡・奥田清貴・中島富太郎・山下由美子・藤井栄・渡辺直史・鷹野孝司 (2019) 低コスト育林を目指した植栽試験におけるスギ・ヒノキ苗の活着率と初期成長. 日本森林学会誌 101: 94-98
- 佐藤敬二 (1971) 日本のヒノキ (上巻). 全国林業改良普及協会, 東京
- 佐藤敬二 (1973) 日本のヒノキ (下巻). 全国林業改良普及協会, 東京
- 信太隆夫・清水章治 (1983) 図説スギ花粉症. 金原出版, 東京
- 森林・林業・木材辞典編集委員会編 (1993) 森林・林業・木材辞典. 日本林業調査会, 東京.
- 森林総合研究所林木育種センター (2023) 花粉発生源対策のための育種. <https://www.ffpri.go.jp/ftbc/business/sinhijnnsyu/kafunsyotaisaku/kafunsyotaisaku.html> (2025年10月20日アクセス)
- 須藤守夫・須藤礼子・雑賀優 (2011) 気象データによる盛岡市のスギ・ヒノキ花粉飛散数の予測. 日本花粉学会会誌 57: 17-24
- 鈴木清 (1986) 大雄山寺有林と複層林施業一日本一の蓄積をもつ杉人工林一. 林業技術 528: 7-10
- 鈴木三男 (2002) 日本人と木の文化. 八坂書房, 東京
- 衆議院事務局 (2018) 第196回国会 衆議院 農林水産委員会議録第3号 平成30年3月20日. 1-28
- 平英彰・寺西秀豊・劔田幸子 (1993) スギの雄性不稔個体について. 日本森林学会誌 75: 377-379
- 平英彰・寺西秀豊・劔田幸子 (1997) 平均気温、全天日射量及び着花指数を用いたスギ空中花粉総飛散数の予測方法に関する比較検討 ―富山県における事例―. アレルギー 46: 489-495
- Taira H, Saito M, Furuta Y (1999) Inheritance of the trait male sterility in *Crytomeria japonica*. Journal of Forest Research 4: 271-273
- 平英彰 (2004) スギ雄性不稔 (無花粉スギ) の利用と展望. 林木の育種 213: 8-11
- 平英彰 (2005) 日本人はスギ花粉症を克服できるか. 新潟日報事業社, 新潟
- 平英彰・斎藤真己・五十嵐正徳・齋藤央嗣 (2005) スギ雄性不稔個体の選抜. 林木の育種 216: 17-18
- 高橋誠 (2022) 花粉症対策に向けた林木育種の取組. 森林技術 959: 2-6
- 高橋誠・星比呂志・岩泉正和・久保田正裕・福田陽子・武津英太郎・栗延晋 (2005) 無花粉スギ「爽春」の特性と雄性不稔を取り入れた今後の育種の展開. 林木の育種 216: 55-58
- 田丸典彦 (1991) イネ雄性不稔遺伝子の遺伝子解析と形質発現. 植物細胞工学 3: 13-23
- 田丸典彦 (1994) イネの遺伝的雄性不稔性と雑種不稔性に関する育種学的研究. 北大農学部邦文紀要 19: 203-256
- 田中孝治・岡田和智・各務智子・吉田真也・田口実

- 佳・山崎太 (2005) 岐阜県大垣市における2005年のスギ花粉飛散数予測. 日本花粉学会会誌 51: 13-16
- 寺嶋芳江 (2016) 風土病といわれてきたチャアナタケモドキ *Fomitiporia torreyae* に起因するスギ *Cryptomeria japonica* 非赤枯性溝腐病の発生生態研究史. 日本きのこ学会誌 24: 113-120
- 戸田忠雄・藤本吉幸 (1983) : ヒノキさし木に関する研究 (I) 一精英樹クローンのさし木発根性. 日本林森林学会九州支部研究論文集 36: 129-130
- 東京都福祉保健局 (2017) 花粉症患者実態調査報告書 (平成28年版). 東京都福祉保健局, 東京
- 東京都保険医療局 (2024) 東京都アレルギー情報navi. 過去の飛散花粉数データ. <https://www.hokeniryo.metro.tokyo.lg.jp/allergy/pollen/archive/archive.html> (2024年6月12日アクセス)
- 坪村美代子・郷田乃真人・平尾知士・三嶋賢太郎・小長谷賢一・田村美帆・高橋誠・渡辺敦史 (2019) 雄性不稔スギ「爽春」の雄性不稔原因遺伝子を持つ個体を検出する簡易DNAマーカーの開発. 日本林森林学誌: 101: 155-162
- Tsumura Y, Kimura M, Nakao K, Uchiyama K, Ujino-Ihara T, Wen Y, Tong Z and Han W. (2020) Effects of the last glacial period on genetic diversity and genetic differentiation in *Cryptomeria japonica* in East Asia. *Tree Genetics & Genomes* 16, 19. <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1411-0>
- Tsurisaki E, Nameta M, Shibata S, Hirayama S, Iwai J, Ohashi R, Otani M, Ito Y, Matsumura N, Moriguchi Y (2024) Cytological analysis of male-sterile *MS5* Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and comparison with other male-sterile mutants. *Journal of Plant Biology* 67: 11-23. <https://doi.org/10.1007/s12374-023-09415-3>
- Tsuruta M, Ueno S, Maruyama TE, Hakamata T, Moriguchi Y (2022) Application of STH-PAS, a novel chromatographic visualization system of PCR products for rapid screening of male-sterile lines in *Cryptomeria japonica*. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute* 21: 223-227
- Ueno S, Ito Y, Hasegawa Y, Moriguchi Y (2024) Developing simple DNA extraction and PCR-RFLP for *MALE STERILITY 4 (MS4)* gene in *Cryptomeria japonica* D. Don: toward an environmentally friendly protocol. *Tree Genetics & Genomes* 20: 49
- 渡部大寛・竹石雄高・上野真義・長谷川陽一・森口喜成 (2025) スギ雄性不稔遺伝子座 *MS1* における新たな雄性不稔対立遺伝子 *ms1-3* の発見. 日本森林学会誌 107: 256-261
- Watanabe M, Ueno S, Hasegawa Y, Moriguchi Y (2022) Efficient low-cost marker-assisted selection of trees with *MALE STERILITY 1 (MS1)* in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) using bulk DNA samples. *Tree Genetics & Genomes* 18:29
- Watanabe M, Ueno S, Hasegawa Y, Hirayama S, Iwai J, Kakui H, Moriguchi Y (2024) Development and application of a KASP marker for marker-assisted selection against the male-sterile gene *MALE STERILITY 4 (MS4)* in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). *New Forests* 55:1349-1362.
- 渡辺哲生・鈴木正志 (2020) スギ花粉飛散と比較したヒノキ花粉飛散状況の検討. 日本耳鼻咽喉科学会会報 123: 139-144
- 山崎太 (1992) スギ花粉症—その原因と対策—増補新版. 医薬ジャーナル社, 大阪
- 八坂通泰 (2005) シラカンバ、ダケカンバの花粉生産および飛散特性. 日本森林学会誌 87: 20-26.
- Yasaka M, Kobayashi S, Takeuchi S, Tokuda S, Takiya M, and Ohno Y (2009) Prediction of birch airborne pollen counts by examining male catkin numbers in Hokkaido, northern Japan. *Aerobiologia* 25: 111-117.
- 安田誠 (2024) 花粉飛散情報. 鼻アレルギーフロンティア 24: 16-19

- 安枝浩（2002） スギ花粉症におけるヒノキ花粉の関与．JOHNS 18： 47-51
- 横山敏孝・金指達郎（1992） 着花率によるスギ人工林の雄花量の推定．日本森林学会発表論文集 103： 327-328
- 横山敏孝・金指達郎（2001） 花粉飛散予測のためのスギ林の雄花量推定法．日本林学会関東支部大会発表論文集 53： 137-138
- 吉井エリ・平英彰（2007） 「新大1号」「新大5号」におけるスギ雄性不稔性の発現過程と遺伝的特性．日本森林学会誌 89： 26-30
- 湯田厚司・小川由起子・鈴木祐輔・有方雅彦・神前英明・清水猛史・太田伸男（2015） スギ花粉症における舌下免疫療法 191 例の初年度治療成績．アレルギー 64： 1323-1333
- 湯田厚司・鵜飼幸太郎・坂倉康夫・谷秀司・松田ふき子・楊天群・間島雄一（2002） 基準木の雄花着生状況によるスギ花粉飛散予想．アレルギー 51： 577-582
- 全国林業改良普及協会（2024） 令和5年度花粉発生源対策事業スギ・ヒノキ雄花の着花量調査の推進事業報告書．（一社）全国林業改良普及協会，東京
- 全国林業改良普及協会（2025） 令和6年度花粉の少ない森林への転換促進対策のうちスギ雄花花芽調査等の推進事業報告書．（一社）全国林業改良普及協会，東京．

神奈川県自然環境保全センター報告編集要領

(趣 旨)

第1条 この要領は、神奈川県自然環境保全センター報告（以下、「センター報告」という。）の編集に関して必要な事項を定める。

(目 的)

第2条 センター報告は神奈川県自然環境保全センター（以下、「保全センター」という。）の業務から得られた研究成果及び知見を県民及び他の行政機関等に提供するとともに、記録・保存することを目的とする。

(掲載原稿の種類)

第3条 原稿の種類は、次に掲げるものとし、内容は別に定める「神奈川県自然環境保全センター報告投稿規定」（以下、「投稿規定」という。）による。

- (ア) 原著論文
- (イ) 調査・研究報告
- (ウ) 事業報告
- (エ) 速報
- (オ) 資料
- (カ) その他

(投稿者)

第4条 センター報告への投稿者は次のいずれかに該当するものとする。

- (1) 保全センター職員
- (2) 保全センター職員との共同調査研究者又は共著者
- (3) 編集委員会が依頼した者（特別寄稿）又は認めた者

(発 行)

第5条 センター報告は、原則として、年1回発行する。ただし、第8条の編集委員会が必要と認めた場合は、この限りではない。

(原稿の提出)

第6条 投稿者は、別に編集委員会が定める期日までに、投稿規定に定められた原稿を編集委員会に提出する。

(原稿の審査)

第7条 前条の規定により提出された原稿は、編集委員会において審査を行い、採択を決める。

2 編集委員会は、原著論文の審査に際し、必要に応じて外部学識経験者に査読を依頼し、意見を求めることができる。

3 編集委員会は必要に応じ、原稿の修正を求めることができる。

(編集委員会)

第8条 前条に規定する投稿原稿の審査等を行うため、編集委員会を置く。

2 編集委員会は、所長、副所長、研究企画部長兼自然保護公園部長、森林再生部長、自然再生企画課長、研究連携課長により構成する。

3 編集委員会には委員長を置き、所長を充てる。所長が不在の時は副所長が代行する。

4 編集委員会の庶務は、研究連携課が行う。

5 編集委員会は、必要に応じて、構成員以外の者の出席を求め、その意見を聴くことができる。

(その他)

第9条 この要領に定めるもののほか、編集に関して必要な事項は別に定める。

(附 則)

1 この要領は、平成15年12月1日から施行する。

2 神奈川県自然環境保全センター研究報告編集要領及び神奈川県自然環境保全センター自然情報編集要領は廃止する。

(附 則)

この要領は、平成16年11月18日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成18年1月13日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成19年4月1日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成22年4月1日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成25年6月19日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成26年9月1日から施行する。

神奈川県自然環境保全センター報告投稿規定

(趣 旨)

神奈川県自然環境保全センター報告（以下、「センター報告」という。）は、当センターにおける研究業績、事業に関係する調査研究結果を投稿することができる。投稿者資格は神奈川県自然環境保全センター報告編集要領（以下、「編集要領」という。）による。

(原稿の種類)

原稿の種類は、原著論文、調査・研究報告、事業報告、速報、資料、その他（特別寄稿、各年度の他紙発表原著論文の要旨）とし、その内容は以下のとおりとする。

(1) 原著論文

日英表題、要旨（5字以内のキーワードを添付する）、本文および図表、引用文献からなり、未発表の内容を含み、十分な考察がなされているもの。

(2) 調査・研究報告

日英表題（英は省略可）、要旨（省略可）、本文および図表、引用文献からなり、研究に関する調査結果をとりまとめたもの（報告書）。

(3) 事業報告

表題、要旨（省略可）、本文および図表、引用文献からなり、研究以外の業務に関する結果をとりまとめたもの（報告書）。

(4) 速報

日英表題（英は省略可）、要旨（省略可）、本文および図表、引用文献からなり、新規性がありかつ公表の緊急性が高いもの、新たに開発された研究方法や機械の紹介、既成の知見を確認する報文や貴重な測定結果等。

(5) 資料

表題、データ等からなり、業務で得られた測定結果、知見、記録などを簡潔にとりまとめたもの。

(6) その他

(1) から (5) に該当しない種類で、センター報告編集委員会（以下、「編集委員会」という。）が認めたもの。総説・調査報告・国際学会報告・他紙発表原著論文の要旨等。

(原稿の書き方)

原著論文、報告、速報、資料は、以下の書式に従う。他も可能な限り従うものとする。なお、編集委員会が必要と認めたものはこの限りではない。

- (1) 要旨は冒頭に著者名、表題、神奈川県自環境セ報告、空白（15 文字分）を付加し、これらを含めて和文は 500 字以内、英文は 250 語以内とする。要旨中では図・文献・数式などの引用は避け、行を変えない。
- (2) 原著論文の表題は、連報性（Ⅰ、Ⅱ等のついた表題）にしない。また、「…に関する研究」や「…について」などの表現は避ける。
- (3) 原稿は、パソコン等に入力して作成し、A 4 判の白紙に横書きで、横 23 字×縦 42 行に整えたものとする。新仮名遣いにより、学術用語以外は常用漢字を用いる。原稿中に欧語を用いるのは、その必要がある場合に限る。なお原稿の長さは、図・表・写真等を含め原則として刷り上がり 10 頁以内とする。
- (4) 図表の文字は MSP 明朝で入力する。
- (5) カタカナ表記はすべて全角入力とする（半角ｶﾀｶﾅは使用しない）。
- (6) 数字は半角で入力し、3 桁ごとにカンマ（,）を入れる。
- (7) 英文は半角で入力し、カンマ（,）、ピリオド（.）も半角とする。なお、単語と単語の間には半角ダブルスペース（ ）を、カンマ及びピリオドの後には半角スペース（ ）を入れる。
- (8) 動物・植物の和名は全角カタカナ書きとし、学名はイタリックとする。これらの字体の指定は、太字指定、数式（係数など）の字体などとともに下記の例にならってすべて朱書きとする。単位は慣用となっている略字によって記載し、ピリオドをつけない。単位、数は半角表記とする。

Pinus → *Pinus*

- (9) 図および写真は下端に、また、表は上端にそれぞれ通し番号（図 1、表 1 など）をつけた表題を付ける。また上端外に著書名、通し番号をつける。表題や注には英文を併記することができる。
- (10) 引用文献はアルファベット順に記載する。本文中での引用は、該当人名に（年号）あるいは事項に（人名， 年号）をつけて引用する。後述の方

法で同一年号の場合は年号のあとに発表順に a、b、c をつける。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、欧文の場合は Forestry Abstracts にならう。巻通しページがある場合は巻のみとし、ないときは、巻（号）を併記する。記載方法は次の例に従う。

例

（ア）雑誌の場合

山根正伸・横内宏宣（1991）スギノアカネトラカミキリによる林分内被害量調査法．日本林学会誌 73：264－269

Yamane, M., Hayama, S. and Furubayashi, K (1996) Over-winter weight dynamics in supplementally fed free-ranging sika deer (Cervus Nippon). Journal of Forest Research 1(3):143-153

（イ）書籍の場合

中川重年（1994）検索入門針葉樹．188pp，保育社，大阪．

Levitt, J. (1972) Responses of plant to environmental stresses. 697pp, Academic Press, New York and London.

（ウ）書籍中の場合

小林繁男（1993）熱帯林土壌の瘦悪化．280-333．熱帯林土壌．真下育久編，385pp，勝美堂，東京．

Wells, J. F. and Lund, H. G. (1991) Integrating timber information in the USDA Forest Service. 102-111. In Proceedings of the Symposium on Integrated Forest Management Information Systems. Minowa, M. and Tsuyuki, S. (eds.), 414pp, Japan Society of Forest Planning Press, Tokyo.

（11）執筆原稿に連帯して責任を持つ場合は共著とすることができる。また、自然環境保全センター職員等および当センター職員以外の県職員が業務として協力した場合は、機関名・所属名により謝意を表す。

（12）その他文章の書き方、本文中の番号の記載順序は、原則として神奈川県文書管理規定に従う。

（例 I → 1 → (1) → ア → (ア) など）

（原稿の提出）

投稿者は、別に定める期日まで、原稿 2 部を各部編集委員会事務局員に提出する。提出にあたっては、原則として本文はワード、一太郎またはテキストファイル形式で 図表はエクセルファイル形式で、写真は PDF・JPEG・TIFF ファイル形式で、CD、MO、FD などの電子媒体 1 組に保存したものを添付する。

（原稿の修正）

投稿された原稿は、編集要領に基づき審査を行い、掲載の可否を決定するとともに、審査結果により修正を求める場合がある。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 15 年 12 月 10 日から施行する。
- 2 神奈川県自然環境保全センター研究報告投稿規定および神奈川県自然環境保全センター自然情報投稿規定は廃止する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 16 年 11 月 18 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 18 年 1 月 13 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 18 年 10 月 10 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 25 年 6 月 19 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 26 年 9 月 1 日から施行する。

**神奈川県自然環境保全センター報告
第 20 号**

令和 8 年 7 月 発行

発 行 神奈川県自然環境保全センター
厚木市七沢 657
TEL (046) 248-0323 (代)
〒243-0121

編集・印刷 有限会社 青史堂印刷
相模原市南区古淵 6-28-37
TEL (042) 748-3921
〒252-0344



神奈川県

自然環境保全センター

厚木市七沢 657 〒243-0121 TEL (046)248-0323(代)

<http://www.pref.kanagawa.jp/div/1644>