

解 説

Agrochemistry and Biology Series

スギ花粉の諸問題

本 間 環

東京農業大学農学部林学科

(平成7年8月20日受理)

Problems of the Pollen of *Cryptomeria japonica* D. DON

Tamaki HONMA

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Tokyo University of
Agriculture, Setagaya-ku, Tokyo 156, Japan

は じ め に

スギ花粉は、うららかな春の日に多くの日本人を苦しめる、「スギ花粉症」の発生源である。日本におけるスギ花粉症は、1964年に栃木県日光において初めて報告されたり、当時スギ花粉症は、メジャーなアレルギー性の疾患ではなかったために、あまり注目されなかった。しかし、1970年以降から急激にスギ花粉症患者が増加し、現在では国民の約10%がスギ花粉症ともいわれている。このようにスギ花粉症の患者が増加した理由としては、太平洋戦争後の復旧および拡大造林の時代に植栽したスギが生殖成長を始める時期に達したこと、公害による人間の生活環境および食生活の変化、などが考えられている。近年、スギ花粉症に関する研究が飛躍的に進歩し、アレルゲン (allergen) の発見、環境要因との関連が明らかにされてきた。しかし、スギ花粉症が報告されて以来、約30年以上も経過している現在でも、その完全な治療の手段および有効な花粉飛散防止の手段は、ほとんど開発されていない。とかく悪玉として登場しがちな「スギ花粉」ではあるが、木材としては利用価値が高く良質材を生産するスギの育種、地層年代の決定などに有効利用されている事実も忘れてはならない。これまでも、スギ花粉症に関する林業的な総説²⁾はあるが、ここではスギ花粉症を一層理解するために、発生源である花粉の形態、生理および花粉症防除に関する植物学および医学のさまざまなアプローチについて紹介する。

スギ花粉とスギ花粉症発生のメカニズム

1. スギ花粉形成および花粉の形態、生理

スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) は裸子植物に属し、雌雄同株でその花は雄花と雌花というように、花性により独立した花を着生する単性花である。図1にスギの雄花および雌花を示す。スギの雄花は1個当り長さが数mmから1cm程度で、数個あるいは数十個から構成される一つの集団を形成する。花を着生させる樹齡は自然状態で約20年前後、植物ホルモンのジベレリン (GA) を用いると発芽当年の苗木でも雄花を着生させることが知られている。図2にスギの生殖サイクルを示す。スギ雄花は6月下旬から9月下旬に、雌花は7月中旬から9月中旬に形成される。そして、雄花の葯中で花粉母細胞から花粉四分子を経て細胞分裂を行ない、11月までには成熟した状態³⁾の花粉となり雄花の開花を待ち、関東近辺では2月から3月にかけて開花する。スギの花は風媒花のため、大量の花粉が生産される。その花粉の量は、雄花1個当り約40万個と推定されている⁴⁾。表1にスギ花粉の飛散条件を示す。スギ雄花の開花は、日射量、日照時間、最高気温、平均気温、降水量⁵⁾ および10°C以上の日数⁶⁾などの気象条件と関連のあることが示唆されている。また、これまでの報告で、積算温度とスギの開花には、関連のあることが報告されている^{7,8)}。図3に成熟したスギ花粉の形態を示す。成熟した花粉は、栄養核と生殖核の二つの核をもつ二核性の花粉である。スギ花粉の大きな形態的特徴は、花粉外壁部に指状突起 (パピラ) がみられることである。ま

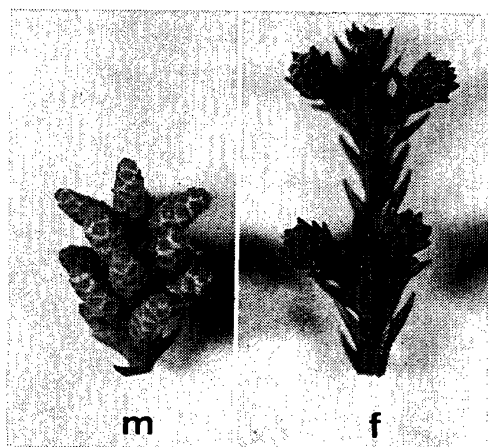


図1 スギの雄花および雌花
m は雄花, f は雌花。

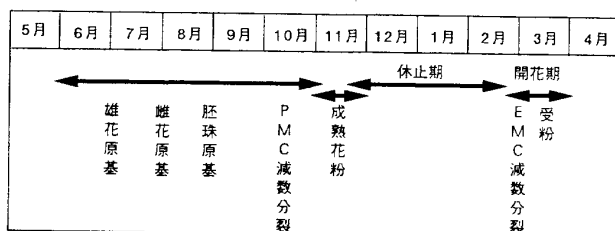


図2 スギの生殖サイクル

PMC は花粉母細胞, EMC は胚のう細胞。

表1 スギ花粉の飛散条件

1. 温暖で乾燥した日に飛散する。
2. 最高気温が 10℃ に達した日に飛散する。
3. 強風により飛散する。
4. 雨降りのような湿度が高い日にはあまり飛散しない。
5. 雨の翌日の晴天に飛散する。

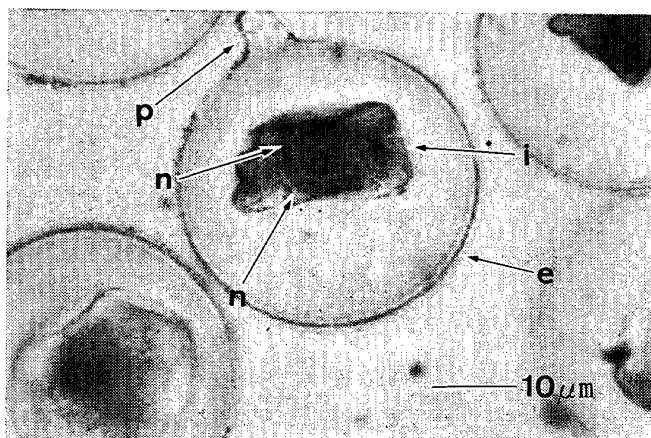


図3 成熟したスギ花粉の形態

e は花粉外壁, i は花粉内壁, n は栄養核または生殖核, p は指状突起(パピラ)。

た, 花粉壁は内壁 (intine) と外壁 (extine) に分けられ, さらに外壁は内層 (nexine) と外層 (sexine) の二層構造となっている。スギ花粉は吸水すると容易に花粉外壁が割れて, 花粉内壁に包まれた花粉原形質体が現れる。

2. スギ花粉に含まれる花粉症発生病因子

スギ花粉中にはこれまでに Cryj I⁹⁾, Cryj II¹⁰⁾ という2種類のメジャーアレルゲン (major allergen) が同定されている。これらは, 塩基性のタンパク質で 40 kDa 前後である。しかし, 両者は N 末端アミノ酸配列にはほとんど相同性がみられず, 抗原性に関してもお互いに交差反応のない, 独立したものであると考えられている。Cryj I はおもに花粉外壁の外層表面とオービクル (orbicle) に存在し, 花粉細胞質のゴルジ体にも極微量に存在している^{11,12)}。Cryj II は花粉壁には存在せず, 花粉細胞質内のアミロプラスト内デンプン粒に局在している¹²⁾。これらのことは, Cryj I と Cryj II とには器官特異性のあることを示唆している。

3. スギ花粉症発生のメカニズム

スギ花粉症は, IgE 抗体の蓄積により発生する。まず, 鼻粘膜や結膜に花粉が吸着し, 水分により膨潤し花粉外壁が割れ, 花粉原形質体が現れる。その後, 抗原である Cryj I, Cryj II 抗原分子は, 粘膜内に吸収され上皮皮下に存在する抗原提示細胞のマクロファージに貪食される。マクロファージは, 抗原物質を細胞内の代謝によって修飾し, マクロファージ細胞表面へ提示し, その情報をヘルパー T 細胞が特異的に認識する。ヘルパー T 細胞は, 抗原に特異的に働く B 細胞の分化増殖を行なう。その後 B 細胞は, IgE 抗体生産細胞に誘導, クラス変換される。この細胞が, IgE 抗体を生産する。この IgE 抗体生産細胞は扁桃, リンパ節, 腸管粘膜に多く認められる。このようにして生産された IgE 抗体は, 鼻粘膜や網膜などの肥満細胞, 好塩基球表面の IgE レセプターと結合し花粉症の症状が発現する¹³⁾。

スギ花粉の諸問題

1. スギ花粉症の現状

スギ花粉症が初めて栃木県日光で確認されて以来, 現在に至るまでスギ花粉飛散量の増加とともに花粉症患者数は増加している (図4)。この原因としては, 次の項目 (1~3) が考えられる。

1) スギ人工造林による影響

日本の森林面積は 2462 万 ha (日本国土面積の 66%) で, このなかの 450 万 ha (日本国土面積の 11.9%) がスギ人工林である。とくに, 秋田, 奈良, 徳島, 大分,

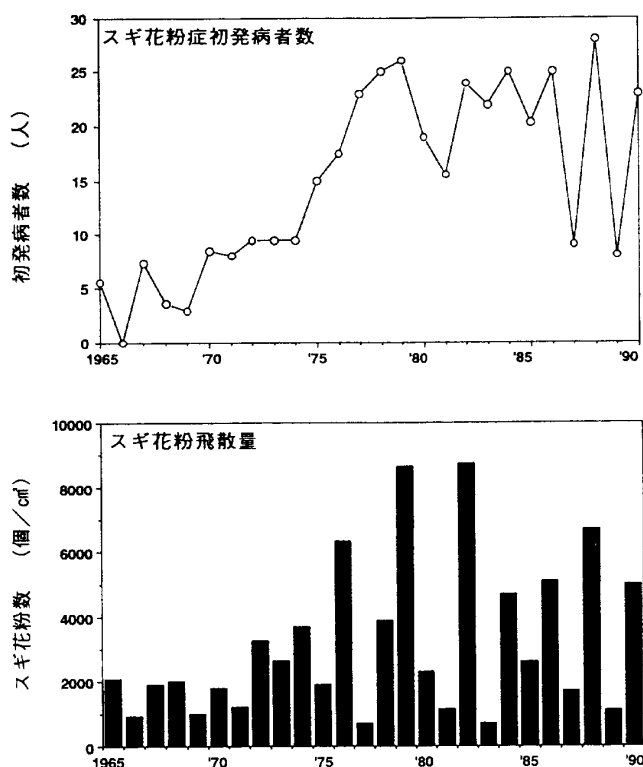


図4 スギ花粉の飛散量と花粉症患者数の変化

花粉飛散量は国立相模原病院の調査による。初発患者数は調査対象 395 人についての調査 (東京医科歯科大学) による。斎藤洋三³¹⁾ から引用改変。

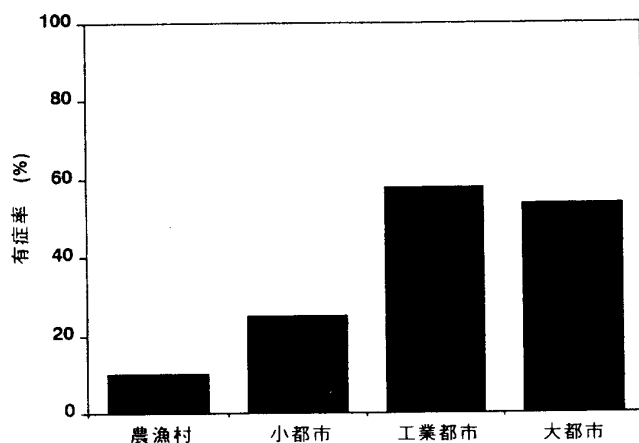


図5 地域特性とアレルギー性鼻炎の有症率

有症率 (%) = (アレルギー性鼻炎/皮内反応陽性者) × 100

東京慈恵医科大学調査 (1972~1981 年)。竹中ら³²⁾ から引用。

は人工造林による林業が行なわれていた。日本の有名林業地の一つ吉野も 18 世紀には、本格的にスギの植栽が行なっている。全国的な規模でスギ人工造林が行なわれたのは、明治から大正時代にかけての 1899 年から 1921 年と太平洋戦争後の 1950 年から 1970 年代前半頃まで¹⁴⁾である。前者は木材需要、荒廃林地の増加にともなった国有林経営のため、後者は太平洋戦争で生じた荒廃林地の復旧造林およびその後拡大造林のために、スギ造林地が増加した。とくに、太平洋戦争後の復旧および拡大造林の時代には、高度経済成長対策により、木材需要の緊迫した社会的請求によって、経済価値の高い良質材であるスギ、ヒノキは大規模に造林された。現在では、スギの人工造林は減少しているため、スギ林の面積は増加していない。しかし、スギ人工林を構成する樹齢は 30 年前後で、生殖成長が盛んな時期であるために、花粉生産量の減少は望めない。

2) 大気汚染による影響

スギ花粉症と大気汚染の関連が明らかにされる以前から、 SO_x や NO_x が大気汚染地域の気管支喘息の原因であることが注目されてきた¹⁵⁾。図 5 に地域特性とアレルギー性鼻炎の有症率を示す。有症率は工業都市がもっとも多く、大都市、小都市、農漁村の順となっている¹⁶⁾。このことから大気汚染と花粉症には、関連のあることが考えられる。しかし、スギ花粉症は IgE に由来するために、その原因は SO_x や NO_x であるとは考えにくかった。1986 年に初めてディーゼル内燃機関排気物質 (DPE) が、マウスの IgE 抗体の生産を高めること¹⁷⁾が明らかにされて以来、大気汚染と花粉症との関連が示唆されている。現在、DPE と IgE 抗体生産の関連の研究は続けられているが、ヒトの免疫性に関する研究はやっと始められたばかりである。

3) 食生活の変化による影響

これまで、スギ花粉症と食生活の問題については詳しい報告はほとんどみられない。そこで、スギ花粉症患者の年齢分布から、食生活との関連を推察した。図 6 にスギ花粉症患者の年齢分布を示す。昭和 54 年には 30 歳代でもっとも患者が多く、これをピークに 50 歳以上の高齢者では花粉症患者が極端に少ない。また、平成 3 年には昭和 54 年と比較して、花粉症患者の低年齢化が進行している。日本国民の栄養素等摂取量の年次推移では、昭和 30 年以降急激に動物性脂肪および動物性タンパク質が増加している¹⁸⁾。このことから、食生活は世代の違いによって異なることが示唆される。すなわち、年少者に花粉症が増加していることと食生活とは、何らかの関連のある可能性が考えられる。

宮崎の各県では、スギ人工林の面積が大きい。スギは建築材や家具材として優良材質であり、日本の気候に適している。そのため、スギ植栽の歴史は古く、江戸時代に

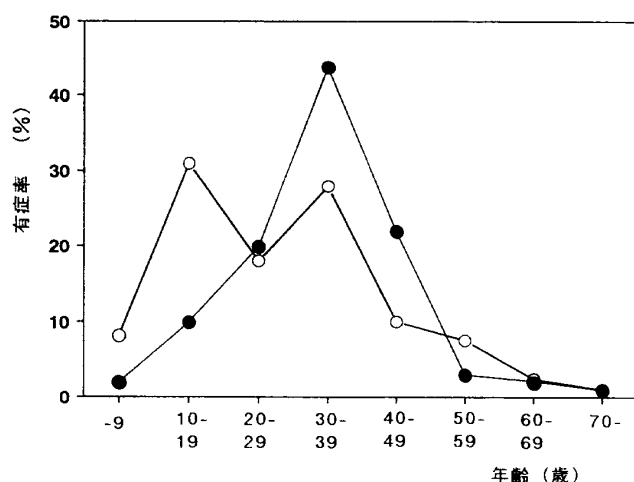


図6 スギ花粉症患者の年齢分布
馬場・森³³⁾から引用改変。

2. スギ花粉症への医学的対応

1) スギ花粉症患者の症状

表2にスギ花粉症患者の症状を示す。鼻症状が発現する患者がもっとも多く次に目症状、咽喉頭症状、神経症状、皮膚症状、全身症状、耳症状の順となっている。また、圧倒的に多い鼻症状のなかでも鼻閉、鼻汁、くしゃみの症状が多いとされている。これはアレルギー性鼻炎の特徴である3症状¹⁹⁾と一致する。

2) 花粉症の薬物療法

スギ花粉症であるか否かを判断しないかぎり治療は難しい。そのためには、スギ花粉症の検査試薬による判断を必要とする。この検査試薬はスギ花粉症の抗原を用いたもの²⁰⁾で、1980年代にPharmacia社によって販売されて以来、各薬品メーカーによってさまざまな検査試薬が開発されている。これらの検査試薬によりスギ花粉症と判断された後には、他のアレルギーと同様に抗アレルギー剤（抗ヒスタミン剤など）や副腎皮質ホルモン（ステロイド剤）を用いた治療法²¹⁾が広く用いられてい

る。しかし、これらのものは、一時的な症状の緩和に他ならない。また、抗アレルギー剤の前投与はスギ花粉症の予防効果が期待できる可能性²²⁾も示唆されている。以上のことから、薬品の組み合わせにより花粉症はコントロールできるものと考えられる。しかし、花粉症を完全に治癒させる方法は、未だ発見されていない。

3) 花粉症の非薬物療法

一般的に花粉症の非薬物療法については、なるべく花粉に接しないようにすることが、大切であると考えられている。しかし、日常生活では花粉の飛散量が多いからといって、外出しないわけにはいかない。そこで、花粉症患者が外出する際には、マスクを着用すること、花粉情報を利用し、花粉飛散量の多い日には、花粉飛散量の比較的少ない早朝に外出し、なるべく早く帰宅することが必要である²³⁾と指摘されている。いずれにしても、できるだけ花粉を吸入しないような、物理的対策が必要である。

3. スギ花粉症への植物学的対応

1) スギ林の伐採による対策

もっとも単純なスギ花粉症対策としては、スギ花粉症の発生源のスギを伐採する方法が考えられる。ある県では一定面積のスギ林を、皆伐した実例もある。スギは日本の主要造林樹木であり、古くから建築材をはじめ多くの用途で利用され、良質材として珍重されてきた。そのため、スギを植栽している林業従事者は多く、日本の国土面積の10%以上がスギ人工林である。このことから、単純に行政的にスギ人工林の伐採を行なうことは、非現実的ではないだろうか。しかし、都市近郊のスギ林の一部を伐採することは、都市部に飛散してくるスギ花粉量を、ある程度減少させる効果が望めるかもしれない。ただし、スギ花粉の飛散距離は、100 kmともいわれていることから、スギ人工林の伐採は実用的かつ有効的な対策とは考えにくい。いずれにせよ、スギは日本固有の種であるために、伐採を行なうには慎重な検討が必要である。

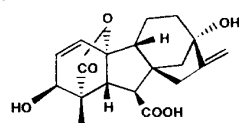
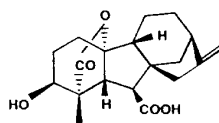
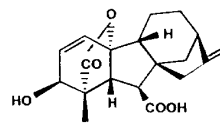
表2 スギ花粉症の症状

部 位	罹患者数 (%)	症 状
鼻症状	225 (98.1%)	鼻閉、鼻汁、くしゃみ、嗅覚障害、その他
眼症状	143 (55.0%)	かゆみ、涙、異物感、まぶたはれぼったい、その他
耳症状	22 (8.5%)	耳閉感、聴覚障害、耳鳴、そう痒感、その他
皮膚症状	33 (12.7%)	そう痒感、その他
咽喉頭症状	98 (37.7%)	咽喉頭異常感、咽頭痛、呼吸障害、たん、嘔声
神経症状	44 (16.9%)	頭痛、嘔感
全身症状	32 (12.3%)	悪寒、熱感

1981年から1986年までの調査（大分医科大学耳鼻咽喉科）。茂木・黒野³⁴⁾より引用改変。

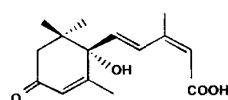
花芽形成促進物質

植物ホルモン

ジベレリン A₃ジベレリン A₄ジベレリン A₇

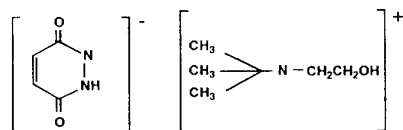
花芽形成および花粉飛散抑制物質

植物ホルモン

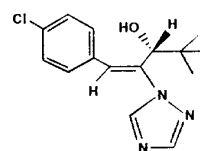


(+) - アブシジン酸

成長阻害物質

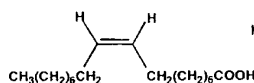


マレイン酸ヒドラジド-コリン塩

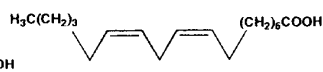


ウニコナゾール P

脂肪酸



オレイン酸



リノール酸



α-リノレン酸

アルデヒド



アセトアルデヒド

図 7 スギ花芽形成, 開花の促進および抑制効果のみられる化合物

2) 植物成長調節物質を用いた花粉飛散の抑制

図 7 にスギ花粉形成, 開花の促進および抑制効果のみられる化合物を示す. スギは GA 処理によって, 花芽形成を促進する. とくに, GA₃, GA₄ および GA₄₊₇ が, スギの花芽形成促進に有効であることは, 一般的に知られている. このことから, GA の多くの生理作用と拮抗作用のみられる成長調節物質を用いた花芽形成抑制の試みが行なわれている. GA の葉面散布処理後に, 天然型光学活性アブシジン酸 ((+)-2-*cis*, 4-*trans*-abscisic acid) を 1~5 ppm 濃度で根に灌注処理をすることで, GA 処理による雄花の着生抑制の効果がみられる²⁴⁾(図 8). しかし, 天然型光学活性アブシジン酸は, 処理時

期によって雄花の着生を促進するので注意が必要である. 非天然型の成長阻害剤(矮化剤)のウニコナゾール P の処理²⁵⁾やオーキシシンに対する拮抗作用を有するマレイン酸ヒドラジド-コリン塩の処理²⁶⁾も, 花芽着生抑制に効果が大きいことが明らかになっている. また, 脂肪酸の C₁₈ 化合物のオレイン酸, リノール酸, α-リノレン酸のそれぞれの処理は雄花を褐変させる. このうち, オレイン酸とリノール酸は, 選択的に雄花を褐変させる効果がみられた²⁷⁾. また, アセトアルデヒドも選択的に雄花を褐変させるという報告²⁸⁾もみられる. しかし, これらの散布においては, 他の動植物に対する影響を考慮し, 低濃度でかつ作用後には速やかに分解する, 自然に

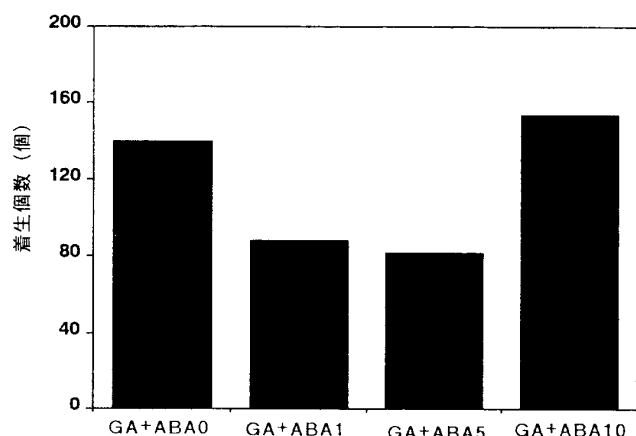


図8 (+)-ABA 処理による花芽着生抑制効果

花芽形成促進のため GA_3 を8月に葉面散布した。そして、 GA_3 処理の1週間後に (+)-ABA を根に灌注処理した。GA は GA_3 100 ppm 濃度処理、ABA1 は 1 ppm、ABA5 は 5 ppm、ABA10 は 10 ppm 濃度の ABA 処理。

やさしい化合物の利用をめざす必要がある。また、散布方法（コスト的な面も含めて）について、十分な検討が必要であると考えられる。

3) 林木育種によるスギ花粉症対策

林木育種によるスギ花粉症対策としては、天然林および人工林から目的とする形質をもった品種を選抜する方法と人工的に品種を作出する方法が考えられる。前者の代用的な選抜基準の内容としては、(1) 雄花をまったく着生しないか、あるいは雄花の着生が極端に少ない、(2) 花粉症のアレルゲンを保持しないか、あるいは極端に少ない、ということなどが考えられる。後者の内容としては、(1) 放射線照射による突然変異体の作出、(2) 人工交配により目的とする品種の作出などが考えられる。選抜および作出された品種は、自然状態では雄花が着生するまでに年月がかかる。そのため、これらの品種の花芽形成および花粉形成に関する形質の確認を、早期にすることは難しい。そこで、GA 処理により花芽を誘導することで、花芽および花粉形成に関する形質特性を検討することが必要である。

4) 雄性不稔性スギの検索

雄性不稔種は、雄花を形成しても、花粉は未成熟のため生殖能力を保持しない。このことは、雄性不稔性のスギ花粉は、Cryj I, Cryj II というアレルゲンを、合成していない可能性も考えられる。スギの雄性不稔に関する報告をいくつか紹介すると、富山産の雄性不稔性のスギでは、雄雌花ともに有するが、GA 処理をしても成熟した花粉が得られない²⁹⁾。また、各地で選抜された精英

樹のなかには、不稔性のものが多く発見されている。これらのものでは、ヘテロ型の染色体異常、三倍体の染色体の異常のことが多い³⁰⁾。しかし、不稔性スギの未熟な花粉であっても、アレルゲンが合成されてしまった後の不稔では意味がない。そこで、花粉形成のどのステップで未成熟となっているのが問題となる。

5) 遺伝子制御による花粉飛散の抑制

スギ花粉症の発生源である Cryj I, Cryj II という花粉症に関するメジャーアレルゲンを生産しないスギ、または雄花の着生しないスギ品種の作出が望まれる。このためには、Cryj I, Cryj II の合成抑制遺伝子や、雄花発現の抑制遺伝子の導入が考えられる。これらを実現させるには、スギ遺伝子の正確な解析が望まれる。現在、スギの遺伝子解析は順調に進められている。しかし、遺伝子導入が成功してもその成果がでるのは、花芽形成の開始する約 20 年後となる。

ま と め

スギ花粉症発生源やそのメカニズムについては、多くの研究により明らかにされてきた。現在、医学的に花粉症をある程度コントロールできるようになったが、完全に治癒させる方法は、未だ発見されていない。一方、植物学的にも生化学および育種の面から、スギ花粉症に対するアプローチが開始されているが、有効な手段は開発されていない。そこで、これまで独立的に研究されてきた医学的対応と、植物学的防除法を複合して用いることも、スギ花粉症研究の一助と成り得る可能性があるのではなかろうか。多くの困難が伴うであろうが、これらの研究成果に期待したい。

本総説の執筆にあたり貴重な助言をいただいた、元東京農業大学 右田一雄教授、東京農業大学 勝田 柁教授、太田保夫教授、中田銀佐久助教授ならびに秋田県林業技術センター 佐々木 揚氏に深く感謝申しあげる。

引 用 文 献

- 1) 堀口申作・斎藤洋三: アレルギー **13**, 16 (1964)
- 2) 佐々木揚: 森林科学 **11**, 58 (1994)
- 3) 橋詰隼人: 日林誌 **44**, 316 (1962)
- 4) 近藤禎二・千田雅一・田淵和夫: 103 回 日林論, p. 239, 1992
- 5) 横山敏孝・金指達郎: 104 回日林論, p. 445, 1993
- 6) 橋詰隼人・坂本大輔: 林木の育種 **150**, 18 (1989)
- 7) 橋詰隼人: 鳥取大農演報 **25**, 81 (1973)
- 8) 平 英彰・寺西秀豊・剣田幸子: 日林誌 **76**, 126 (1994)
- 9) H. Yasueda, Y. Yui, T. Shimizu & T. Shida: *J.*

- Allergy Clin. Immunol.* **71**, 77 (1983)
- 10) M. Sakurai, S. Inoue, M. Taniai, S. Ando, M. Usui & T. Matuhashi: *Allergy* **45**, 309 (1990)
 - 11) 中村澄夫・安枝 浩・信太隆夫・三木寿子: 日本花粉学会第 32 回講演要旨集, p. 22, 1991
 - 12) 中村澄夫・安枝 浩・信太隆夫・高橋祐一・阪口雅弘・井上 栄・谷口美文・栗本雅司・三木寿子: 日本花粉学会第 34 回講演要旨集, p. 63, 1994
 - 13) 茂木五郎・黒野祐一: *Pharma Medica* **12** (3), 14 (1994)
 - 14) 横山敏孝: 林木の育種 **172**, 15 (1994)
 - 15) 竹中 洋・高木伸夫・齊藤憲治: *Pharma Medica* **12** (3), 83 (1994)
 - 16) 遠藤朝彦: アレルギ-の臨床 **9**, 463 (1989)
 - 17) M. Muranaka, S. Suzuki, K. Koizumi, S. Takafuji, T. Miyamoto, R. Ikemori & H. Tokiwa: *J. Allergy Clin. Immunol.* **77**, 616 (1986)
 - 18) 厚生省保険医療局健康増進栄養課監修: 要説日本人の栄養所要量, 第一出版, p. 124, 1995
 - 19) 茂木五郎・黒野祐一: *Pharma Medica* **12** (3), 14 (1994)
 - 20) 福岡圭介・朱 博光・新谷 仁・有田昌彦・林義久・松本貴美子・横内英明・黒沢安彦: アレルギ-の臨床 **13**, 60 (1982)
 - 21) 佐野靖之: 臨床アレルギ-学—アレルギ-専門医・認定医研修のために, 宮本昭正 監修, 南江堂, p. 239, 1992
 - 22) 治療学 **21** (1), 112 (1988)
 - 23) 治療学 **21** (1), 111 (1988)
 - 24) 本間 環・太田保夫・右田一雄: 植物化学調節学会平成 3 年度大会研究発表記録集, p. 29, 1991
 - 25) 長尾精文: 第 105 回日本林学会大会講演要旨集, p. 479, 1994
 - 26) 橋詰隼人: 104 回日林論, pp. 467-470, 1993
 - 27) 高橋久光・小塩海平・太田保夫: 植物化学調節学会第 27 回大会研究発表記録集, pp. 60-61, 1992
 - 28) 高橋久光・小塩海平・太田保夫: 雑草研究 38 (別号 I) 第 32 回講演会講演要旨, pp. 204-205, 1993
 - 29) 平 英彰・寺西秀豊・劔田幸子: 日林誌 **75**, 377 (1993)
 - 30) 佐々木義則・黒木嘉久: 林木の育種 **168**, 19 (1993)
 - 31) 斎藤洋三: *Pharma Medica* **12** (3), 73 (1994)
 - 32) 竹中 洋・高木伸夫・齊藤憲治: *Pharma Medica* **12** (3), 84 (1994)
 - 33) 馬場廣太郎・森 朗子: *Pharma Medica* **12** (3), 78 (1994)
 - 34) 茂木五郎・黒野祐一: *Pharma Medica* **12** (3), 14 (1994)