

(原著論文)

## スギ花粉の飛散予測における雄花分化時期の検討

金 春杰<sup>1)</sup>・中西 テツ<sup>1)</sup>・小笠原 寛<sup>2)</sup><sup>1)</sup> 神戸大学大学院自然科学研究科 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1<sup>2)</sup> 兵庫医科大学耳鼻咽喉科 〒663-8501 西宮市武庫川町 1-1

(2000年9月30日 受付, 2000年11月14日 受理)

Male Flower Differentiation in Relation to the Forecast of  
Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) Airborne Pollen GrainsShunketu KIM<sup>1)</sup>, Tetsu NAKANISHI<sup>2)</sup> and Hiroshi OGASAWARA<sup>3)</sup><sup>1)</sup> Graduate School of Science and Technology, Kobe University,  
1-1 Rokkodaicho, Nada-ku, Kobe, 657-8501 Japan<sup>2)</sup> Department of Otolaryngology, Hyogo College of Medicine,  
1-1 Mukogawacho, Nishinomiya, 663-8501 Japan

The meteorological data from July is widely used to predict the total number of Japanese cedar airborne pollen grains. We investigated the time of flower bud differentiation in order to combine both meteorological data and morphological study to provide an accurate forecast of the total number of airborne pollen grains. The tips of green branches were collected every week during the summer of 1999 and 2000 at Mt. Rokko area. The development of the axillary buds in the apex of the green branch was examined with a microscope and the first observed day of male flowers was monitored by human observers, using the naked eye.

In 1999, the axillary buds were observed for 3 weeks before the first observed day of male flowers. The first observed day of male flowers showed a sharp normal distribution with the mean distribution value occurring on August 1st. In 2000, the axillary buds were seen 4 weeks before the first observed day of male flowers. The first observed day of male flowers showed a flat normal distribution with the mean distribution value occurring on July 25th. In order to estimate the period of flower bud differentiation, male flowers were artificially induced by gibberellin on non-flowering branches on August 4th in 2000. The axillary buds appeared six days after the treatment, and the flower buds were visible after 6 weeks.

The first observed day of male flowers was different between these two years and there were also different meteorological conditions. In 2000, it was abnormally dry and there were more hours of sunshine and although flower bud differentiation was earlier than in 1999, the growth of buds took longer. Insufficient growth of the green branches seemed to affect the development of flower buds. From the findings in this study, we speculate that the most important time for flower bud differentiation was at the end of

rainy season according to the meteorological data, and that accurate forecast of male flower development may be obtained by using meteorological data based on the time of male flower bud differentiation.

**Key Words :** *Cryptomeria japonica*, flower bud differentiation, airborne pollen grain, axillary bud, first observed day of male flower

## はじめに

近年、スギ花粉症は全国的に急増傾向にある。東京都の経年調査によると、発症者は1976年頃から増加し始め、1996年には有症率が19.4%と報告された<sup>(1)</sup>。スギ花粉の飛散総数はスギ花粉症の重症度や病院受診率またその投薬量と比例する。従って治療や予防の上では、飛散前にその総数を如何に正確に予測するかが必須となって来た。

スギ花粉の飛散総数は花粉源である雄花数と飛散時の気象条件によって決まるため、その着花量について精度の高い評価法が求められている<sup>(2)</sup>。着花量の判定には多くの課題があり、観測林を設定することや着花量の統一的な評価法などが重要であるが、同時に観察可能な林数や地域的な限界、また10月頃にならないと評価できないなどの問題も指摘されている。近畿地方ではこれまでに丹波山地における10年間の着花量と気象データが分析され、毎年ほぼ7月11～20日の日照時間と降水量が着花量に影響することが明らかにされている。またこの解析により、7月時点の気象で近畿圏のおよその着花量を推定することが可能となった<sup>(3)</sup>。しかしながら、これは気象因子からの予測であり、実際の雄花の分化時期との関係などは明らかでない。

スギの着花は樹木自体の内的要因と外部の環境要因との相互作用によって誘導される。内的要因には、遺伝的性質、栄養状態、植物ホルモンの働きなどが関係している。他方、気温、降水量及び日照時間は環境要因として花芽形成に大きな影響を及ぼす。スギでは最高気温が25～30℃の間を4週間持続すると花芽形成量が激増する<sup>(4)</sup>。雄花の分化期は6月下旬～9月上旬で、7、8月の降水量が少ないと雄花芽の分化が促進されるが<sup>(5)</sup>、その期間は曖昧である。従って、雄花の分化時期が把握できれば、その時期の気象を分析することによって、雄花形成量が推定され、その予測精度を向上させることが可能と考えられる。

本研究では六甲山系において、1999年と2000年に

スギ緑枝先端部の形態学的観察によって雄花分化時期を調査し、同時に山系全体の雄花形成の推移を記録した。また雄花未確認樹にジベレリン処理を行い、花芽誘導から花芽形成に要する期間を推定した。これらの結果を気象データと比較検討し、雄花着花量の評価方法を論議した。

## 材料及び方法

### 1. 雄花分化の組織学的観察

1999年と2000年の両年、スギの雄花分化時期にあたる6月～8月に、毎週1回、スギ緑枝の先端部を採取した。供試樹は六甲山地の北山麓（標高350m、個体番号1及び2）の2本、山間部（標高500m、個体番号3及び4）の2本及び南山麓（標高400m、個体番号5）の1本で、これらは毎年雄花をつける20～30年生のオモテスギであった。各個体について直径約1cmの枝を5本選び、雄花をつけると予測される緑枝を1本ずつ採取した。

これらの緑枝の先端部を約5mmの大きさに切断し、FAA(ホルムアルデヒド、酢酸、70%エタノール=1:1:18v/v)で、3時間浸漬固定した。水洗後、30、50、70、90及び100%のエタノールシリーズで脱水し、キシロールに置換し、パラフィン誘導後包埋した。組織は軸を水平にして10μmの連続切片を作成した。切片はキシロールで脱パラフィンし、エタノールシリーズを経てヘマトキシリン・エオシンで染色した。

### 2. 雄花形成の肉眼的観察

1999年と2000年の夏、雄花が肉眼的に確認される時期を調査した。六甲山系の山麓（標高150m）から山頂（標高800m）の標高の異なる地点から、毎年雄花をつけ、枝の肉眼観察が容易な23樹を選んだ。観察は1週間毎に行い、初めて雄花を確認した日を雄花初確認日として記録した。

### 3. ジベレリン処理による雄花の誘導

スギの雄花形成にはジベレリン処理が極めて効果的



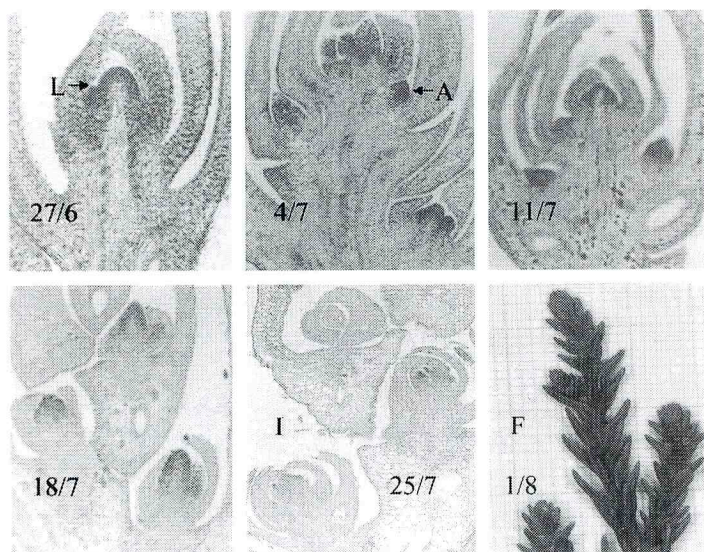


Fig. 1. The morphological development during the male flower of the No. 1 tree in Japanese cedar.

L : leaf primordium A : axillary bud I : inflorescence formation F : first observed day of male flower

で、自然状態では花を着けない稚苗に花芽を誘導することができる<sup>(6)</sup>。本研究では、ジベレリン処理によって人為的に雄花を誘導し、自然状態における雄花の誘導期間を推測するための参考値とした。2000年の8月4日の時点で雄花をつけていない樹高1mの稚苗2本(個体番号6及び7)と20年生樹2本(個体番号8及び9)について、各樹2本の枝にジベレリン(GA<sub>3</sub>, 300mg/l)水溶液を散布した。処理後、2日毎に緑枝先端部を採取し、組織学的観察により、腋芽の発生を確認した。また同時に肉眼による雄花の初確認日も記録した。

## 結 果

### 1. スギ雄花の形成過程

スギの雄花は腋芽が分化した後、腋芽が一つの雄花を形成する場合と、その腋芽がさらに短枝状に発達し、房状の雄花序を形成する場合とがある。一方、雌花は頂芽から発達する場合が多く、常に枝の先端に着生する<sup>(7)</sup>。本実験ではスギ緑枝先端部の縦断切片を作成し、腋芽の分化と雄花序の形成を観察した。1999年と2000年の両年とも、対象とした5樹の中、六甲南

山麓の1本を除く4本で雄花が観察された。このため分析はこれら4個体について行った。Fig. 1に2000年の6月から8月における調査樹(個体番号1)の雄花形成過程を示した。6月27日迄の期間は茎頂部に葉原基の分化が見られたが、腋芽は認められなかった。7月4日に初めて葉原基の基部に突起状の腋芽が観察された。1週間後の7月11日には腋芽が発達し、その数も増加した。7月18日では腋芽の発達が続き、多くの腋芽が交互に発生し、ほぼ花序に近い形態を示した。7月25日には各腋芽が発達して、花序を形成した。8月1日にはこれらの花序を肉眼で確認することが可能となった。他の3樹も雄花形成の過程はほぼ同じ傾向であった。

### 2. 腋芽の分化から雄花初確認日迄の所要期間

Fig. 2に4個体の雄花形成の形態的推移を示した。1999年は北山麓の個体1及び2は、共に7月25日に腋芽の分化が確認され、8月15日に雄花が初確認された。山間部の個体3及び4はこれらより早くそれぞれ7月4日と11日に腋芽が現れ、雄花の初確認日はそれぞれ8月1日と7月25日であった。これら4個体の腋芽形成から雄花初確認日までの期間は一様ではなかったが、平均3週間を要した。一方2000年は北

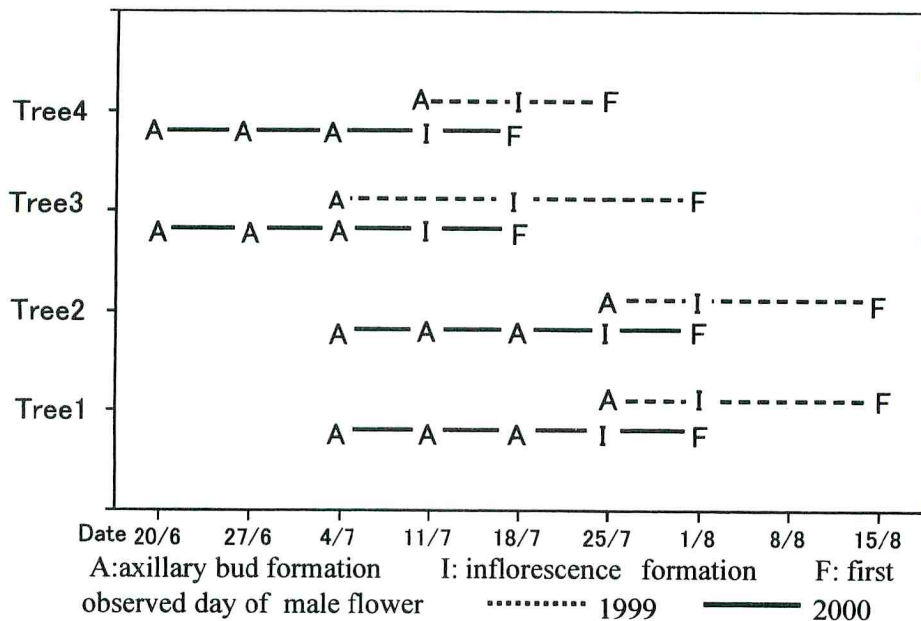


Fig. 2. The difference of the male flower differentiation period between 1999 and 2000.

山麓の個体1及び2は、いずれも7月4日に腋芽の分化が観察され、8月1日に雄花が初確認された。山間部の個体3及び4はこれらより早く、共に6月20日に腋芽が現れ、雄花の初確認日は7月18日であった。これら4樹とも腋芽形成から雄花初確認日までの期間は4週間であった。

### 3. 六甲山系における雄花初確認日の推移

Fig. 3に六甲山系23樹を対象とした肉眼による雄花の初確認日を示した。1999年の雄花初確認日は、23個体中、8月1日の13本を中央値とした鋭い正規分布を示し、個体間のばらつきは少なかった。一方2000年における雄花初確認日は7月25日の10本を中央値とするなだらかな正規分布となり、前年に比べ個体間のばらつきが大きくなった。

Fig. 4には両年の雄花初確認日を150m～800mの標高毎に示した。2000年の雄花初確認日は1999年に比べ、平均7.6日早まり、有意差が認められた ( $P=0.001$  対応のあるt検定)。しかし、両年とも標高による雄花初確認日の差異は認められなかった。

### 4. ジベレリン処理による花芽形成の誘導期間

8月4日にジベレリン処理をした20年生樹2本(個体番号8及び9)はいずれも処理後6日目の8月

10日に腋芽が観察され(Fig. 5)、肉眼による雄花初確認日は個体9では9月9日、個体8では9月15日であった。一方、稚苗の個体6及び7はいずれも処理後11日目の8月15日に腋芽の分化を認め、9月15日に雄花を初確認した。

### 5. 雄花誘導時期の推定

組織観察の結果(Fig. 2)、1999年は腋芽分化から雄花の初確認日まで平均3週間を要した。23樹の雄花の初確認日は8月1日を中央値とする正規分布を示すことから(Fig. 3)、六甲山系全体としてはその3週間前の7月11日付近が腋芽分化の最盛期であると推定された。またこの7月11日以前に腋芽の分化が生理的に誘導される期間が存在すると推測された。同様に2000年の場合は、腋芽分化から雄花の初確認日までの期間は4週間で、23樹の雄花初確認日の中央値は7月25日であったことから腋芽分化の最盛期は4週間前の6月27日付近となり、さらに誘導時期は6月27日以前になると推測された。両年を比較すると2000年は前年に比べ、腋芽分化期が2週間早く、従ってその誘導時期も2週間早まっていると考えられた。



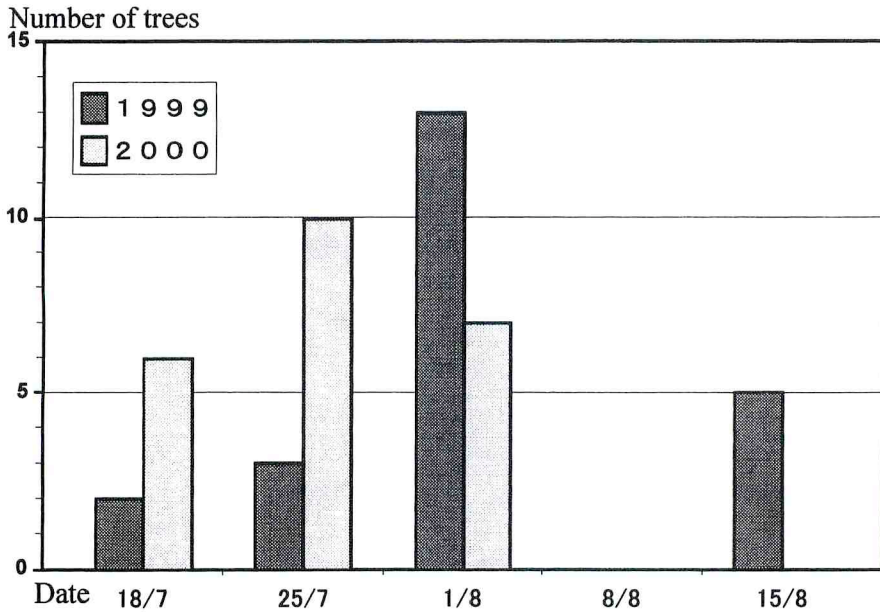


Fig. 3. The first observed day of Japanese cedar male flowers in the Rokko mountains in 1999 and 2000.

## 考 察

多くの木本植物は夏が高温、多日照で経過すると翌春にたくさんの花をつける。スギの雄花形成にも温度、日照、降水量、樹の栄養状態などが影響する<sup>(5)</sup>。特に夏の花芽分化期における気象の影響は大きく、高温と乾燥が続くと着花が多くなる。雄花の分化に最も効果的な温度は30℃であるが<sup>(8)</sup>、花芽の分化・発達過程との関係は明らかでない。

本研究においてジベレリンによる花芽誘導を試みた結果、自然条件で花芽が形成されなかった20年生の個体8及び9でも、処理6日後に腋芽の発生を観察した。また稚苗個体6及び7では、処理11日後に腋芽が形成された。雄花の初確認日までの期間は自然状態に比べ平均4日長く、かつ成長が旺盛な緑枝にのみ雄花が認められた。これはジベレリン処理時期が8月で、自然状態における分化期からは1ヶ月以上遅れていたこと、さらに自然の状態では雄花を着けずにいたもので、その栄養状態が劣っていたことによると考えられた。ジベレリンの効果は、同じ樹種でも樹齢が高いと花芽分化が促進され、また処理時期が早い場合には花芽分化までの日数が長い<sup>(6)</sup>と報告されている。六甲

山系の壮齢樹は緑枝の栄養的条件が良く、花芽形成時期も早いことから、花芽誘導から腋芽が現れるまでの日数は、20年生樹におけるジベレリン処理の場合の6日か、それより短い期間であると推測された。

Fig. 6に神戸海洋気象台の1999年と2000年の6月及び7月の気象を示した。1999年は腋芽の分化が7月11日付近と推定されたことから、その花芽誘導時期は7月11日より前で、ジベレリン処理を参考にすると7月5日頃と推定できた。1999年の6月後半は、最高気温が25℃前後で(6月平均気温22.6℃、6月後半22.7℃、6月平年値22.0℃)、日照時間が短く(6月日照時間140.9時間、6月後半41.6時間、6月平年値146.7時間)、かつ降水量も多かった(6月降水量392.5mm、6月後半355.5mm、6月平年値218mm)。従ってこの期間には雄花の誘導に十分な条件が得られなかったと考えられる。しかし、7月に入ってから降水量が少なく、日照時間も長くなり、最高気温も30℃付近まで上がったため、花芽誘導に適した条件になったと考えられた。

一方、2000年は6月27日が腋芽分化の最盛期であることから、その誘導時期は6月21日付近と推定された。2000年は1999年に比し、6月後半から最高気

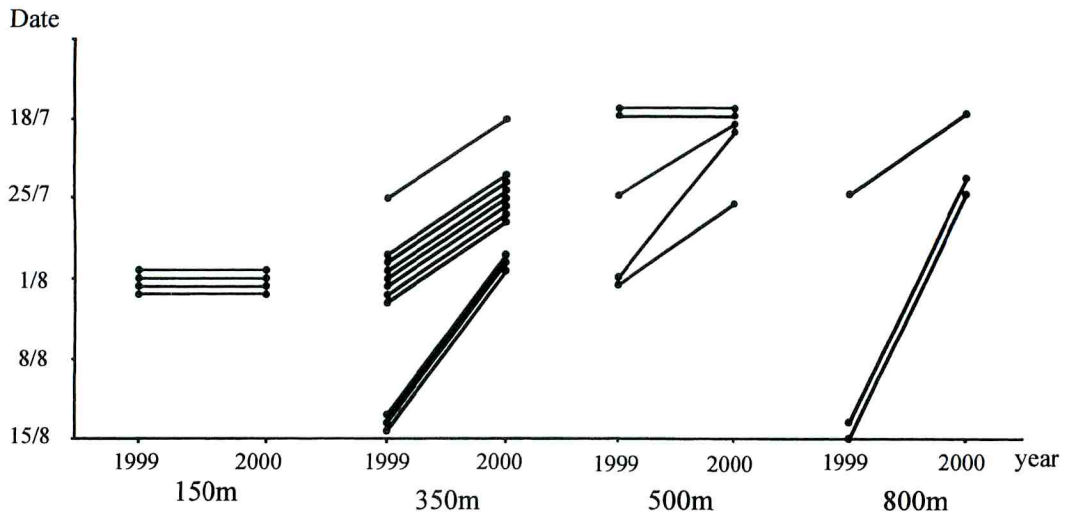


Fig. 4. The difference of the first observed day of male flower of the same tree between 1999 and 2000 in Rokko mountains.

There were significant difference between two years ( $P = 0.001$ , paired t-test) and no difference by altitude.

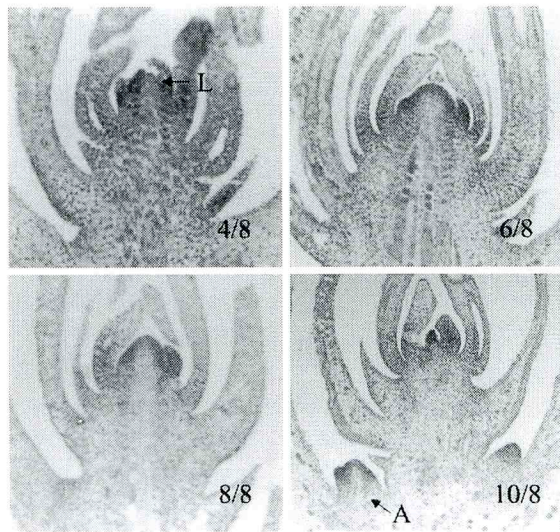
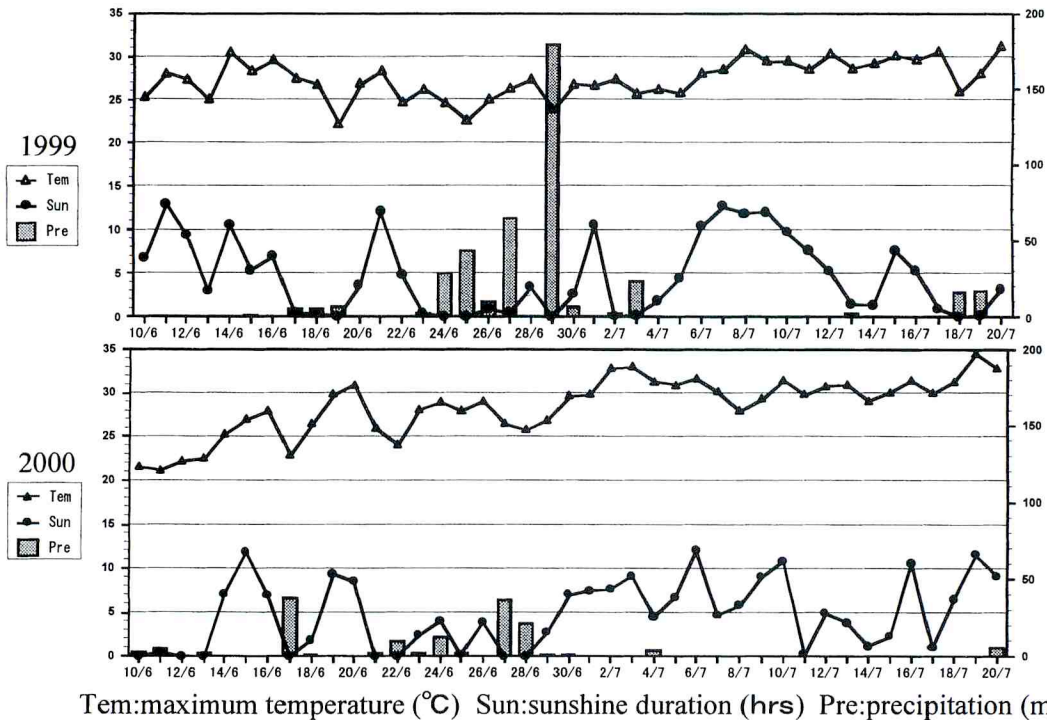


Fig. 5. The morphological development in the male flower after treatment with gibberellin in the No. 9 tree.

L : leaf primordium A : axillary bud

The tree was treated with gibberellin on August 4th, and the axillary buds were monitored after 6 days.



Tem:maximum temperature (°C) Sun:sunshine duration (hrs) Pre:precipitation (mm)

Fig. 6. Meteorological data of the Kobe marine meteorological observatory in 1999 and 2000.

温が30°C付近まで上がり（6月平均気温23.0°C，6月後半24.3°C），降水量が少なく（6月降水量155mm，6月後半123.5mm），日照時間も長かった（6月日照時間124.1時間，6月後半58.4時間）．従って，雄花の誘導が早く起き，前年に比べ，腋芽の分化が2週間早まったと考えられる．また雄花の誘導も前年より2週間早い6月21日付近と推測された．橋詰<sup>(9)</sup>も花芽分化及び花芽の発育経過は，年により10～20日の早晚があると報告しており，スギの花芽形成誘導時期は夏の気象条件によって変動することが示された．

なお，六甲山系の異なる標高における雄花初確認日は2000年の場合，前年より平均7.6日早く，標高800m付近においても同様に早まっていた．このことから必要な気温が得られれば，降水量と日照時間が花芽形成に大きく影響すること，また同一地域においても個体によるばらつきがあると考えられた．

これまでの研究から，スギのジベレリン処理による花芽誘導は生育前期の6，7月の処理は雄花が多く，それ以降の処理では雌花が多く着くこと，また雄花の分化は6，7月にはほぼ決まるものの，雄花の分化数は

7月処理の方が多いことが知られている<sup>(6)</sup>．このことは雄花の分化数は7月の気象による影響を受けやすいことを示している．丹波山地を対象とした1989年から10年間の調査においても雄花の着花量には7月11～20日の日照時間と降水量が影響していた<sup>(3)</sup>．2000年の神戸地域は6月後半の雨量が少なく，7月と8月の雨量も非常に少なくなって，日照時間が長く，花芽分化に好適な天候であった．また8月1日に最終の雄花を確認した後は新たに着花した樹が認められなかったことから，6月下旬から7月初めの比較的短い期間に花芽が誘導され，それ以降の花芽誘導は起こらなかったと考えられた．1999年においても7月前半の短期間に花芽が誘導された．花芽誘導には6月より7月の方が適することから，この時期に花芽が誘導され，腋芽が分化するような気象条件と緑枝の成長状態や栄養条件が合致すれば，着花量の増加をもたらすと思われる．しかし，花芽誘導は雨天が減少し，日照時間が安定した時期に起こることから，年によって花芽誘導時期にややずれが生じる．このため，着花量の予測には花芽誘導期を把握し，その時期の気象データを



解析に用いることが重要と考えられる。

以上のことから継続観測が可能な少数の標準林を設定し、組織学的観察に基づいて雄花誘導時期を推定することにより、気象データを活用したより精度の高い着花量の予測が可能になると思われた。

## 要 約

スギ雄花の形成量は7月の気温、降水量及び日照時間との関係が深い、スギにおいて実際の花芽分化時期を把握することができれば、この期間の気象分析により、花粉飛散量の予測精度を高めることができると考えた。本研究では、六甲山のスギ林から5樹を選び、1999年と2000年の夏に、緑枝先端部を組織学的に観察して、雄花の分化形成過程を調査した。同時に、山系全体における雄花形成の推移を見るため、標高差などに基づく23本の観測樹について肉眼による雄花初確認日を記録した。一方、雄花発生前の生理的な花芽誘導期間を知るために、ジベレリンで人為的に花芽を誘導したところ、6日後に腋芽が発生したことから、その所要日数を自然条件における花芽誘導期間の参考値とした。

雄花形成の組織学的過程は、茎頂の葉原基における腋芽の発生で始まり、その後、腋芽の数が増加すると共に、腋芽が分化・発達して花序を形成した。腋芽の発生から雄花初確認日までの期間は、1999年は平均3週間、2000年では4週間であった。次に観測樹の雄花初確認日の分布を調べ、各年次の中央値である8月1日及び7月25日の時点から、1999年は3週間前の7月11日、2000年では4週間前の6月27日付近を腋芽分化の最盛期とした。これにジベレリン処理から求めた腋芽誘導の所要日数を見積もると、1999年は7月5日付近、2000年では6月21日付近が腋芽発生前の生理的誘導時期に該当すると推定された。この誘導期間の気象データを検討したところ、両年とも梅雨が明けて、降水量が減少し、高温と多日照が持続する時期に一致することがわかった。以上の結果から、

観測樹を設けて、緑枝先端部の腋芽発生時期を調査し、これを指標として気象分析を行うことにより、雄花の着花量を早い時期に、またより正確に予測することが可能になると思われた。

この研究の一部は財団法人ひょうご科学技術協会からの「一般学術研究助成金」によって行われた。

## 文 献

- (1) 斎藤洋三：スギ花粉症—過去・現在・将来—。花粉誌 45, 55-62 (1999)。
- (2) 小笠原寛・足達治・阪上雅史・吉村史郎・藤谷哲造：スギ雄花着花状況ならびに補正花粉飛散総数による飛散数予測。日耳鼻 103, 742-747 (2000)。
- (3) 小笠原寛・吉村史郎・金春杰・足達治・坂上雅史：近畿地方におけるスギ・ヒノキの花芽形成誘導に及ぼす気象因子の分析。花粉誌 45, 141-147 (1999)。
- (4) 長尾精文：スギ花成に及ぼす温度の影響。日林学誌 62, 280-282 (1980)。
- (5) 橋詰単人：日本列島のスギ林における花粉の生産に関する研究(Ⅰ)—各地のスギ林の着花状況、品種による着花性の差異及び着花に影響する因子について—。鳥取大演研報 19, 67-113 (1990)。
- (6) 橋詰単人：針葉樹の花芽分化、花性分化のケミカルレギュレーション。植物の化学調節 1, 148-156 (1966)。
- (7) 畑野健一・佐々木恵彦：樹木の生長と環境。養賢堂 pp.11-13 (1993)。
- (8) 長尾精文：種々の変温条件下におけるスギの花芽分化の違い。日林学誌 65, 335-338 (1983)。
- (9) 橋詰単人：スギの花芽分化期および花芽の發育経過について。日林学誌 44, 312-319 (1962)。