

六甲山系におけるスギの標高別開花時期と 中国・丹波山地の開花時期

小笠原 寛¹⁾・栗花落 昌和¹⁾・瀬尾 達¹⁾・
阪上 雅史¹⁾・吉村 史郎²⁾

¹⁾ 兵庫医科大学耳鼻咽喉科 〒663 西宮市武庫川町1-1

²⁾ 市立芦屋病院耳鼻咽喉科 〒659 芦屋市朝日ヶ丘39-1

(1995年9月28日 受付, 1995年11月20日 受理)

The Flowering Time of *Cryptomeria japonica* Related to Altitude in the Rokko Mountains, and that in the Chugoku and Tanba Mountains

Hiroshi OGASAWARA¹⁾, Masakazu TSUYU¹⁾, Wataru SEO¹⁾,
Masafumi SAKAGAMI¹⁾ and Shiro YOSHIMURA²⁾

¹⁾ Department of Otolaryngology, Hyogo College of Medicine,
1-1 Mukogawacho, Nishinomiya 663, Japan

²⁾ Department of Otolaryngology, Ashiya Municipal Hospital,
39-1 Asahigaoka, Ashiya 659, Japan

Airborne pollen grains of *Cryptomeria japonica* (sugi, in Japanese) are mainly supplied from the Chugoku and Tanba mountains in Hyogo Prefecture. The sugi forest at the foot of the Rokko mountains which located in the warm Setouchi-bay, at an altitude of 150 meters, indicated the beginning day of *C. japonica* pollen dispersal in Hyogo Prefecture. In case of a little total count of pollen, the beginning day of *C. japonica* pollen dispersal was delayed by flowering in the region of Kaibara at altitude of 120 meters in the Tanba mountains. The sugi forest of the summit of the Rokko mountains at an altitude of 800 meters indicated the ending day of *C. japonica* pollen dispersal. The sugi forest in Kaibara and the sugi forest at an altitude of 150 meters in 1993 and 170 meters in 1995 in the Chugoku mountains had the same percentage of remaining pollen.

The cumulative mean temperatures at the date of maximum flowering of *C. japonica*, calculated from Jan. 1st, at the foot of Rokko mountains, Kaibara and the summit of the Rokko mountains, were 322.3 degrees, 252.0 degrees and 108.6 degrees respectively during period from 1988 to 1995, and those cumulative temperature, calculated from each day of reactivation from dormancy in accordance with Taira presentation, were 392.0 degrees, 343.1 degrees and 361.7 degrees respectively.

The pollen emission model will be investigated and forecasts of pollen occurrence in the local areas will be possible.

Key words : Airborne pollen, *Cryptomeria japonica*, Flowering time, Altitude.

はじめに

スギ花粉飛散予測では開始期、最盛期、終焉期の時期を把握し、その期における花粉放出可能量を推計しなければならない。地域における花粉流の法則とスギ雄花の開花前線の分析ができれば、狭い地域の花粉飛散予報も可能となる。広い地域で開花時期を検討したのは山形県の報告があるのみで、蔵王の標高別開花時期から他の地域の開花を推定できると述べている⁽¹⁾。

1988年に兵庫県花粉症研究会を結成してから、兵庫県のスギ花粉の主要な供給地が中国・丹波山地であることを明らかにしてきた⁽²⁻⁴⁾。すなわち、丹波山地から阪神・東播州地区へと、中国山地から西播州・但馬地区への2ルートの花粉飛散に大別できた。

1988年から95年まで温暖な瀬戸内気候にある阪神地区の背後にある標高932mの六甲山系の開花時期と、その内陸の丹波山地にある柏原町の観測林の開花時期との関係を調べた。93年と95年には鳥取との県境にある中国山地の開花時期を調査し、六甲山系の標高別開花前線が兵庫県全域での開花前線と空中花粉捕集数に反映されることが判明したので報告する。

方 法

1. 観測林の開花状況の観察

観測林はその地区では比較的日照条件がよい斜面の樹齢20から30年の林とし、その中で枝切り込みが届く高さ5mまでに観察に適した枝がある樹を選定し、毎年同じ樹を観察した。場所はFig. 1に示したように、六甲山系では六甲ドライブウェイを中心に、神戸市灘区の六甲南山麓（標高約150m、南斜面、観測対象樹6本）、六甲山山頂（標高平均800m、尾根、観測対象樹13本）、裏六甲の有馬街道沿い（標高平均350m、谷沿いの平地、観測対象樹8本）である。丹波山地は国道176号線沿いの柏原町（標高約120m、平地、観測対象樹13本）である。中国山地では南北の谷沿いに走る国道29号線沿いの西斜面で、山崎町（標高120m）から戸倉峠（標高891m）の間で、観測対象樹は各標高で8から15本であった。

観測林の観察は朝露が乾いた時間で、週2回を原則とした。観察方法は花序のりん片の開き方、葯の裂開状態、花粉の残存量を観察した後、棒で叩いて飛散させて飛散量が多い、普通、少ないを判断し、1分咲、3分咲、5分咲、満開、50%花粉残、30%花粉残、10%花粉残、終了の8段階に個々の樹を判定し平均値

を求めた。

2. 空中花粉調査

95年の空中花粉調査結果は兵庫県花粉症研究会による31カ所と和歌山市（榎本雅夫氏提供）を用いた。花粉捕集はダラム型花粉捕集器を用い、飛散開始は「空中花粉測定と花粉情報標準化委員会」で合意された1平方センチ当たり1個以上が2日以上連続して観測された最初の日とした。

3. 気象データ

気象データは兵庫県気象月報から神戸海洋気象台（標高58m）と、柏原町（丹波山地、標高95m）と一宮町（中国山地、標高195m）の地域気象観測所を用いた。また、神戸市環境局環境保全部より六甲山頂（標高800m）の観測データを得た。

なお気象観測所と観測林の位置関係は柏原気象観測所から東に約3kmで20m高いところに柏原観測林がある。六甲山山頂気象観測所から距離1km、標高差50mの範囲に六甲山頂観測林がある。神戸海洋気象台から東北東に約6km、約90m高いところに六甲山麓観測林がある。

結 果

1. 観測林の開花推移

個々の樹の開花状況を1分咲、3分咲、5分咲、満開、50%花粉残、30%花粉残、10%花粉残、終了に分類し、それぞれの開花状況で満開までは10%、30%、50%、100%の開花率、その後は50%、30%、10%、0%の開花率とし、その平均値を林の開花率とした。また、それぞれの開花状況における花粉の残存量はナイロン袋に雄花を採取して、完全に咲かせた後、生理食塩水を加えて花粉を浮遊させ、花粉数をトーマ血球計算盤で計数した。それぞれの開花状況における花粉残存量の平均値は約100%、95%、90%、80%、50%、30%、10%、0%であり、個々の樹について算定し平均値を林全体の花粉の残存量とした。Fig. 2に95年の有馬の観測林の開花状況を示したように、各観測林における開花率はほぼ正規分布になり、残存量はロジスティックカーブを示した。正規分布の中央値は多くの樹が開花最盛期になり、花粉の放出可能量が最も多い日で、その林の開花最盛日とした。各観測林を気象条件で比較するとき、正規分布の中央値である開花最盛日が林の状態をよりよく反映すると考え、以後の検討に開花最盛日を用いた。

2. 六甲山麓の開花開始日と飛散開始日

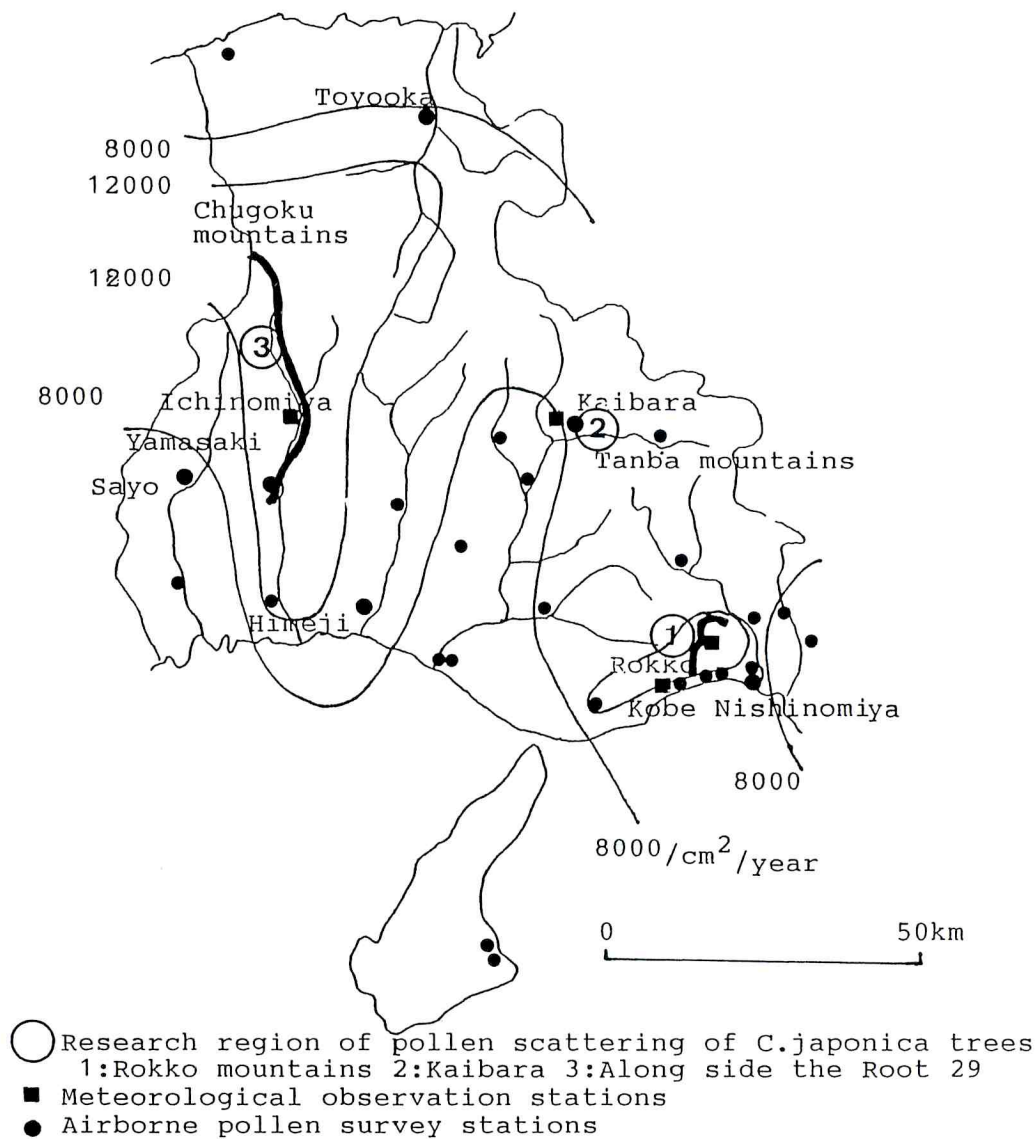


Fig. 1. Outlook of Hyogo Prefecture and the total pollen count of *Cryptomeria japonica* in 1995.

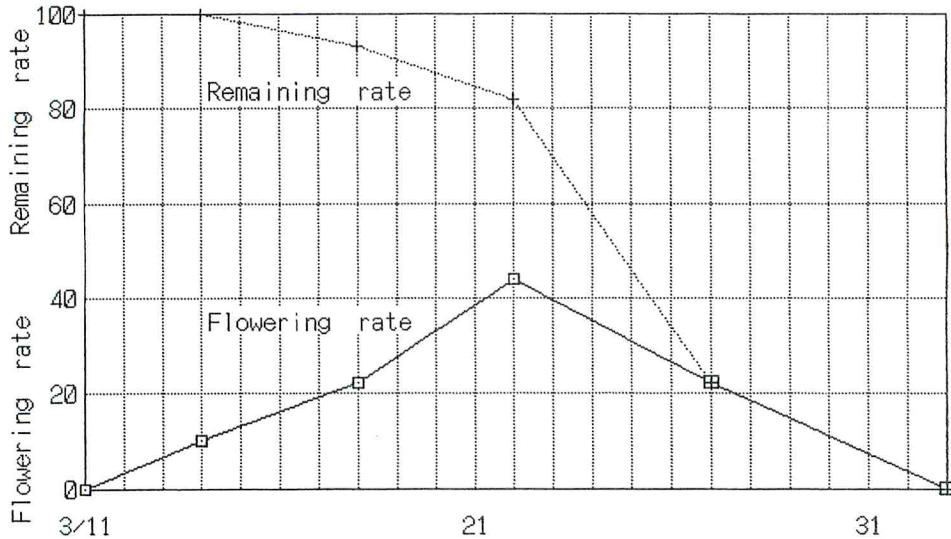


Fig. 2. Flowering time of the Arima sugi forest in 1995.

六甲山麓の開花開始日と西宮市における飛散開始日を Table 1 に示した. 平年値の $1700 \text{ 個}/\text{cm}^2$ をうわまわる豊作年における西宮市における飛散開始日は 91 年を除くと観測林の開花とはほぼ同時期であり, 表に示していないが観測林の開花率が 10, 15, 30, 12, 50% と平均 $23.4 \pm 16.8\%$ の時であった. 91 年は 2 月 20 日に開花するも 21 日から 29 日まで冬型の天気が続き, 中国・丹波山地の気温が上がった 3 月 3 日に飛散開始となった.

不作年における飛散開始日の六甲山麓観測林の開花状況は, 89 年は半数が咲き終えた時, 92 年は咲き始めて開花率が 5% の時, 94 年は終了間近で残存率が 24% の時であった. いずれも主な花粉供給地である丹波山地の開花が始まって, 飛散開始となった.

飛散開始前の神戸の最高気温の推移は, 前日と当日は 11.8°C と上昇し, 丹波柏原町の最高気温も 2 日間続いて 10.3 ± 3.5 , 10.8 ± 3.5 と 10°C 台になった時であった.

3. 六甲山麓と柏原町観測林の開花最盛日

柏原町の観測林の開花時期は兵庫県の前半と半ばの花粉シーズンと一致した. 六甲山麓と柏原町の観測林の開花最盛日を 1 月 1 日からの気温の積算値で検討した (Table 2). 1988 年から 95 年までの六甲山麓の開花最盛日の神戸海洋気象台の最高気温の積算値は

$531.6 \pm 73.6^\circ\text{C}$, 柏原の開花最盛日は六甲山麓より約 12 日遅く, 柏原気象観測所の最高気温の積算値は $551.3 \pm 70.5^\circ\text{C}$ (神戸との相関 $p < 0.01$) で, 5°C 以下の日を省くと $513.5 \pm 68.8^\circ\text{C}$ (神戸との相関 $p < 0.05$) となった. 平均気温の積算値は神戸が $322.3 \pm 48.0^\circ\text{C}$ であるのに対し, 柏原は $252.0 \pm 28.6^\circ\text{C}$ と小さくなった.

4. 六甲山系における開花前線の登高

Fig. 3 は 95 年の六甲山系における標高による開花前線と柏原, 山崎, 西宮, 姫路, 豊岡, 和歌山の 1 週間毎の花粉飛散数の合計を示した. 1 週間の集計にした理由は日々の推移だと煩雑でパターン認識が難しいこと, スライドガラスの交換が休日に行われぬ観測地があるためである. 月曜日から日曜日までの集計とし, 中央の水曜日を代表として表示した. 植林地帯の柏原と山崎は 3 月 15 日をピークとする山型に対し, 姫路や豊岡, 特に西宮は山が小さく幅広がり台形型となった. 日本海側の豊岡は立ち上がりが遅いものの, 六甲山頂終了とともに飛散が終了した. また, 和歌山市は兵庫県と飛散期間はほぼ同じであるが, 前半の飛散数が多かった. 六甲山系の開花状況は兵庫県全域の花粉飛散の開始期・最盛期・終焉期に反映され, 山麓の開花とともに飛散開始となり, 山頂の開花終了とともに飛散期は終了した.

Table 1. Date of flowering of *Cryptomeria japonica* and cumulative temperature from Jan. 1st at the foot of the Rokko mountains, and survey in Nishinomiya during the period from 1988 to 1995.

Year	Day	Flowering		Airborne pollen					Beginning day	Total counts /cm ² /year
		Cumulative temperature		Maximum temperature from beginning day						
		Mean	Max.	-4	-3	-2	-1	0		
1988	2/6	220.5	300.7	10.0	2.3	5.6	15.9	12.4	2/6	2589
1989	1/29	211.1	307.1	7.7	9.0	9.2	10.3	14.6	2/15	304
1990	2/15	242.3	385.6	9.7	8.0	10.7	10.1	11.4	2/16	2077
1991	2/20	282.3	469.8	13.6	13.2	7.2	6.8	10.5	3/3	4163
1992	2/16	289.4	461.1	9.3	8.2	9.0	11.1	8.7	2/14	593
1993	2/8	249.7	385.9	8.2	13.0	11.5	18.5	18.1	2/7	2021
1994	2/19	268.2	468.5	8.6	10.4	11.3	9.5	8.8	3/3	236
1995	2/19	248.5	433.8	8.8	8.7	10.6	11.8	9.6	2/25	9294
mean	2/13	251.5	401.6	9.5	9.1	9.4	11.8	11.8	2/18	
±SD		27.7	69.0	1.8	3.4	2.1	3.7	3.2		

Table 2. Date of maximum flowering of *Cryptomeria japonica* and cumulative temperature from Jan. 1st in the Rokko mountains and Kaibara during the period from 1988 to 1995.

Region	Foot of Rokko (150m)			Kaibara (120m)			Summit of Rokko (800m)		
Year	Day	Mean	Max.	Day	Mean	Max.	Day	Mean	Max.
1988	2/28	313.4	542.7	3/11	215.3	539.6			
1989	2/5	247.6	375.4	2/23	230.2	464.5	3/11	132.0	278.5
1990	2/18	246.8	446.2	2/22	229.6	413.2			
1991	3/6	360.8	596.3	3/14	272.8	573.6	3/26	116.4	247.7
1992	2/27	387.1	564.9	3/7	268.2	579.1	3/20	101.7	215.0
1993	2/22	360.4	560.4	3/11	303.1	620.1	4/4	130.4	274.1
1994	3/2	327.7	579.5	3/18	242.1	605.4	3/30	80.0	206.6
1995	3/5	316.6	587.7	3/17	254.9	615.2	3/28	91.1	208.1
mean	2/27	322.3	531.6	3/8	252.0	551.3	3/25	108.6	238.3
±SD		48.0	73.6		28.6	70.5		21.2	33.0

六甲山麓から山頂までの標高差 650m の開花最盛日の差は平均 26 日であり、Fig. 4 に示したように気温の推移により波を打つもほぼ直線的に開花前線が登った。六甲山頂の開花最盛日は 1 月 1 日からの気温の積算値が平均気温で $108.6 \pm 21.2^\circ\text{C}$ 、最高気温で

$238.3 \pm 33.0^\circ\text{C}$ であり、六甲山麓のそれぞれの積算値 $322.3 \pm 48.0^\circ\text{C}$ 、 $531.6 \pm 73.6^\circ\text{C}$ より低かった (Table 2).

5. 中国山地における開花前線の登高

93 年 3 月 14 日と 95 年 3 月 18 日と 27 日における

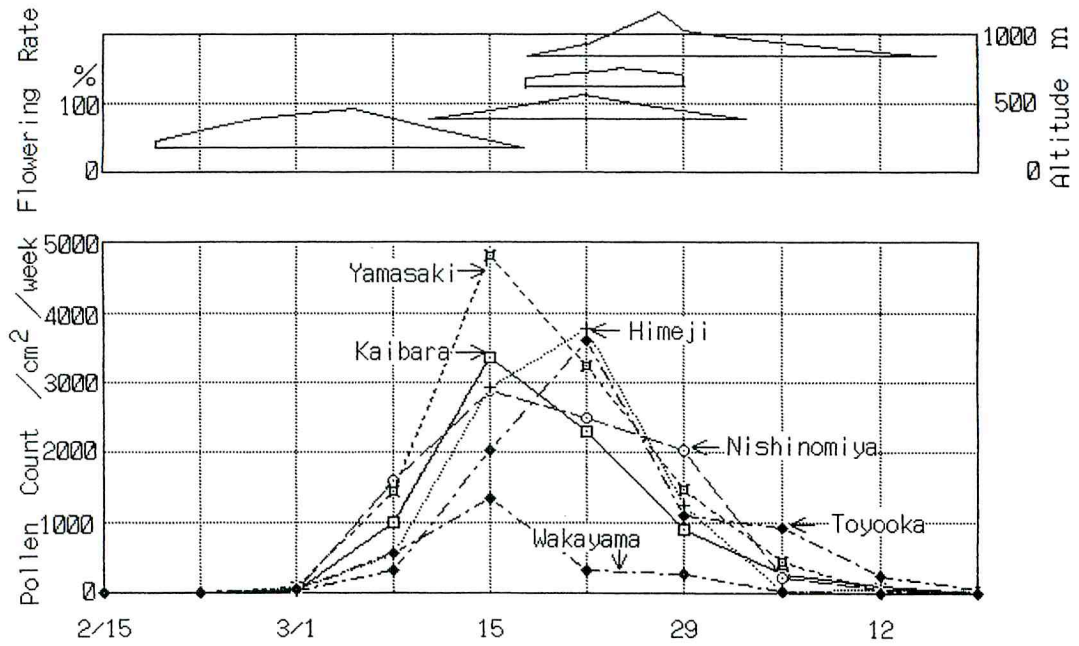


Fig. 3. Weekly fluctuation of the number of *C. japonica* pollen and the “scattering front” of *C. japonica* going up the Rokko mountains in 1995.

Airborne pollen grains were collected using Durham’s trap and number of the pollen count was indicated per square centimeter per season.

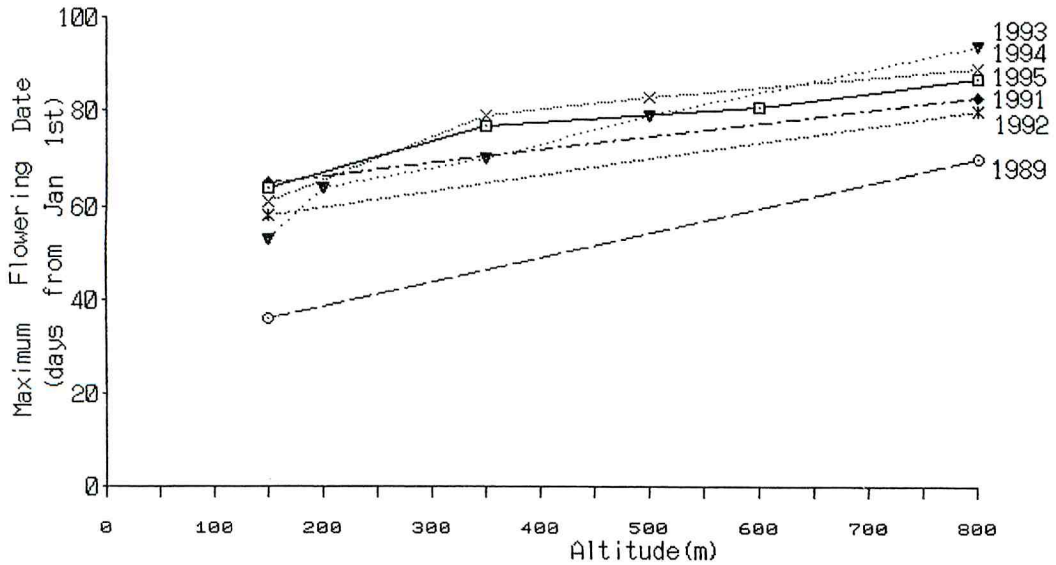


Fig. 4. The relationship between the maximum flowering date and altitude in the Rokko mountains.

中国山地での開花調査結果を、花粉の残存率を指標として標高別に Fig. 5 に示した。開花の初期や終焉期では標高の変化に対する残存率の変化は少ないが、最盛期には標高の変化に対し急激な残存率の変化が生じるロジスティックカーブを示した。

花粉の残存率が一致する観測林間の開花時期は同じと考えられ、各地の観測林の残存率が一致する中国山地の標高を求めた。93年3月14日の中国山地の調査結果では、柏原標高120mと中国山地標高150m、六甲350mと中国180mの残存率すなわち開花時期が一致した。95年3月18日と27日の調査では、柏原標高120mは中国山地標高170m、六甲350mは中国250m、六甲760mは中国490mと開花時期が一致した。六甲と柏原の観測地と一致する中国山地の標高が93年より95年のほうが高くなった理由は、95年は93年と比べ一宮の1月と2月の平均気温の積算値の差が神戸と14.0℃、柏原と22.4℃縮まり相対的に暖かくなったためと推察された。

考 察

兵庫県立森林・林業技術センターの吉野豊は、兵庫県では挿し木によるスギは着花量が少なく個体数も少ないため、花粉源としては実生樹が重要で、開花時期

は個体差が大きく、品種による開花時期の差は無視できると述べている。選択した観測林は雄花を着花する実生樹であり、六甲山頂に高山由来の品種を植えているとは考えられず、品種による開花時期の差はなかったと考える。

飛散開始はその地区で最も早く咲いた樹木による空中花粉濃度が一定以上になった時にみられる。しかし、植林地帯で早く咲く樹を特定することは困難なので、温暖な六甲山麓のように早く開花する観測林の開花を飛散開始の指標とすると好都合である。開花状態の評価としての開花率は、開花した全ての花粉が放出された時には、その時の最大の花粉放出量となる。また、林の放出されずに残っている花粉の割合を残存率とした。開花率と残存率を用いると、観測林の開花状態を的確に把握したり、各観測林間の比較にも便利であった。

飛散開始日を推定するため、1月の気温や1月1日を起算日とする積算気温が用いられている^(5, 6)。我々は冬至と1月1日からの積算値では差がないことと、他に起算日を設定できないため便宜上、1月1日からの最高気温の積算値を目安に、六甲山麓林の開花準備状況で空中花粉の飛散開始日を推定してきた。しかし、1月1日からの六甲山頂の気温の積算値は当然ながら山麓の積算値より低く、1月1日からの積算値はその

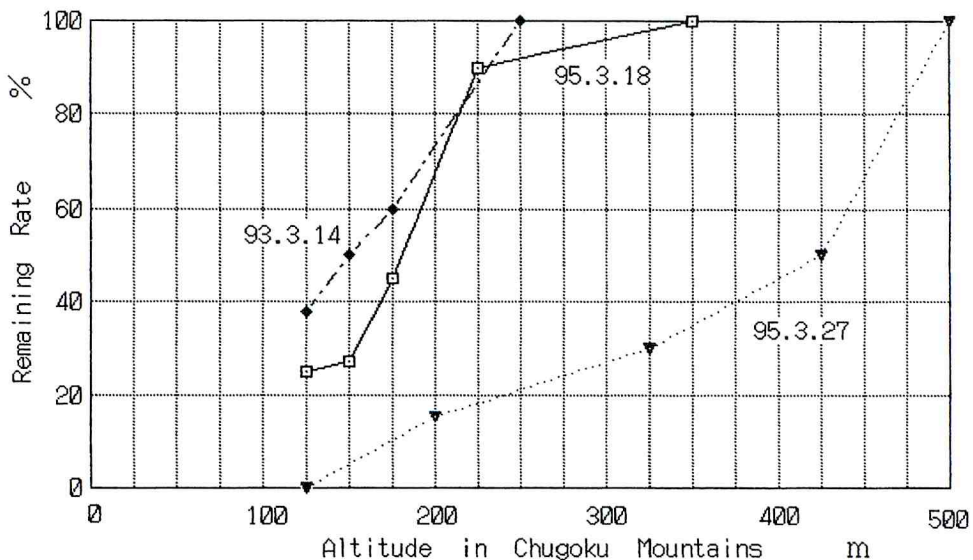


Fig. 5. The percentage of remaining pollen related to altitude in Chugoku mountains in 1993 and 1995.

Table 3. Date of reactivation from dormancy (React), in accordance with Taira presentation, and cumulative temperature at the beginning and the maximum flowering (Max. flow.) of *Cryptomeria japonica* from day of reactivation from dormancy, in the Rokko mountains and Kaibara during the period from 1988 to 1995.

Region	Foot of Rokko (150m)					Kaibara (120m)			Summit of Rokko (800m)		
	Beginning		Max. flow.			Max. flow.			Max. flow.		
	React	Mean	Max.	Mean	Max.	React	Mean	Max.	React	Mean	Max.
1988	12/21	334.9	464.6	427.8	706.6	12/11	333.4	740.2			
1989	12/9	359.1	542.1	395.6	610.4	12/1	344.9	700.1	no data		
1990	12/17	349.2	544.2	371.7	604.8	12/4	374.7	538.2			
1991	12/29	295.6	491.3	374.1	618.0	12/22	316.8	655.3	11/4	333.6	559.6
1992	1/2	281.3	448.9	379.0	736.0	12/17	358.3	732.0	11/3	370.0	603.9
1993	12/27	295.2	449.8	405.9	624.3	12/22	352.7	713.2	11/4	356.0	618.4
1994	12/25	323.9	598.8	383.4	709.8	12/9	352.4	815.6	10/29	360.4	618.9
1995	12/22	330.6	552.4	398.7	706.3	12/23	311.3	705.4	11/18	388.5	625.2
mean	12/23	321.2	511.5	392.0	664.5	12/14	343.1	701.3	11/5	361.7	605.2
± SD		27.8	55.6	18.9	54.7		21.4	78.9		20.1	26.7

地区に局限した開花の目安として利用ができ、六甲山系の開花前線の登高を指標とすれば兵庫県他地区の類推も可能であった。

橋詰⁽⁷⁾は11月上旬までは雄花は成熟すると指摘、その後休眠期にはいると思われる。初冬の雄花は研究室で咲かないことから、なんらかの休眠打破が必要なことは明らかである。冬至と1月1日からの積算値の検定では差がないこと、積算値のばらつきが大きいことから、日照時間より温度変化が休眠打破に関係していると示唆される。平⁽⁸⁾は富山県での休眠打破になる条件を求め、平均気温が6℃以下で最低気温が3℃以下が3日以上続き、その直後に最高気温の10℃以上が2日以上続いた日とし、1983年から91年までの分析で、この条件がよく当てはまると報告した。

我々の予備実験では休眠打破されてから開花するまでに必要な有効積算温度は求められなかったので、平が提唱した休眠打破日の条件が兵庫県にも当てはまると仮定して検討した。この条件に当てはまる休眠打破日は容易に特定でき、Table 3に示したように休眠打破日の平均日は、六甲山麓が12月23日、柏原町12月14日、六甲山頂11月5日となった。各観測林の休眠打破日を起算日とする開花最盛日までの平均気

温と最高気温の積算値は、六甲山麓でそれぞれ392.0±18.9℃、664.5±54.7℃となり、柏原でそれぞれ343.1±21.4℃、701.3±78.9℃となり、六甲山頂でそれぞれ361.7±20.1℃、605.2±26.7℃となった。平均気温の積算値の方が最高気温の積算値より分散も小さく、各観測林間の平均値の差も小さく有用性が示唆された。

積算温度に最高気温を用いるか、平均気温を用いるかは目的により異なる。我々の実験では研究室で生けた雄花と現場での同一個体の雄花では、伸長の割合と開花日は平均気温の積算値との一次回帰式で表された。以上のことから平均気温を用いた方が生理学的にもよいとの結果が得られたが、新聞紙上では平均気温は記載されていないので、運用にあたっては気象観測の情報網を必要とする。

気温と開花の分析では気温観測地と観測林の位置の問題があり、特に高低差による温度差の検討は必要である。1991年から95年までの神戸海洋気象台と六甲山頂の1月と2月の平均気温の差は7.359℃/日であった。これを標高150mの観測林に当てはめると、平均気温の積算値の平均値は331.8℃となった。また、柏原観測林と気象観測所との25mの標高差が六甲山系の標高100mで0.992℃の温度差と同じとすると、

322.9°Cとなり六甲山麓と柏原観測林の積算値は近似した。六甲山頂の361.7°Cもかなり近い値なので、平の条件を積算温度の起算日とすることにより、兵庫県各地における開花時期が推定できると考えられた。富山と兵庫県において休眠打破の条件に差がみられなかったが、有効積算温度が富山県で183.85日度に対し、兵庫県での3観測林の平均は339°Cと異なり、この差が品種による差から生じたのかや、有効積算温度の求め方にも難点があり、今後の検討を予定している。

温暖な瀬戸内気候にある六甲山麓のスギ雄花の開花とともに、兵庫県全域の飛散開始となり、花粉飛散の終了は六甲山頂の花粉が消失するとともに訪れた。六甲山系での開花時期は、代表として選んだ和歌山市にも概ね当てはまり、六甲山系の開花時期が兵庫県や和歌山市を含めた近畿中北部の花粉飛散期の指標となりえた。中国山地では標高891mの戸倉峠より高い1300m近くまで植林されているが、山崎町の花粉飛散時期は六甲山頂と同期しており、標高500m以上の植林地からの花粉は、地形の関係で流れてこないか、拡散され花粉が捕らえられないと考えられた。

気温の推移により中国山地と丹波山地の開花時期は年により異なるが、六甲山系の開花前線の登高と各地の気温の推移により、兵庫県を中心とした近畿中北部の開花時期の推定は可能であった。この結果から地域の標高別植林面積がわかり花粉生産量が推定できれば、地域の花粉飛散予報も可能と考えた。

要 約

兵庫県におけるスギ花粉の主要な供給源は中国と丹波山地である。暖かい瀬戸内にある六甲山系の標高150mの麓の観測林は兵庫県における花粉飛散開始日の指標となった。花粉の不作年の飛散開始日は丹波山地の標高120mの柏原観測林の開花日まで遅れた。標高800mの六甲山頂の観測林はスギ花粉シーズンの終

了の指標となった。柏原観測林と中国山地で1993年には標高150m、1995年には標高170mと花粉の残存率が一致した。

1988年から95年までの六甲山麓、柏原、六甲山頂の観測林の開花最盛日までの平均気温の積算値の平均値を求めた。1月1日からの計算ではそれぞれ322.3°C、252.0°C、108.6°Cになった。平が提案した条件に相当する休眠打破日から計算すると、それぞれ392.0°C、343.1°C、361.7°Cと近似した。

これらの結果から花粉拡散モデルが検討でき、地域の花粉飛散予報が可能となると考えた。

引用文献

- (1) 高橋裕一・小野正助・他：スギ開花の時期と標高、メッシュ気温との関係。花粉誌 39, 113-120 (1993).
- (2) 小笠原寛・吉村史郎・中原聰・藤谷哲造・岡田等：兵庫県におけるスギ・ヒノキ科花粉飛散状況。花粉誌 37, 145-150 (1991).
- (3) 小笠原寛・吉村史郎・中原聰・藤谷哲造・岡田等・他：1994年のスギ・ヒノキ科花粉飛散と観測林の状況。兵庫医会誌 37, 39-42 (1994).
- (4) 小笠原寛：兵庫県の花粉症。兵庫県花粉症研究会 pp 25-58 (1995).
- (5) 岸川禮子：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, 353-363 (1988).
- (6) 村山貢司：関東におけるスギ花粉情報。花粉誌 34, 153-156 (1988).
- (7) 橋詰隼人：スギの花芽分化期および花芽の発育経過について。日林誌 44, 312-319 (1962).
- (8) 平 英彰・寺西秀豊・剣田幸子：スギの花粉飛散開始日の予測について。アレルギー 41, 86-92 (1992).

