

〔原 著〕

スギの花粉飛散開始日の予測について

—植物生理の観点から—

富山県林業技術センター林業試験場

平 英彰

富山医科薬科大学公衆衛生学教室

寺西秀豊 劔田幸子

植物の生理学的な観点からスギの花粉飛散日の予測を行うためにスギ雄花の発育限界温度（これ以下では発育がおこらない温度）と有効積算温度（スギ雄花の開花に必要な温度の総和）を明らかにした。スギ雄花の発育限界温度は 0.17°C 、有効積算温度は184日度であった。花粉飛散開始日が明らかになっている年の過去8年間の気象データを用いて、花粉飛散日から有効温度の積算が184日度になる日を逆算し、スギ雄花の休眠が打破された日（スギ雄花の生育が休止している状態が打破され、再び生長を始めた日）を推定した。その時の気象条件を検討すると、休眠打破は平均気温が 6°C 以下で最低気温が 3°C 以下の日が3日以上続き、その後に最高気温 10°C 以上の日が2日以上続いた時に生じていた。今後これらの結果を用いて、スギの花粉飛散開始日を正確に予測することは困難でないと考えられる。

Key words: pollen scattering — prediction — sugi male flower — threshold temperature of development

はじめに

スギの花粉飛散開始日の正確な予測は花粉飛散予報における最も重要なポイントの一つである。これまでスギの花粉飛散開始日の予測に関するいくつかの報告がある。橋詰¹⁾は鳥取県において1969, 1970, 1972年のスギ花粉飛散は1月1日からの最高気温の積算値がおよそ 300°C に達した頃に始まったことを報告している。斉藤ら²⁾は1月1日から花粉飛散日までの最高気温の積算値、村山³⁾は1月の平均気温の積算値、また、岸川⁴⁾は1月の平均気温と1月1日からスギ花粉飛散開始日までの日数との相関関係を用いて、花粉飛散開始日の予測を試みている。これまでに行われた予測においては、1月の最高気温又は平均気温がスギ雄花の生育とどのような関連性があるのか、また、気温の積算の起算日をなぜ1月1日に設定するのかなどについての根拠は示されていない。スギの花粉飛散開始日を予測するには、統計的に適合するデータを探しそれを用いることも一つの方法である。しかし、それらはよく適合することもあるだろうが、スギの休眠打破⁵⁾などの生

理的な条件が考慮されていないため、気象条件が平年よりずれた時には適合性がよくないと考えられる。スギの花粉飛散開始日の予測には、スギ雄花の休眠打破の条件や発育限界温度及び有効積算温度⁶⁾を明らかにし、それらをもとに行うのがより合理的であろう。筆者らは、富山県の郷土品種であるタテヤマスギを用いてスギ雄花の発育限界温度と有効積算温度を明らかにした。さらに、これらの結果を用いて過去8年間にわたって調査した富山県のスギ花粉の飛散開始日から、雄花の休眠が打破された日を推定し、その頃の気象条件をもとに花粉飛散開始日の予測方法について検討した。

実験の方法

1991年1月7日、富山県中新川郡立山町吉峰の標高230mに位置する富山県林業試験場構内に植栽されている40年生のタテヤマスギ実生林（種子から養苗された苗で植えられた林）32個体から雄花を採取した。採取した雄花はスギ林の東側に面した林縁木の中部から下部の枝に着花していたものである。採取した枝から雄花の着生している部分を長さ30cm程度に切り取

Received: June 29, 1991

Accepted: October 23, 1991

り、余分な針葉や雄花を切り落としたあと、雄花15~49房（雄花数で213~716粒）を1単位として直径15mm、長さ150mmの試験管に挿し、水を充して試験管立てに8組セットした。そして、22℃、18℃、14℃、10℃、8℃、6℃、4℃、2℃の温度にあらかじめ設定していた温度勾配器でそれぞれ栽培した（Fig. 1）。なお、温度勾配器の両面は透明なガラスで東側に面した窓から自然採光できる部屋に設置された。栽培後、毎日8時半から9時半の間にスギ雄花の開花状況を観察すると同時に蒸散した試験管内の水の補給を行った。開花の判定は雄花を短い棒で軽くたたき、花粉の飛散が肉眼で確認された時をその個体の開花日とした。また、実験に用いた材料はタテヤマスギ実生（種子から養苗された個体）で、雄花の開花日には個体によって1週間程度のずれが認められる⁷⁾。また、スギ林から離れた場所で花粉が検出されるには、スギ林内の10%~15%程度の個体が開花する必要があると考えられる。そこで、設定した各温度におけるスギの開花日は、実験し

た各群個体数の約15%以上にあたる5本以上が開花した時にその設定温度におけるスギ雄花の開花日とした。

気温の推移と積算温度の関係及びスギ雄花の成長を明らかにするため、同一のスギ林内の同一個体から2月10日、2月20日、3月3日に雄花を採取し、10℃で栽培した。そして、採取日から開花日までの積算温度を計算すると同時に、2月10日に採取した雄花と10℃で栽培して開花した直後の雄花の縦方向の伸長量をノギスで測定した。また、実験に用いたスギ林については、3月上旬から毎日雄花を棒でたたいて花粉の飛散が始まるのを観察した。

また、1983年から1985年、1987年から1991年の8年間にわたって、富山市杉谷にある富山医科薬科大学の屋上（標高90m）にDurhamの花粉採取器を設定しスギ空中花粉の調査を行った。ワセリンを塗布したスライドガラスを原則として毎朝9時に取り替えた。花粉の染色はグリセリンゼリーで行い1cm²内の花粉を顕

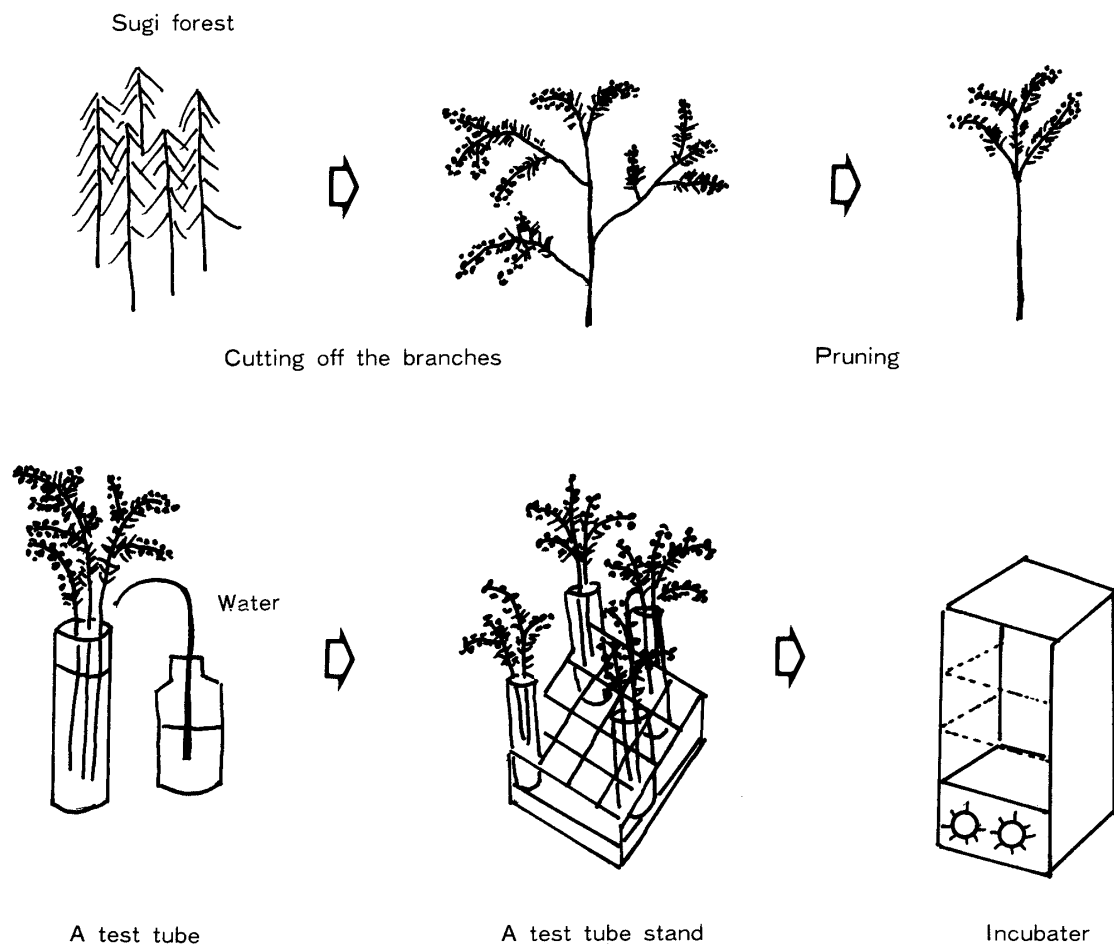


Fig. 1. The method of incubating sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) male flower.

Table 1 The days need for sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) pollen scattering, cumulative thermal constant and rate of growth in incubation temperature

Incubation temperature	22℃	18℃	14℃	10℃	8℃	6℃	4℃	2℃
Days for pollen scattering	11	10	14	18	25	32	41	58
Cumulative thermal constant	242	180	196	180	200	192	164	116
Rate of growth	0.091	0.100	0.071	0.056	0.040	0.031	0.024	0.017

微鏡で同定しカウントした。スギ花粉の飛散開始日は1個以上の花粉が3日連続して観察された日の初日とした。

結 果

各処理温度におけるスギ雄花の開花に要した日数、積算温度及び発育速度(1/開花日数)を Table 1, Fig. 2 に示した。開花日までの日数は22℃の処理で11日、10℃で18日、2℃で58日を要し、処理温度が低くなるほど開花日までの日数が増加した。開花日までの積算温度は4℃から18℃処理の場合は164日度から200日度の範囲で、特別大きな差異は認められなかった。しかし、2℃処理では116日度と著しく低い値を、また、22℃処理では242日度と著しく高い値を示し、32個体の内6本しか正常の開花に至らず他は枯死し、2℃及び22℃処理ではそれぞれ低温障害及び高温障害が発生した。また、スギ雄花の発育速度は22℃で0.091、2℃で0.017と処理温度が低くなるに従って小さい値を示していた。

高温と低温障害の発生した22℃と2℃処理のデータを除いて発育速度(X)と飼育温度(Y)の関係を求めると、相関係数 $R=0.99(p<0.001)$ で、 $Y=a+bX$ で表わされる次の一次回帰式が得られた。

$$Y = -0.000947 + 0.005439X$$

有効積算温度 K は $1/b$ で与えられ、また、直線が X 軸を切る点、すなわち $Y=0$ のとき X が発育限界温度である⁶⁾。したがって、有効積算温度 K は

$$K = 1/0.005439 = 183.85 \text{ 日度}$$

発育限界温度 X は

$$X = 0.000947/0.005439 = 0.17$$

となった。

スギ花粉の縦の長さは1月7日で平均4.85mm、2月10日で平均5.60mm、10℃で栽培し開花した時は平均6.60mm としだいに大きくなっていった。また、2

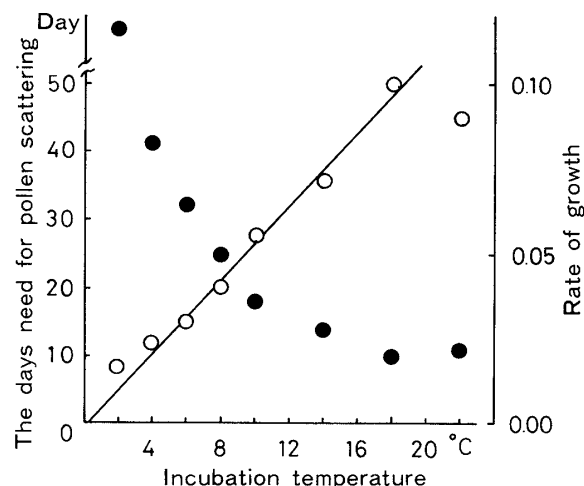


Fig. 2. The relationship between the days need for sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) pollen scattering and incubation temperature, and rate of growth.

● : The days need for pollen scattering.

○ : Rate of growth.

Table 2 The beginning day of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) pollen scattering

1983 : March 14	1988 : March 10
1984 : March 20	1989 : February 15
1985 : March 6	1990 : February 20
1987 : March 3	1991 : March 4

月10日、2月20日、3月3日に採穂し10℃で栽培したスギ雄花の開花までに要した温度の積算はそれぞれ100日度、80日度、50日度であった。スギ雄花を採取したスギ林の花粉飛散開始日は3月13日で調査した個体の10%程度の個体から花粉飛散が認められた。

富山医科薬科大学で観測した過去8年間のスギ花粉飛散開始日の多くは3月上旬から中旬にかけてであった。しかし、最も早い年は2月15日、遅い年は3月20日で、観測年によって1カ月以上の差が認められた (Table 2)。

考 察

スギ雄花は6月下旬から9月下旬にかけて分化し、11月上旬頃までには花粉囊中の花粉が成熟し⁸⁾、その後、雄花は休眠期にはいると考えられる。しかし、いつ休眠が打破されスギ雄花が成長を開始するかは明らかにされていない。スギ雄花の縦の長さは1月7日から2月10日までの期間、平均0.75mm 伸長していた。これは、スギの新葉が伸長しない冬期間においてスギ雄花はすでに休眠が打破され成長を始めていたことを示している。

雄花を採取したスギ林の花粉飛散開始日は3月13日

であった。有効温度（日あたりの雄花が発育できる温度の積算値）は最低気温が発育限界温度を越えていれば平均気温とほぼ等しい⁵⁾。最高気温が発育限界温度より低ければ有効温度は零である。また、最低気温が発育限界温度以下であった場合は次に示した法橋⁹⁾の有効積算温度の修正法によってほぼ満足すべき結果が得られている。

$$(T-t)x = \frac{[\text{Max}(x)-t]^2}{[2 \times \text{Max}(x) - \text{Min}(x)]}$$

(T-t) x は X 日の有効温度

t は発育限界温度

Max(x), Min(x) はそれぞれ、その日の最高、最低

Table 3 The meteorological conditions and cumulative thermal constant from the first day of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) pollen scattering when the dormancy was broken down

Year	Date	Temperature thermal cumulative					Year	Date	Temperature thermal cumulative				
		Mean	Max.	Min.	Constant	Thermal constant			Mean	Max.	Min.	Constant	Thermal constant
1983	Jan. 2	2.2	6.1	-0.8	2.70	204.38	1988	Jan. 4	4.6	9.2	-0.3	4.36	195.30
	3	2.4	6.3	-0.1	2.96	201.68		5	1.4	4.0	-0.1	1.81	190.94
	4	3.2	8.0	-0.1	3.81	198.72		6	0.0	4.8	-1.8	1.88	189.13
	5	7.2	10.1	1.5	7.20	194.71		7	4.1	9.6	-3.5	3.92	187.25
	○ 6	7.7	9.9	4.1	7.70	187.71		○ 8	7.3	10.9	5.2	7.30	183.33
	7	8.2	14.1	0.7	8.20	180.01		9	2.3	6.1	-0.2	2.84	176.03
	8	8.0	15.1	1.4	8.00	171.81		10	-0.6	0.3	-1.1	0.01	173.19
1983	Dec. 4	4.5	7.3	2.8	4.50	208.58	1989	Jan. 4	1.7	4.8	0.4	1.70	199.08
	5	5.6	10.9	2.8	5.60	204.08		5	2.0	6.5	-0.1	3.06	197.38
	6	4.2	7.1	2.5	4.20	198.48		6	3.7	8.9	-1.4	3.97	194.32
	7	5.2	10.2	1.3	5.20	194.28		7	9.0	14.6	2.3	9.00	190.35
	○ 8	5.8	11.2	1.5	5.80	189.08		○ 8	9.0	10.1	8.1	9.00	181.35
	9	7.6	12.0	2.5	7.60	183.28		9	9.1	10.8	7.7	9.10	172.35
	10	11.0	15.5	5.6	11.00	175.68		10	9.2	11.4	7.6	9.20	163.25
1984	Dec. 6	4.0	8.1	1.8	4.40	238.55	1990	Dec.13	2.9	7.5	-0.9	3.38	202.90
	7	3.7	7.6	1.2	3.70	234.15		14	5.1	9.5	1.7	5.10	199.52
	8	5.0	11.4	0.3	5.00	230.45		15	4.9	6.8	2.7	4.90	194.42
	9	6.7	13.4	1.1	6.70	225.45		16	7.2	11.9	1.8	7.20	189.52
	○ 10	11.3	16.9	3.5	11.30	218.75		○ 17	8.2	11.0	5.6	8.20	182.32
	11	12.6	16.8	10.8	12.60	207.45		18	5.0	8.0	1.4	5.00	177.32
	12	11.5	13.2	9.7	11.50	194.85		19	1.2	4.4	-0.4	1.94	175.38
	13	8.1	11.4	4.1	8.10	183.35							
1987	Jan. 4	2.6	5.3	0.6	2.6	204.28	1991	Dec.18	4.7	6.7	1.9	4.70	231.01
	5	2.0	3.7	0.1	1.71	201.68		19	4.5	6.9	2.0	4.50	226.31
	6	3.3	7.3	0.1	3.51	199.98		20	5.6	9.0	1.3	5.60	221.81
	7	5.9	10.2	-0.4	4.84	196.47		21	9.2	14.9	5.1	9.20	216.21
	○ 8	7.1	10.5	4.8	7.10	191.63		○ 22	9.6	14.9	4.4	9.60	207.01
	9	2.2	6.2	0.3	2.20	184.53		23	3.6	11.4	1.2	3.60	197.41
	10	-1.3	0.5	-3.7	0.02	182.33		24	2.8	5.3	1.1	2.80	193.81
								25	5.0	9.6	1.8	5.00	191.01
								26	4.6	9.6	0.4	4.60	186.01

○ : The day when dormancy was broken down.

気温である。

林業試験場構内で測定した気象観測データを用いて、スギの発育限界温度を 0.17°C とし、林試構内のスギ雄花を採取した1月7日、2月10日、2月20日、3月3日からスギ林の花粉飛散日までの有効温度を計算し積算した値と、1月7日、2月10日、2月20日、3月3日に採取し 10°C で栽培した雄花における開花日までの積算温度を比較した。気温の修正値から得られた有効温度の積算値と実験で得られた積算温度との差は1月7日に採取した雄花で1.6日度、2月10日で2.1日度、2月20日で0.3日度、3月3日で0.7日度で、実験で得られた積算温度と気温を修正した有効温度の積算値はほぼ同じ値を示していた。このことは、我々が実験で得たスギの発育限界温度 0.17°C の適合性が非常に良いことを示している。

富山医科薬科大学で観測したスギの花粉飛散開始日は、それぞれの年における富山県の平野部のスギ花粉飛散日を示していると考え、富山気象観測所の気象データから有効温度を計算して、花粉飛散日からタテヤマスギの開花に必要な有効積算温度184日度になる日を逆算し求めた(Table 3)。有効温度の積算値が184日度以上に達した日を検討すると1982年度は1月6日、83年度は12月8日、84年度は12月12日、86年度は1月9日、87年度は1月17日、88年度は1月7日、89年度は12月31日、90年度は12月26日であった。したがって、これらの日の前後にスギ雄花の休眠が打破されたと考えても良いであろう。

次に有効温度の積算値が184日度に達した前後の気温を検討すると、1989年度以外は、最低気温が 3°C 以

下の日が3日以上続きその後最高気温がほぼ 10°C 以上の日が2日続いているという特徴が見い出された。そして、最低気温を記録した日はいずれも平均気温が低く 6°C 以下である。このような気象条件は各年ともそれ以前には出現していない。1989年度の場合は前述した条件より16日後になっているが、2月に記録した花粉飛散数を再検討すると2月9日、10日にスギ花粉がそれぞれ1個ずつ観測されていることが判明した。そして、11日の天候は雨で15mmの降水があった。かりに、11日が雨でなければスギの花粉は観測され、2月9日がスギ花粉の飛散開始日となっていたと考えられる。そこで、2月9日を飛散開始日として、有効温度を逆算すると12月16日に189.52日度に達し、前述した条件と一致した。このことから、富山県におけるスギ雄花の休眠打破は、最低気温が 3°C 以下の低温が3日以上続きその直後最高気温が 10°C 以上に変化し、それが2日以上続いた時に生じると考えられる。このことはスギ雄花の休眠打破は偶然的な要因によって生じるのではなく、温度差によって誘発されたことを示唆している。オジギソウの種子の休眠は定温よりは昼夜の温度差が 20°C あった方がよく打破されると報告されている¹⁰⁾。また、ヤマユリの子球は高温と低温処理後 20°C に保つと順調に発芽することが知られている¹¹⁾。スギ雄花の休眠打破もこれらの種子と同じように温度差によって決定されると考えられる。

逆にスギ雄花の休眠が打破された日（最高気温が 10°C 以上になって2日目）からDurhamで観測した飛散開始日までの有効温度の積算値の平均は192.65日度で、実験で得られた有効積算温度よりもおよそ9日度

Table 4 The comparison of an error of prediction for the beginning day of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) pollen scattering by many predictive method

Year	(day)				
	Our method	Hashizume's method	Murayama's method	Kishikawa's method	Saito's method
1983	0	13	2	2	7
1984	0	6	8	8	13
1985	14	1	7	7	14
1987	6	20	2	2	14
1988	1	24	3	3	4
1989	1	9	6	6	2
1990	1	2	12	12	17
1991	4	4	0	0	3
Mean	3.0	8.6	5.0	5.0	9.3

高かった。また、林業試験場内の気象観測データから実験に用いたスギ林の雄花の休眠が打破されたと考えられる日を検討すると平野部と同じく12月22日であった。このことは、筆者らが雄花を採取した時はすでに休眠が打破され雄花が成長を始めてしまったことを示している。したがって、実験によって得られた有効積算温度は、実際のものよりやや低くなったと推定される。また、発育限界温度も多少変わると考えられるが、いくつかのデータからの計算ではさほど大きな違いは生じない。過去8年間のデータを用いてスギ雄花の休眠打破日から有効温度の積算値が184日度に達した日及び橋詰¹⁾、斉藤²⁾、村山³⁾、岸川⁴⁾の方法によって得られた花粉飛散開始予測日と実際の花粉飛散日との日数の差を Table 4 に示した。なお、斉藤の予測に用いたデータは1989年、1990年の場合は1月の最高気温の積算値を、その他の年は1月と2月の最高気温の積算値を用いた。富山県においては、最高気温の積算値を用いた橋詰¹⁾、斉藤²⁾の予測はかなり誤差が大きい。また、1月の平均気温の積算値を用いた村山³⁾と平均気温を用いた岸川⁴⁾との予測日は同じで、最高気温を用いた予測よりは誤差が少ない。しかし、平均5日、最大で12日の誤差が認められる。これに対し、我々の方法では、有効温度の積算値が184日度に達する直前に平均気温0℃前後の低温日が長く続いた1985年と1987年に大きくずれるが、他の年は飛散開始予測日と飛散開始日はほぼ一致する。したがって、スギの発育限界温度は0.17℃、有効積算温度は184日度としてスギ花粉飛散開始日の予測を行っても大きな誤りは生じないと考えられる。

富山県の平野部におけるスギ林の雄花は12月上旬から1月下旬にかけて、平均気温が6℃以下で最低気温が3℃以下の日が3日以上続き、その後にはほぼ10℃以上の高温が2日以上続いた直後に休眠が打破され、成長を始める。そして、その日からの有効温度の積算値が184日度以上に達した時に花粉を飛散し始める。したがって、富山県においてスギ花粉の飛散開始日を予測する場合、12月から1月にかけての気温を検討し、前述した気象条件の日から有効温度の積算を行うことによって、花粉の飛散開始日を予測することができる。筆者らが得たスギの発育限界温度、有効積算温度及び休眠打破時の気温の条件が気象条件や品種が異なる他地域でそのまま適応できるかどうかは明らかでない。ニラの休眠打破に要する低温処理日数は品種や休眠の

深さで異なることが報告されている¹²⁾。またクワの品種によって休眠打破に必要な低温要求度が異なることも知られている¹³⁾。したがって、品種や気象条件が大きく異なる他地域での花粉飛散開始日の予測は、それぞれの地域の品種を用いて検討することが望ましい。しかし、地域や植栽されている品種が変わっても、雄花の休眠が打破された以降に30本以上の個体からスギ雄花を採取して開花させ、開花に要した積算温度と毎日の気温から有効温度を計算し比較することによって、花粉飛散開始日の比較的正確な予測が可能と考える。

文 献

- 1) 橋詰隼人：林木の交配に関する基礎的研究(V)。鳥取大農演報 25, 81-96, 1973.
- 2) 斉藤洋三, 竹田英子：東京都文京区における1988年のスギ・ヒノキ科空中花粉調査。日本花粉誌 34, 149-152, 1988.
- 3) 村山貢司：関東におけるスギ花粉情報。日本花粉誌 34, 153-156, 1988.
- 4) 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, 355-363, 1988.
- 5) 畑野健一, 佐々木恵彦：樹木の生長と環境。養賢堂, 東京, pp.1-383, 1987.
- 6) 伊藤嘉昭, 村井 実：動物生態学研究法(下巻)。古今書院, 東京, pp.445-450, 1977.
- 7) 平 英彰, 寺西豊秀, 劔田幸子, 槻陽一郎, 清水規矩雄, 河合康守：スギ林の雄花着花状況と空中花粉飛散パターンとの関連性について—1990年における富山県の例。アレルギー 40, 1200-1209, 1991.
- 8) 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.
- 9) 法橋信彦：ツマグロヨコバイの生活史と個体群動態に関する研究。九州農試場報 16, 283-382, 1972.
- 10) Dillon, S.P. and Forcella, F.: Fluctuating temperature break seed dormancy of catclaw mimosa (*Mimosa pigra*). *Weed Sci.* 33, 196-198, 1985.
- 11) 浅野 昭, 野口祐司, 増尾重治, 高津 勇：ヤマユリの発芽に関する研究。茨城県園芸試験場研報 11, 49-61, 1983.
- 12) 小沼 寛, 沢畑健次：ニラの休眠とその品種間差について。茨城県園芸試験場研報 12, 1-13, 1984.
- 13) 八尋正樹, 田代一美：桑4品種の冬芽の休眠打破に要する低温時数。日本蚕糸学雑誌 57, 284-288, 1988.

PREDICTION OF THE DAY ON WHICH SUGI (*CRYPTOMERIA JAPONICA* D. DON)
POLLEN SCATTERING WILL BEGIN
—From View Point of Plant Physiology—

Hideaki Taira

Forest Experiment Station, Toyama Forest and Forests Product Research Center

Hidetoyo Teranishi and Yukiko Kenda

Department of Public Health, Faculty of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University

We investigated the cumulative thermal constant and threshold temperature for the development of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) male flowers to predict the day on which pollen scattering would begin. The threshold temperature for the development of sugi male flowers was 0.17°C and the cumulative thermal constant was 184°C/day. Using these results, we determined how long it would take for sugi to be awoken from dormancy and we investigated the meteorological date. Reactivation from dormancy requires 3 days, where the minimum temperature is less than 3°C with a mean temperature of less than 6°C; the following day must have a maximum temperature of more than 10°C, and these conditions must be maintained for at least 2 days. From these results, it is not difficult to predict the day on which sugi pollen scattering will begin.
