

(原著論文)

近畿地方におけるスギ・ヒノキの花芽形成誘導に およぼす気象因子の分析

小笠原 寛¹⁾・吉村 史郎²⁾・金 春杰³⁾・足達 治¹⁾・阪上 雅史¹⁾

¹⁾ 兵庫医科大学耳鼻咽喉科 663-8501 西宮市武庫川町1-1

²⁾ 市立芦屋病院耳鼻咽喉科 659-0012 芦屋市朝日ヶ丘39-1

³⁾ 神戸大学農学部 657-0013 神戸市灘区六甲台町1

(1999年9月30日 受付, 1999年11月22日 受理)

An Analysis of Climatic Factors of Flower Bud Differentiation of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) in the Kinki Area

Hiroshi OGASAWARA¹⁾, Shiro YOSHIMURA²⁾, Shunketu KIM³⁾,
Osamu ADACHI¹⁾ and Masafumi SAKAGAMI¹⁾

¹⁾ Department of Otolaryngology, Hyogo College of Medicine,
1-1 Mukogawacho, Nishinomiya, 663-8501 Japan

²⁾ Department of Otolaryngology, Ashiya Municipal Hospital,
39-1 Asahigaoka, Ashiya, 659-0012 Japan

³⁾ Faculty of Agriculture, Kobe University,
1 Rokkoudaimachi, Nada, Kobe, 657-0013 Japan

Male flower development of sugi (*Cryptomeria japonica*) and hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) were observed at 11 forests in the former, and 9 forests in the latter in the Tanba mountains from 1989 to 1998. By using meteorological data of Kaibara in the Tanba mountains from 1989 to 1998; sunshine duration and precipitation from July 6 to 20 were significantly influenced the sugi male flower development, and sunshine duration and precipitation from July 16 to 31 were influenced the hinoki male flower development.

The correlation between the male flower development and meteorological data was seen at 16 sites in the Kinki area in 1998. In this year, it was characterized by small pollen dispersion numbers in spring and irregular weather in July. The sugi male flower development was significantly influenced by sunshine duration and precipitation both from July 11 to 15 and July 6 to 20. The hinoki male flower development seemed to be influenced by sunshine duration from July 16 to 31.

The first observed day of the male flowers in many trees was July 31st, 1999 in sugi and August 14th, 1999 in hinoki in the Rokko mountains. The male flower development of each site was able to be estimated from meteorological data and seemed to help in making pollen predictions.

Key words : *Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa*, flower bud differentiation, climatic factor

はじめに

スギとヒノキ科の花粉飛散予報は花粉症の治療や予防を行ううえで必須であり、なかでも飛散総数予測は花粉予報の根幹をなしている。夏に花芽形成が誘導される木本植物は夏の気象条件が花芽の量に影響する。スギは最高気温が25～30℃で4週間持続すると花芽が最大となる⁽¹⁾。このためスギ花粉の飛散総数予測

は、前年7月の平均気温⁽²⁾や平均湿度⁽³⁾、日照時間⁽⁴⁾、日射量に成長因子を加えた方法⁽⁵⁾がある。さらに、夏の気象因子に前年の結実量や前年の着花量などの内的な条件も花芽形成に影響することから⁽⁶⁾、着花量を考慮した予測がある^(7, 8, 9)。

我々も1990年より中国・丹波山地でスギとヒノキの着花状態を観察し、これによる花粉飛散総数予測が実測数と近似することを報告した⁽¹⁰⁾。しかし、兵庫

Table 1. Male flower development of sugi and hinoki in the Tanba mountains, meteorological data of Kaibara and the airborne pollen counts in Nishinomiya.

Year	Male flower development		July 11 to 20		July 16 to 31		Pollen counts in the next spring	
	Sugi (No / sprig)	Hinoki (%)	Sun	Pre	Sun	Pre	Sugi	Hinoki
1989	3.58	—	32.1	98	76.4	61	2077	852
1990	3.80	88	41.2	121	102.9	19	4163	3819
1991	1.67	30	21.5	107	61.9	122	593	347
1992	4.00	90	10.9	46	78.8	36	2021	3267
1993	1.57	11	10.7	83	33.4	91	236	43
1994	7.46	95	75.1	0	106.7	1	9294	7936
1995	1.03	0	14.6	66	60.1	70	554	91
1996	4.68	41	46.7	51	91.0	89	1861	700
1997	1.27	18	32.2	116	75.1	159	583	161
1998	2.84	36	17.6	48	42.8	122	1910	456

Sun : sunshine duration (hrs) Pre : precipitation (mm)

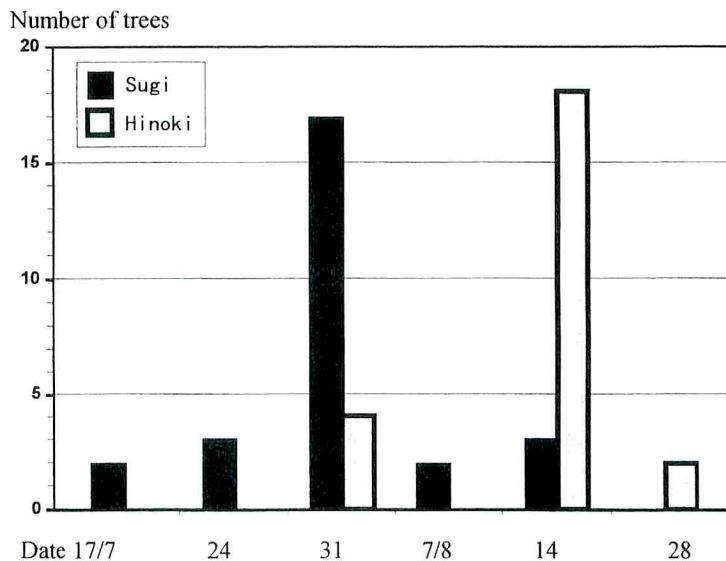


Fig. 1 The first observed day of sugi and hinoki male flowers in the Rokko mountains in 1999.

Forest location Prefecture City		Male flower development			Sugi prediction July 11 to 20 July 6 to 20	Meteorological data				
		Sugi Forests No / sprig	Hinoki Forests %	1 station		July 6 to 20 Sun Pre	July 15 to 31 Sun Pre			
Fukui	Katuyama	6	1.48	0	2.27	2.53	37.0	121	31.7	153
	Makino, Imazu	4	1.19	3	2.67	3.50	37.8	79	50.5	56
Shiga	Ujitahara	3	3.08	3	3.21	3.90	35.5	52	41.7	94
	Fukuchiyama, Miwa	4	1.77	2	2.47	3.45	40.3	90	57.5	92
Kyoto	Mizuho, Toyono	4	1.86	2	3.19	3.88	46.5	92	53.1	70
	Oyodo, Gojyo	2	3.85	3	2.66	4.39	53.7	94	58.4	104
Nara	Ohto	5	1.19	2	3.40	5.39	62.1	77	39.9	184
	Wakayama Nakaheji	2	4.57	2	3.80	6.05	67.7	66	43.5	193
Wakayama	Tanabe	2	6.29	1	4.31	6.66	75.4	65	65.3	208
	Sanda	4	4.36	6	3.44	5.06	58.6	80	72.9	66
Hyogo	Kaibara, Sannan	9	2.84	4	2.96	3.36	29.8	57	42.8	122
	Ichinomiya, Yamasaki	4	1.33	3	1.90	2.89	41.1	119	47.5	105
Tottori	Tatuno, Shingu, Kozuki	9	2.78	7	2.58	4.04	74.2	183	71.3	188
	Chizu	2	2.47	0	2.21	3.70	47.5	104	46.2	91
Okayama	Takahashi, Soja	3	3.62	2	2.52	4.34	54.0	97	53.1	119
	Hiroshima Tojo, Niimi	3	3.65	1	4.41	6.45	62.5	29	50.1	74

Forests : No of observation forests Sun : sunshine duration (hrs) Pre : Precipitation (mm)

Table 2. Male flower development of sugi and hinoki, and meteorological data in the Kinki area in 1998.

Prediction of the sugi male flower development was calculated using multiple regression equation of the Tanba.

Table 3. P value of correlation coefficient between the male flower development of sugi or hinoki and climatic factors in July.

	Period (July)	0 - 10	6 - 15	11 - 20	16 - 25	21 - 31	1 - 15	6 - 20	11 - 25	16 - 31	31days
Tanba	Sunshine duration	0.821	0.108	0.005	0.077	0.115	0.099	0.018	0.013	0.017	0.013
Sugi	Precipitation	0.425	0.748	0.035	0.336	0.041	0.088	0.815	0.027	0.020	0.000
	Maximum temperature	0.138	0.063	0.012	0.010	0.066	0.049	0.035	0.007	0.024	0.021
Tanba	Sunshine duration	0.652	0.469	0.136	0.103	0.078	0.362	0.154	0.106	0.023	0.050
Hinoki	Precipitation	0.208	0.389	0.339	0.123	0.055	0.269	0.896	0.223	0.017	0.005
	Maximum temperature	0.184	0.113	0.121	0.022	0.117	0.056	0.056	0.045	0.074	0.083
Kinki	Sunshine duration	0.025	0.031	0.126	0.942	0.026	0.033	0.040	0.186	0.107	0.023
Sugi	Precipitation	0.132	0.061	0.721	0.415	0.249	0.047	0.195	0.905	0.036	0.081
	Maximum temperature	0.400	0.166	0.094	0.541	0.330	0.250	0.126	0.170	0.328	0.199
Kinki	Sunshine duration	0.933	0.923	0.840	0.250	0.167	0.959	0.857	0.594	0.136	0.626
Hinoki	Precipitation	0.890	0.832	0.417	0.487	0.983	0.964	0.382	0.581	0.901	0.437
	Maximum temperature	0.303	0.297	0.948	0.355	0.584	0.316	0.568	0.917	0.397	0.796

Correlation was determined between the male flower development in the Tanba mountains and the meteorological data of Kaibara from 1989 to 1998, and between the male flower development in the Kinki area and the meteorological data of each site in 1998. It analyzed climatic factors by averaging the total for 5 days.

Table 4. P value of multiple correlation coefficient between the sugi and hinoki male flower development and climatic factors in July.

Location	Period (July)	11 - 20	16 - 25	6 - 20	11 - 25
Tanba	Sun + Pre	0.004	0.232	0.026	0.006
	Sun + Max temp	0.012	0.011	0.039	0.005
	Pre + Max temp	0.017	0.018	0.118	0.004
	Sun + Pre + Max temp	0.011	0.018	0.118	0.002
	Period (July)	6 - 15	11 - 20	1 - 15	6 - 20
Kinki	Sun + Pre	0.109	0.195	0.056	0.022
	Sun + Max temp	0.109	0.195	0.113	0.115
	Pre + Max temp	0.149	0.144	0.130	0.126
	Sun + Pre + Max temp	0.129	0.149	0.137	0.050

Sun : sunshine duration (hrs) Pre : precipitation (mm) Max temp : maximum temperature

県以外の着花量分布を推定するには花芽形成の誘導時期と、それに影響する気象因子を明確にすることが必要である。これらを明確にすることにより、少数の標準林の着花状態と地域気象観測所の気象データから近畿全域の着花量の分布が推定できないかを考えた。

1998年春は少量の花粉飛散数のため花芽形成する内的条件はおおよそ均一であったと推察された。一方、

北陸・山陰、瀬戸内、南海では夏の天気異なり、気象の花芽形成への影響をみるには好都合であった。北陸・近畿・中国地方の着花状態とその近くの地域気象観測所の気象データとの関係を分析し、丹波山地の着花条件が当てはまるかを検討した。スギは7月11日から7月20日まで、ヒノキは7月16日から31日までの日照時間と降水量が花芽形成量に最も影響すると

考えられた。

方 法

1. 着花状態の観察

兵庫県では丹波山地と中国山地がスギ花粉の主要供給源であり、丹波山地から阪神・東播州地区へと、中国山地から西播州・但馬地区への花粉飛散ルートに大別できる⁽¹⁰⁾。遠望でスギ雄花を認識できるようになる10月以降に定めた観測林の着花状態を観察した。丹波山地は三田市と篠山市間の山間部ならびに国道176号線沿いの柏原町と篠山市に観測林をおいた。スギ林は11ヶ所で145～201本、ヒノキ林は9ヶ所で115～135本を観察した。

1998年秋に北陸・近畿・中国地方で車を走らせながら着花状態を観察し、その地区の平均的な着花状態と思われた複数の林を観察し、その地区の着花状態とした。なお、Table 2に観察したその地区の林数を示した。各林での観察した樹の本数はスギは平均27本(11～63本)、ヒノキは平均18本(5～72本)であった。

2. スギ雄花の着花度の判定法

スギ雄花は樹全体を観察して個々の樹について着花度を5段階に判定した⁽¹⁰⁾。枝がたわむほど雄花が多い、中等度、やや少ない、少ない、なしの5段階とした。2人の観測者により明確に5段階に分類できた多い4本、中等度3本、やや少ない3本、少ない4本について、各々の樹から6～12枝を採取した。その枝について雄花の数と最も末梢の枝(緑枝)の数を計測し、緑枝1枝あたりの雄花数を着花度として求めた。5段階の着花状態における1緑枝当たりの平均雄花数は 10.9 ± 2.2 , 8.2 ± 3.1 , 2.7 ± 0.6 , 0.5 ± 0.3 であり、着花度をそれぞれ10.9, 8.2, 2.7, 0.5, 0個/緑枝とした。

樹を個々に5段階に判定し、個々の樹の着花度の平均値を林の着花度とし、11林の平均値を丹波山地の着花度とした。

3. ヒノキ雄花の着花判定法

ヒノキ雄花の視認は開花直前でないと難しいため、秋の観察は高所枝切りはさみで枝を採取できる樹を観察対象とした。樹全体の着花量を正確に判定することはできないため、雄花をつけた樹の割合すなわち着花率を求めた。また、林による着花率の差がスギより大きいいため、その地区の観察した樹の合計数で着花率を

計算した。

4. 雄花の初確認日

1999年夏に雄花がいつ観察できるようになるかをみた。対象とした樹は六甲山系の山麓から山頂までで、毎年雄花をつけ眼前で枝を観察できる樹とし、1週間毎に観察した。

5. 気象因子の分析

気象因子は日本気象協会発行の兵庫県気象月報から丹波山地の中心にある氷上郡柏原町(標高95m)の地域気象観測所のデータと、同協会関西本部から供与された1998年7月の近畿とその周辺地区のデータを用いた。統計処理はSPSS Base 8.0のソフトを用いて計算し、Pearsonの相関係数で表した。空中花粉数は西宮市武庫川町1丁目の観測地で、ダーラム型花粉捕集器で捕集した落下花粉数を1平方センチあたりの個数で表した。

結 果

1. スギ雄花の着花と気象

1) 丹波山地

Table 1に1989年から1998年までの丹波山地でのスギ雄花着花度とヒノキ雄花の着花率を示した。7月を5日間で区切り、それを1単位とした気象と着花度との相関関係をTable 3に示した。さらに日照時間、降水量、最高気温(平均)のうち2因子以上の有意確率が小さい期間について多変量解析を行った(Table 4)。7月11日から20日までの期間の日照時間と降水量が着花度とよく相関し、着花度は下記の式で表された。

$$Y = 0.0585 \times \text{Sun} - 0.0248 \times \text{Pre} + 3.339, \text{ F 値} : 13.673, P = 0.004$$

Y: スギ着花度, Sun: 日照時間, Pre: 降水量

なお、7月6日から20日までの気象との関係では $Y = 0.0761 \times \text{Sun} - 0.0214 \times \text{Pre} + 2.311$, F 値: 6.478, $P = 0.026$ と表された。

日照時間、降水量、最高気温の3因子と着花度との関係では7月11日から25日までの期間のみが全ての因子で有意(F 値 = 18.027, $P = 0.002$)であった。

2) 近畿とその周辺

1998年の近畿とその周辺各地の着花度はTable 2に示した。その林に近い地域気象観測所の単独の気象因子との関係はTable 3に、多変量解析の結果は

Table 4 に示した。着花度は7月6日から20日までの日照時間と降水量との間に関係が認められ、以下の式で表された。

$$Y = 0.0608 \times \text{Sun} - 0.0181 \times \text{Pre} + 1.413, \text{ F 値: } 5.341, \text{ P} = 0.022$$

Y: スギ着花度, Sun: 日照時間, Pre: 降水量

2. ヒノキ雄花の着花と気象

1) 丹波山地

Table 1 に1991年から1998年までの丹波山地でのヒノキ雄花の着花率を示した。スギと同じく7月の気象と着花との関係を Table 3, 4 に示した。多変量解析の結果、7月16日から31日までの日照時間と降水量が着花率と有意な関係がみられ、以下の式で表された。

$$Y = 0.610 \times \text{Sun} - 0.340 \times \text{Pre} + 27.466, \text{ F 値: } 4.340, \text{ P} = 0.081$$

Y: ヒノキ着花率, Sun: 日照時間, Pre: 降水量

2) 近畿とその周辺

1998年の近畿とその周辺各地のヒノキ着花率は Table 2 に示した。その林に近い地域気象観測所の気象因子と着花率は Table 3 に示したように有意な関係を認めず、7月16日から31日の日照時間との関係で相関係数0.419, 有意確率 $P = 0.136$ とやや傾向がみられるにとどまった。

3. 雄花の初確認日

Fig. 1 に示したように雄花の初確認日は、スギ雄花は7月31日に最大数を、ヒノキ雄花は8月14日に最大数を初めて確認した。六甲山系の標高と初確認日の関係は認めなかった。

考 察

スギ・ヒノキ科花粉飛散総数予測では花粉源から生活圏への花粉輸送が問題となる。我々は飛散期の異常気象が通常の気象時より飛散数を増減するため、これを補正した飛散数による飛散総数予測を試みてきた⁽¹¹⁾。さらに花粉生産量を表した分布図が作成できれば、異常気象や地域予報に対応でき、日々の予報も飛躍的に向上する。スギ林分布は環境庁発行の現存植生図では樹齢や造林地の変遷に対応できないため、人工衛星画像を用いた分布図の作製が試みられている⁽¹²⁾。林分布図に着花度を上乗せた花粉生産量分布図を作製するためには、簡便な着花量の評価法と気

象因子からの着花量推定が必要である。

スギ雄花着花量を高橋ら⁽⁷⁾は4段階に分類して評価した。平ら⁽⁸⁾は樹を上下に分けそれぞれの雄花の付き方を3段階に分けて、個々の樹を6段階にスコア化した。横山ら⁽⁹⁾はトラップによる雄花の落下数検定に基づき、樹全体を観察して着花度を100, 50, 10, 0の指数で4段階に評価した。我々の着花度の評価法は横山ら⁽⁹⁾と類似しているが、指数でなく標本から求めた末梢の枝1本当たりの花序数による点が異なった。着花度の判定は大まかにしたため技術的な難しさはなく、判定時には写真を持参し、年による差をなくした。どの段階に入れるか迷ったときには少ない段階に判定した。10年間の丹波山地の着花度と西宮市のスギ花粉飛散総数とは相関係数が0.898, F 値33.190, 有意確率 $P = 0.000$ と着花評価法は有用であった。

ヒノキ雄花は2月半ば以降に成長するため、雄花が小さい秋の観察は難しく、樹全体の観察はできない。着花度の判定は不正確になるため着花率で評価した。9年間の丹波山地の着花率と西宮市の花粉飛散総数とは相関係数0.869, F 値21.500, 有意確率 $P = 0.002$ と着花率の信頼性は高かった。

1998年の近畿とその周辺調査ではヒノキ雄花の着花率と気象との関係が弱かった。これは地域による着花率のばらつき、すなわち樹の特性以外に観察した林の選択に問題があったためと考えられ、ヒノキ雄花観察の難しさを裏付けた。

夏季に花芽形成が誘導される木本植物の多くは温度、降雨、日照、土壌栄養が花芽の形成量に影響する。7月と8月前半の気象因子と雄花量との相関関係をみると、7月の気象が影響していた。スギ雄花の初確認日の差は個体差より、品種差が大きいと考えられた。7月17日に観察され2本は同じ品種で、しかも1998年秋に一部枝が開花し、毎年春の開花日も他の品種より早い。六甲山系に植栽されたスギの雄花は7月31日を最大として前後2週間に確認した。ヒノキ雄花は8月14日を最大として前後2週間に確認した。これら雄花確認日より前に花芽形成が誘導されるため、この誘導時期はスギは7月11日から20日まで、ヒノキは7月16日から31日までの気象因子が着花量に影響した時期と一致したと考えられた。

さらにスギ雄花着花度を7月11日から15日間の日照時間と降水量との関係を見ると、丹波山地でF 値: 3.763, 有意確率 $P = 0.078$, 近畿でF 値5.908, 有意確率 $P = 0.016$ がみられ、この5日間を中心にスギの花芽形成が誘導されたと考えられた。

7月6日から20日までの丹波におけるスギ雄花着花度の重回帰式を近畿とその周辺に当てはめると (Table 2, prediction-July 6 to 20), 求めた値と実測値との関係は相関係数 0.729, 有意確率 $P = 0.001$ となるも, 着花度の平均値が実測値より 1.03 高く不適當であった。7月11日から20日までの丹波山地におけるスギ雄花着花度の重回帰式を近畿とその周辺に当てはめると (Table 2, prediction-July 11 to 20), 求めた値と実測値の関係は相関係数は 0.648, 有意確率は $P = 0.007$ であった。求めた着花度の平均値は実測値より 0.13 高いのみで, 7月11日から20日までの丹波の重回帰式がより実態を表していると考えられた。この重回帰式による値が傾き 1 の直線から離れた大塔, 田辺, マキノ・今津, 瑞穂・豊能, 大淀・五条を除くと相関係数 0.779, 有意確率 $P = 0.005$ へ向上し, 丹波山地の着花へ影響する気象因子を当てはめることができると考えられた。これら求めた値が傾き 1 の直線から離れた地区はスギの品種や土壌, 小地域の気候などの影響によると考えられる。

気象因子の日照時間, 降水量, 最高気温は互いに関係する現象であるが, 通常の本木植物にみられるように花芽形成の誘導には日照時間と降水量が最も関係が深かった。地域の特性を明らかにし, 継続観測が可能な少数の標準林を設定すれば, 気象からスギ・ヒノキの着花度の推定が可能と考えられた。これによる花粉生産量を表した分布図の作製により花粉飛散予報が飛躍的に向上すると考えられた。

要 約

1989年から1998年まで丹波山地で雄花の着花状況をスギは11カ所, ヒノキは9カ所の観測林で観察した。丹波山地にある柏原町の1989年から1998年までの気象観測値を用いて花芽形成への影響を分析すると, スギでは7月11日から20日までの日照時間と降水量が, ヒノキでは7月16日から31日までの日照時間と降水量が影響した。

1998年に近畿地方の16カ所の地区の着花状況と気象データの関係を検討した。この年は少量の花粉飛散で7月の気候は異常であった。スギ雄花は7月11日から15日までと7月6日から20日までの日照時間と降水量に影響され, ヒノキは7月16日から31日まで

の日照時間に影響された。六甲山系において最も多くの樹で雄花が初めて観察できた日はスギは7月31日で, ヒノキは8月14日であった。各地において気象データから雄花形成を推量することができ, 花粉予測を行ううえで有用と考えられた。

文 献

- (1) 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).
- (2) 山崎太・水野瑞夫・信太隆夫・清水孝治: 花粉症起因花粉の研究 (第1報) スギ花粉飛散の早期予測について. アレルギー 28, 732-737 (1979).
- (3) 宇佐神篤・降矢和夫・遠藤久子: スギ花粉空中飛散数の予測. アレルギー 29, 780-785 (1980).
- (4) 原田恒夫: スギ花粉飛散と気象. *Pharma Medica* 12, 33-37 (1994).
- (5) 佐橋紀男・高橋裕一・村山貢司: スギ花粉のすべて. メディカルジャーナル社 pp.63-67 (1995).
- (6) 金指達郎・横山敏孝・金川侃: スギ人工林における雄花生産量. 花粉誌 36, 49-58 (1990).
- (7) 高橋裕一: 雄花着生量の観測に基づく来シーズンの空中スギ花粉総飛散数の推移. 花粉誌 38, 172-174 (1992).
- (8) 平英彰・寺西秀豊・剣田幸子: 平均気温, 全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 (1997).
- (9) 横山敏孝, 金指達郎: スギ林の雄花観測による花粉飛散総数の予測法. アレルギー 47, 359 (1998).
- (10) 小笠原寛. 兵庫県の花粉尘. 神戸新聞総合出版センター pp.25-58 (1995).
- (11) 小笠原寛, 吉村史郎, 後藤操, 栗花落昌和, 藤谷哲造, 他: スギ花粉飛散期の異常気象による飛散総数の増減. アレルギー 48, 691-699 (1999).
- (12) 高橋裕一・川島茂人: 人工衛星画像を利用したスギ林分布図の作製. 花粉誌 45, 49-54 (1999).

