

神奈川県におけるスギ林の着花状況と花粉飛散予測

齋藤央嗣*・越地 正*・毛利敏夫*・河野明子*

Prediction of the pollen scattering and the male flower setting of the japanese cedar(*Cryptomeria japonica*) forest in Kanagawa Prefecture.

Hiroshi saito*, Masashi Koshiji*, Toshio Mori* and Akiko Kono*

要 旨

齋藤央嗣・越地 正・毛利敏夫・河野明子: 神奈川県におけるスギ林の着花状況と花粉飛散予測 神奈川環境保全センター研究企画部研究連携課 2011

神奈川県におけるスギ花粉飛散の年次変動の予測のため、1998 年より 30 カ所の県内スギ林の雄花着花状況を目視により調査し、雄花着花点数として公表している。その雄花着花点数と気象条件、厚木市内のスギ林の雄花量、花粉飛散量の関係を解析したところ、7 月～8 月の日照時間・平均気温、スギ林の雄花量及び花粉飛散量と高い相関関係が認められた。また雄花着花点数は、都市域の飛散量とも有意な高い相関が認められ、花粉飛散量の予測に有効であることが明らかになった。花粉飛散量との相関係数は、県内各地点が都内よりも高く、雄花着花点数を測定している県内山地からの地理的な位置の関係が考察された。

I はじめに

スギ花粉症は、大きな社会問題となっており、国も林野庁だけでなく、関係省庁が協力して対策を実施している（林野庁,2002）。スギ花粉の飛散量は年次によって大きく変動することが以前から知られており（信太,1979、信太ら,1989）、その飛散量によって発症者数が大きく異なることから（山崎,1991）、予測は重要である（村山,1990）。年次変動の原因として、飛散前年の夏の気温や日射量（日照時間）などの気象要因との関係が以前から指摘されており（山崎ら,1979、村山,1990）、翌春の飛散量の予測には、花粉飛散量と気象要因との回帰により行われてきた。しかし回帰式を得るには、長期間の花粉観測データがなければならないこと、単一の気象要因では、飛散量との誤差を生じやすい等の課題がある。

横山・金指（1992）は、スギ林分の雄花を目視調査により雄花量を調査する手法を開発した。この手法は、スギの雄花が十分に形成された飛散前年の 11 月～12 月にかけて、林分ごとにスギの雄花量を直接目視により調査する手法で、比較的手軽に実施でき、花粉を生産する雄花量を直接調査することから、花粉飛散量を高い精度で予測できる有効な手法と思われる。目視により得られた雄花の着花量と、実測した雄花量は高い相関があり（横山・金指,2001）、雄花量の指標性は高い。

筆者らは、神奈川県内のスギ花粉量の年次変動を明らかにするため、1998 年飛散シーズンより、県内のスギ林の目視による雄花量の調査を行ない県民への情報提供を行ってきた（齋藤,1998）。

しかし、得られた目視による雄花量（以下雄花着花点数という）と、実際の林分の雄花量や花粉飛散

* 神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課（〒243-0121 厚木市七沢 657）

※この報告の一部は、日本花粉学会第 51 回大会（2010）で口頭発表を行った。

量、都市への花粉飛散量との関係については、他地域の調査例（横山・金指，1992・2001、福島，2001）で高い相関関係が報告されているが、神奈川県での調査データについては、これまで蓄積が不十分であったため、関係が明らかでなかった。

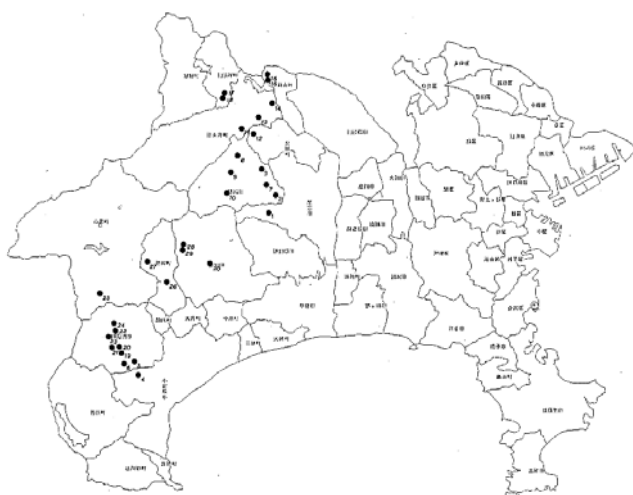
そこで今回、神奈川県で測定した雄花着花点数と、スギ林で実測している雄花量や花粉飛散量との関係、さらには飛散先の都市域での花粉飛散との関係を解析し、目視による雄花量の調査の予測精度の検証を行ったので報告する。

Ⅱ 調査方法

1 スギ雄花の着花調査

スギの雄花は、前年6月下旬～7月頃から分化し、夏頃には観察できるようになり、10月頃には花粉が形成され、3月頃に開花し花粉が飛散する（橋詰，1973）。この性質を利用して飛散前に雄花量を調査することにより、翌春の花粉飛散量を予測することができる。

スギ林の目視による雄花の着花調査は、以下により1998年2月から2009年11月までの間、計12年間13回にわたり実施した。



①調査林分

図1 調査林分

図中番号は調査地点番号

調査林分は、県北部から西部にかけての山地にあるスギ林を対象に5kmメッシュで500haにつき1箇所を目安に設定した（図1）。スギ林は30年生以上で、目視による調査に適する個体識別可能な見通しのよい林を選定した。なお着花調査は、1998年から30林分の調査として実施し、2002年より林野庁の事業を受託し24林分を追加し54林分で実施しているが、今回は継続して実施している30林分の結果を用いた。

②雄花着花点数の調査

雄花着花点数の調査は、11月以降に雄花が肉眼的にはっきり認められる（橋詰，1990）ことから、11月中旬以降に実施した。雄花量の調査は、横山・金指（2001）に従い、対象林分内の任意の40本のスギを抽出し、双眼鏡又は40倍のフィールドスコープを用いて、サンプル木毎に次の基準の4段階で評価し、雄花量を点数化した（満点4,000点）。

A：雄花が全面に著しく多い 100点

B：雄花が全面にみられるか、部分的に多い
50点

C：雄花が部分的にみられるか、少ない
10点

D：雄花がみられない 0点

得られた点数を調査本数で割って各林分の雄花着花点数を算出し、解析には30林分の平均値を雄花着花点数として用いた（満点100点）。なお、この値は、毎年12月に県内スギ林の雄花量として公表している値である。

2 スギ林の雄花量調査

雄花着花点数と実際のスギ林の雄花量との関係との関係を検討するため、当センターのスギ林（1973年植栽、神奈川県厚木市七沢、標高約100m、写真1）内に雄花トラップによる雄花量の調査を行った。スギ林は、2010年時点で37年生であり、一部ヒノキの混交する林分である。平均樹高16.4m、同胸高直径は22.5cmであった。

雄花トラップは、円形で直径約40cm、面積は

0.1288 m²でナイロンまたは農業用寒冷紗を使用したネットを用い、支柱は疑似竹を利用し、林内にランダムに20個設置した(写真1)。設置は1月末から2月に行い、花粉を飛散した雄花がおおむね落下する6月下旬頃まで1ヶ月に1回程度回収した。回収した試料は、雄花と夾雑物のより分けを行い、トラップごとに雄花数と重量(雄花重)を求めた。雄花数は、直接数えられる場合は直接カウントし、困難な場合はトラップごとに100粒あたりの重量から換算した値を用いた。重量測定は85℃で48時間乾燥させて測定した。

解析には、全トラップの合計を1 m²あたりに換算したデータを用いた。本調査は2001年から2009年まで9年間実施したデータを用いた。

3 スギ花粉飛散量調査

雄花着花点数とスギ花粉の花粉飛散量との関係を検討するため、2の雄花量を調査しているスギ林内にダーラム型花粉採取器を設置し、毎年1月4日から4月30日までの間、花粉飛散量を計測した(写真1)。

花粉量の計測は、ダーラム型測定器を林内に約1 mの高さに設置して行った。測定は、環境庁(1993)に従い、花粉の識別及びカウントは、カルベラ液で染色し1.8cm四方のカバーガラス(3.24cm²)上の花



写真1 所内スギ林内での測定の状況

写真手前脚立上がダーラム型花粉計測器(矢印)、
後方の逆三角形のものが円形トラップ

粉数を光学顕微鏡(100倍)で観察を行い、測定値を1cm²あたりの花粉飛散数に換算した。解析は2001年から2010年まで10年間計測したデータを用いた。

4 データ解析

得られた雄花着花点数について、夏の気象との関係を明らかにするため、県中央部の横浜地方気象台「海老名観測所」における7月と8月の気象観測データとの関係を解析した。

また雄花着花点数とスギ林の花粉飛散量、雄花量との相関関係について解析を行った。都市域の飛散量について、川崎市衛生研究所、(独)国立病院機構相模原病院臨床研究センター(齋藤ら,2010)、東京都福祉保健局の千代田区、八王子市、青梅市で測定している花粉飛散量と雄花着花点数の関係について解析した。比較した都市域の花粉データはいずれもダーラム型計測器による花粉飛散期のスギ花粉の1cm²あたりの花粉数である。

III 結果

1 スギ雄花着花の年変化

調査年ごとの雄花着花点数を図2に示した。年による変動が大きく、最低値は1999年2月の8.4点、最高値は1999年12月の72.6点、次いで2004年11月の72.3点となった。調査期間の平均値は42.2点となった。変動係数は、0.571であった(図10)。同じデータを県内を大きく4地域に区分した地域別に比較すると、図3に示すように2000年を除けば大きな地域的な隔たりは認められず同調していた。

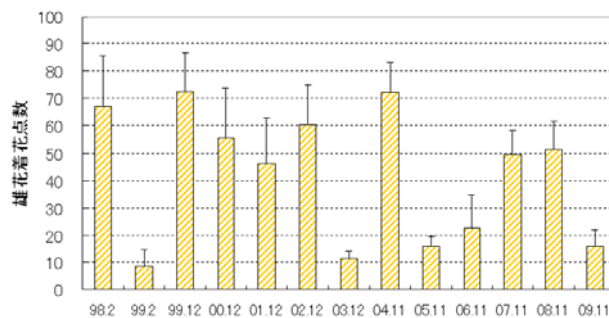


図2 県内スギ林30箇所の雄花着花点数の年変化
30林分の平均値、棒は標準偏差を示す。

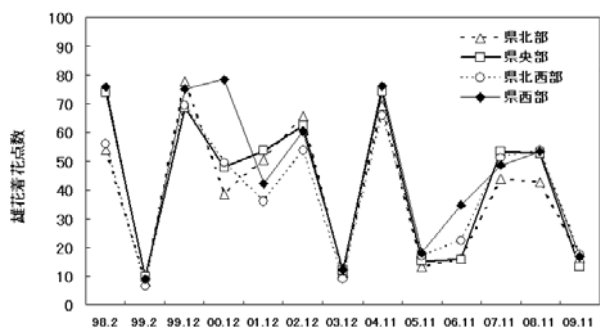


図3 地域別の雄花着花点数の年変化

横浜地方気象台「海老名観測所」における 7～8 月の気象観測データと雄花着花点数の関係をみると、表 1 に示すように日照時間と平均気温に有意な相関があり、降水量と負の相関があるが有意でなかった。なおいずれの項目も 6～9 月の単月または 2～3 ヶ月の期間の中で 7～8 月の 2 ヶ月間との相関関係がもっとも高かったため、2 ヶ月間の値との関係のみ示した。

表1 夏の気象要因と雄花着花点数の相関行列

要因	雄花着花点数	降水量	平均気温	日照時間
雄花着花点数	—	n.s	**	**
降水量	-0.53	—	*	n.s
平均気温	0.73	-0.63	—	**
日照時間	0.85	-0.55	0.78	—

*:5%水準で有意、**:1%水準で有意、n.s.:非有意(n=13)

・夏の気象要因はいずれももっとも相関の高い7-8月の値を用いた

2 スギ林の雄花量と雄花着花点数

所内スギ林（厚木市七沢）内に設置したトラップ内に落下した雄花量の年変化を図 4 に示した。雄花量は、雄花数と雄花重について測定したが、両者には非常に高い相関が見られたため（ $R=0.99$ 、 $n=9$ ）、解析は雄花重について行った。

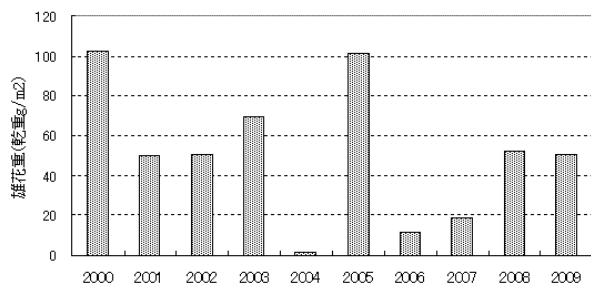


図4 スギ雄花重の年次変動(厚木市七沢スギ林内)

目視による 30 箇所のスギ雄花着花点数（図 2）と厚木市七沢で測定した雄花量との関係を図 5 に示した。雄花量は厚木市 1 箇所のデータであるが、雄花

着花点数と直線回帰で高い相関が認められ、雄花着花点数は、この比較したスギ林の雄花量そのものの値に近かった。

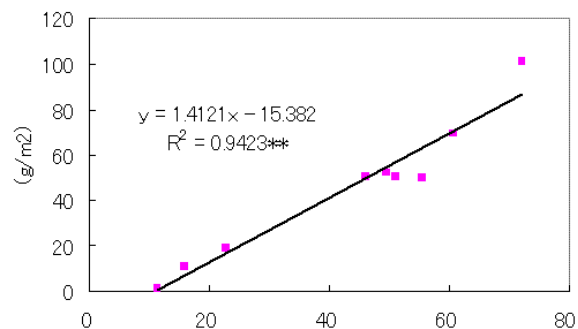


図5 雄花着花点数と雄花生産量との関係

横軸は着花点数、縦軸は雄花重(g/m2)を示す。

(n=9) **:1%水準で有意

3 スギ林の花粉飛散と雄花着花点数

所内スギ林（厚木市七沢）の年ごとの花粉飛散量を図 6 に示した。花粉飛散量が最大となった年は 2005 年春で、スギ花粉飛散量 35,242 個/cm²、最小年は 2004 年春の 801 個/cm²であった。また、10 年間の平均では 14,892 個/cm²となった。

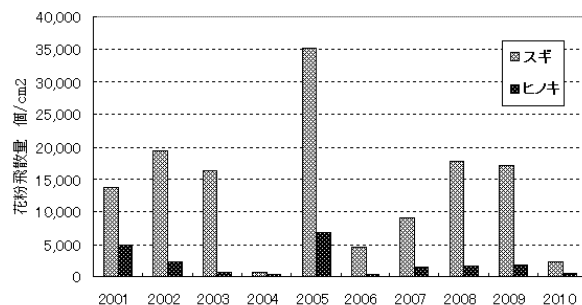


図6 所内スギ林内のスギ・ヒノキの花粉飛散量の年変化

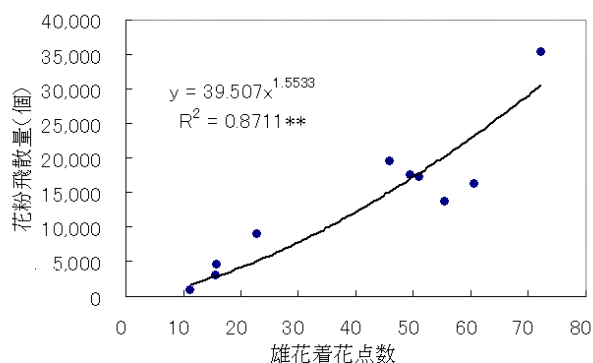


図7 雄花着花点数と花粉飛散量(厚木市七沢)

との関係(n=10) **:1%水準で有意

また、雄花着花点数と厚木市七沢のスギ林内の花粉飛散量との関係を図 7 に示した。両者間の相関も高いことから、回帰式から雄花着花点数によりこの

スギ林の翌春の花粉飛散量が推定できる。

4 雄花着花点数と都市部と花粉飛散量の比較

今回花粉飛散量を測定した地点は、厚木市郊外にある山麓部に位置している。実際に花粉症が問題となることが多い都市部として、川崎市（川崎市衛生研究所）、相模原市（（独）国立病院機構相模原病院臨床研究センター）、千代田区、青梅市、八王子市（いずれも東京都福祉保健局）の5カ所の花粉飛散量と比較した。その飛散の変動を図8及び9に示した。この雄花着花点数は、飛散量とのあてはまりをよくするため、調査本数で平均をしない40本の合計値を示した。

図8、9のとおりに雄花着花点数、各地区の飛散データの年次変動はほぼ同一の傾向を示した。ただし雄花着花点数は、1～4,000までの値となるため、飛散量と比較し2005年などの飛散量の多い年にやや少ない値をとり、2004年の少ない年にやや多い値となった。

こうした変動の幅を明らかにするため、雄花着花点数、雄花量、花粉飛散量の年次変動の変動係数を図10に示した。変動係数は、標準偏差を平均値で割ったもので、値が大きいと変動が大きいことを示し変動の大きさを表す尺度となる。変動係数は、雄花着花点数は0.571、これに対してスギ林の雄花量は0.779、花粉飛散数は千代田の0.757から青梅の0.984まで0.7～1の値をとり、雄花着花点数に比較して大きくなった。

また厚木市七沢のスギ林の花粉飛散量と川崎市の花粉飛散量を比較すると、図8に示したように9年間の平均で両者には8倍の開きがあり、スギ林内は、都市域に比較し花粉飛散量が多かった。2006年春と2007年春の2カ年は約15倍となり特に開きが大きく、年次変動の傾向は一致するが、年次により差が見られた。スギ林の多い丹沢に近い相模原市はその中間の値を示した。

雄花着花点数と相模原市、川崎市、千代田区、八王子市、青梅市の花粉飛散量との相関行列を表2に示す。雄花着花点数はいずれの花粉飛散量とも0.9以上の高い有意な相関関係が認められた。相関係数



図8 雄花着花点数と県内のスギ花粉飛散量の年変化
雄花着花点数は、平均をしない合計値。飛散データは川崎市衛生研究所、相模原病院臨床研究センターによる

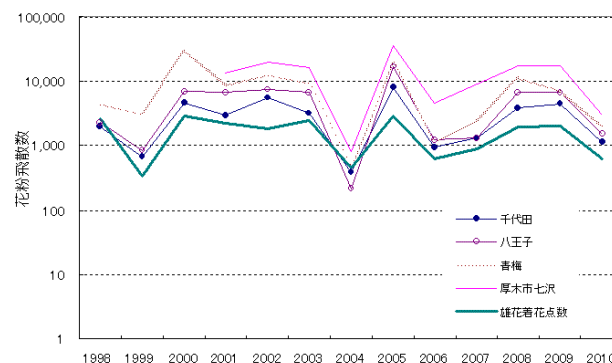


図9 雄花着花点数と東京都の花粉飛散量の年変化
雄花着花点数は、平均をしない合計値。飛散データは東京都福祉保健局による

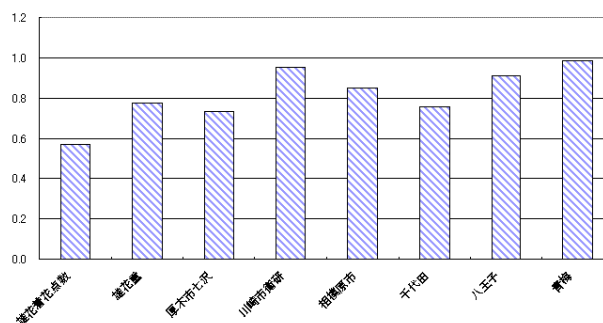


図10 雄花着花点数、雄花量、花粉飛散量の変動係数
年次変動の変動係数。雄花着花点数雄花量は30林分、厚木市七沢スギ林、他は花粉飛散数。

は、県内の相模原市、川崎市、都内の千代田区、八王子市、青梅市の順に高かった。花粉飛散量は、各地域間の同調性も高くいずれの地域間の相関関係も0.9以上であった。なお、予備解析の結果、雄花着花点数の調査の初年度である1998年のデータが回帰線から外れており、図8～9でも花粉飛散量と比べると相対的に高い値となっており、積雪の影響などが推定されたため解析は1998年を除いたデータを用いた。あわせて雄花着花点数と各地の花粉飛散量が有意な関係が認められたため、雄花着花点数から花粉飛散量を推定するための対数回帰による回帰式の係数を表3に示した。

表2 雄花着花点数と各地の花粉飛散量の相関行列					
雄花着花点数	相模原市	川崎市	千代田区	八王子市	青梅市
相模原市	0.944				
川崎市	0.935	0.975			
千代田区	0.915	0.950	0.958		
八王子市	0.907	0.949	0.957	0.980	
青梅市	0.907	0.935	0.958	0.924	0.931

**:1%水準で有意(n=12, 1998年を除く)

・花粉飛散量のデータは対数変換値

表3 雄花着花点数と花粉飛散量の回帰式の係数

場所	a	b
相模原市	1,053.70	0.0386
川崎市	188.76	0.0488
千代田区	506.85	0.0365
八王子市	451.93	0.0479
青梅市	798.76	0.0467

Y:各地の飛散量, X:雄花着花点数

回帰式 $Y = a e^{bx}$

IV 考察

目視による雄花着花点数と雄花量（数）との関係を調べた研究は、林野庁（2002）、福島（2001）などで報告されており、雄花着花点数とスギ林の雄花数は両対数変換で直線回帰され目視調査による雄花量と実測した雄花量との相関関係は高いこと（横山ら,2001）、関東周辺の雄花着花点数が千代田区の花粉飛散量と高い相関関係にあること（林野庁,2002）が報告されている。

今回、神奈川県内のスギ林の雄花着花点数と、各地に飛散した花粉飛散量との相関関係を解析したところ、神奈川県内と東京都内との花粉飛散量といずれも 0.9 以上の高い相関関係が認められ、雄花着花点数から回帰式で予測可能な十分に高い値であった。スギの花粉は、スギの雄花から飛散するので、その雄花の着花量の年次変動と花粉飛散量の年次変動が高い関係があることが改めて確認された。都市域の花粉量をよく指標することから、目視調査の有効性が確認された。

ただし、雄花着花点数は、図 8～9 で示したとおり、多い年（例えば 2005 年）では、花粉飛散量に比較して値が低く、少ない年（例えば 2004 年）では、花粉飛散量に比較して値が高くなる傾向があった。これは雄花着花点数が数値の閾値が狭く、平均値は 1～100 まで、合計値であっても 4,000 までの値しかとらないことによる。変動係数を比較すると図 10 のとおり雄花着花点数は 0.571、これに対して花粉飛散数は 0.7～1 の値をとり、雄花着花点数に比較して大きく

なった。こうしたことは、雄花着花点数の変動幅以上に実際の雄花量や花粉飛散量が変化することを示し、雄花着花点数による花粉飛散量の予測に際して、不作年や大豊作年にずれを生じる原因になると思われるので、注意が必要である。

また雄花着花点数と気象要因の関係について、花粉の飛散量は、前年の夏の気象要因と高い相関があることが報告されており（山崎ら,1979、山崎,1991、村山,1990）、特に 7 月の気温と高い関係が指摘されてきた（山崎ら,1979、山崎,1991）。今回の解析の結果、雄花着花点数は 7 月単月よりも前年 7～8 月の日照時間と平均気温に有意な相関があり、降水量と負の相関があるが有意でなかった。スギ雄花の着花生産量と夏の気象要因について、福島・小平（2000）が詳細な解析を行っており、個別の 2 林分の雄花トラップによる雄花生産量と夏の気象要因の集計期間の検討を行ったところ 2～3 ヶ月の長い期間の気象要因との関係が高く、日照時間との相関がもっとも高かったことを報告している。また今回の同様の目視による雄花着花点数から求めたスギ雄花量と気象要因との関係でも、7 月単月よりも 7 月含んだ 2～3 ヶ月間の気象要因との関係が高く 6～7 月の積算日照時間がもっとも相関が高かったことが報告されている（鈴木ら,2008）。今回の報告も同様に 7 月単月ではなく 7～8 月の気象要因との関係が高いことから、雄花の着花は、夏の比較的長い期間の気象要因が関係していることを示唆している。日照時間、気温と正の相関、降水量と負の相関であるので、晴天が続く暑い夏の翌年は、雄花着花点数が増え花粉飛散量も増えることとなる。ただし雄花着花点数と 7～8 月の日照時間の相関係数は 0.85 であり、日照時間から雄花着花点数の一定の予測は可能と思われるが、花粉飛散量は、雨など飛散期の気象要因なども関係することから（小笠原ら,1999・2000、山崎ら,1991）、雄花着花点数を用いる方がより誤差が少ないものと思われる。

また、雄花着花点数と比較した各地の飛散量との相関関係は、いずれの地点も 0.9 を上回り、雄花着花点数から回帰式で予測可能な十分に高い値であった。地域的な違いについて、相模原市、川崎市、千

代田区、八王子市、青梅市の順で相関係数が高くなった。相関係数について、絶対的な差が少ないこと、回帰方法により若干値が異なるため検討の余地があるが、測定した県内山地からの地理的な位置関係と相関係数の高さが関係している可能性がある。雄花着花点数と八王子市、青梅市との相関がやや低い原因として、奥多摩や奥秩父など別の発生源の影響が強いことが考えられる。地区別の比較を行うと、例えば目視調査の調査区分の県北部に近い八王子は、県北部と相関が高く、地理的に遠い県西部とは相関が低かった。こうしたことから、地域別の予報をするときには、地区別のデータの活用も考慮すべきであろう。ただし図3で示したとおり、全体として地域的な差は少ないため、2000年12月調査時のような地域差が認められる年を除けば、全県の平均値により、相関係数の高い神奈川、東京のエリアの全体的な予測は十分可能と思われる。

V 謝辞

本研究を実施するにあたり、森林総合研究所多摩森林科学園の横山樹木室長（現所属：林業科学技術振興所）には、調査手法から実施に至るまでご指導をいただいた。目視調査は、平成14年度から、林野庁のスギ花粉生産森林情報調査整備事業（現事業名：スギ・ヒノキ花粉発源地域推定事業）として全国林業改良普及協会からの受託研究として調査を実施することができた。同協会の野田調査役には、調査の実施にご支援いただいた。また、調査林分の大半は、一般の民有林を用いており、森林所有者の皆様にご協力をお願いした。また、千葉県農林総合研究センター森林研究所福島主席研究員には同県の調査データについてご教示いただいた。

また、都市域の花粉量として川崎市衛生研究所、（独）国立病院機構相模原病院臨床研究センター、東京都福祉保健局よりスギ花粉データの提供をいただいた。自然環境保全センター自然保護課職員には、休日のダークラム型計測器の実施にご協力をいただいた。

ここに記してお礼申し上げる。（肩書きは当時を

含む）

VI 引用文献

- 福島成樹（2001）千葉県におけるスギ花粉生産量の予測．日林関東支論 53：135-136
- 福島成樹・小平哲夫（2000）千葉県におけるスギの雄花生産量と気象条件との関係．日林関東支論 51：89-92
- 鈴木基雄・福島成樹・金指達郎（2008）スギ雄花生産量と気象因子の統計解析．日森学講 119
- 橋詰隼人（1973）針葉樹の花芽分化、花性分化とその調整に関する研究，鳥取大学演習林報告 7：1-139
- 橋詰隼人（1990）日本列島のスギ林における花粉の生産に関する研究（1）－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－，鳥取大学演習林報告 19：67-122
- 環境庁監修（1993）花粉症の原因となる花粉の形態学的観測法，128pp，公害研究対策研究センター，東京
- 村山貢司（1990）増えつづける花粉症－来年のスギ花粉量は？科学 791-792
- 小笠原寛・吉村史郎・後藤操・栗花落唱和・藤谷哲造・中原聡（1999）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
- 小笠原寛・吉村史郎・後藤操（2000）雨や無風によるヒノキ花粉量の減少．花粉誌 46：39-44.
- 林野庁（2001）平成12年度花粉生産量予測調査報告書．50pp，（社）全国林業改良普及協会．東京
- 林野庁（2002）平成13年度スギ花粉生産森林情報調査整備事業調査報告書．108pp，（社）全国林業改良普及協会．東京
- 齋藤明美ら（2010）未発表資料
- 齋藤央嗣（1998）神奈川県森林研業報 30：21-22
- 信太隆夫（1979）花粉症の疫学．55-70．花粉アレルギー．石崎達編，260pp 北隆館，東京．
- 信太隆夫・降矢和夫・轡田和子・森美由紀・安枝浩・石井豊太・秋山一男（1989）相模原地区にお

- ける空中飛散花粉の1965年から1995年までの31年間の推移. 花粉誌 44(1) : 47-61
- 山崎太 (1991) スギ花粉症－その原因と対策－, 144pp, 医療ジャーナル社, 大阪.
- 山崎太・水野瑞夫・信太隆夫・清水章治 (1979) 花粉症起因花粉の研究 (第1報) スギ花粉飛散数の早期予測について - アレルギー 28:232
- 横山敏孝・金指達郎 (1992) 着花率によるスギ人工林の雄花生産量の推定. 日林論 103 : 327-328
- 横山敏孝・金指達郎 (2001) 花粉飛散予測のためのスギ林の雄花生産量推定法. 日林関東支論 53 : 327-328