

スギ雄花形成の機構解明と抑制技術の高度化に関する研究

— スギ雄花開花時期予測に関する基礎調査 —

佐藤博文 ・ 佐々木揚

Studies on the mechanism of male strobili formation in sugi (*Cryptomeria japonica* D. don) and the advanced countermeasures against sugi pollinosis in forest science.

Hirofumi Sato ・ Yoh Sasaki

要 旨

雄花開花時期予測モデルの精度向上に資する基礎データ収集とその検証を行うため、当センタースギ採種園の精英樹24系統の雄花開花について種々の調査を実施した。雄花着花量においては、雄勝2、18、平鹿2、3、北秋田2および由利7などで多く、雄勝12、13、由利4および9で少なかった。調査した少花粉品種4系統のうち雄勝13を除く3品種の着花量は、いずれも全体の平均値程度であったが、これは、調査方法や判定基準に起因した結果と考えられる一方で、樹齢、地況や環境の変化がそれらの着花を増加させる可能性も考えられた。雄花開花日については、2007、2009年の観測日が予測より4～7日遅れたが、これには、開花直前や開花期間中における極端な気温の低下による影響が考えられた。光学式の花粉センサーを屋外に設置し、採種園近郊における花粉の飛散状況を調べたところ、花粉数の増減は、雄花開花の観測結果と関連性が低かった。また、暴風雪や濃霧、マツ花粉など様々な影響によって、飛散開始や終了日の特定には至らなかった。

I. はじめに

花粉症は、昨今大きな社会問題となっており、なかでもスギやヒノキの花粉を原因とする患者数が非常に多いといわれている(川口、2000)ことから、日本有数のスギの産地である本県において、その対策は重要な課題である。

林業分野におけるスギ花粉症対策は、花粉発生量の抑制を主眼とするもので、短期的には雄花着花量が多いスギの抜き切りや適度な間伐、薬剤散布等による雄花着花の制御、そして、中・長期的には花粉の少ないスギや雄性不稔(無花粉)スギ(近藤、2009)の導入、広葉樹への樹種転換などが有効とされている。

しかし、これらの諸対策は、現存するスギ林の面積があまりにも広大であるがゆえ、効果の実現に何十年もの長い年月と多額の予算を費やし、即効性はほとんど期待できない。

このため、目下、精度の高い花粉予報を様々なメディアを通じて幅広く提供することによって、ヒトの花粉への暴露抑制を図ることが肝要と考えられる。

本研究は、こうしたスギ花粉予報のもととなる雄花開花時期”予測モデル”（鈴木、2007）の精度向上に資する基礎データの収集を目的に、平成18～20年の3カ年にわたり独立行政法人森林総合研究所を中核として進められた新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業「スギ雄花形成の機構解明と抑制技術の高度化に関する研究」の一環として、当センター採種園におけるスギ精英樹を対象に雄花開花、花粉飛散に関する様々な調査を実施した。ここでは、その成果（本県分）を報告する。

Ⅱ. 材料および方法

1. 雄花着花量の調査

花粉飛散量は雄花着花量に左右されるが、これを推定する簡便な手法として雄花指数法がある（（社）全国林業普及協会、2007）。本項では、この方法を用いて各精英樹の雄花着花量を調べ、それぞれの特性把握を試みた。

調査地は、当センター構内にあるスギ精英樹採種園とした。2007年は4-4区、2008、2009年は3-6および3-7区にて調査を実施した。その概要は、図-1に示したとおりである。

調査は、各採種園において任意の精英樹20クローンからそれぞれ着花がみられた3個体を選び、計60本を対象として行った。雄花着花量については、前年10月から開花前までの間に対象木の各個体を東西南北の4方位から目視による観察を行い、表-1をもとにそれぞれの状況を0（全くない）～4（非常に多）まで5段階の着生指数により評価した。

これら4方位からの着生指数を合算したものを雄花着生指数とし、雄花着花量を年別、系統別比較を行う指標にした。

表-1 スギ雄花着花量の判定基準

着生指数	判定	目視観察によるスギ雄花の着花状況
0	全くない	雄花が全くみられない
1	非常に少	樹冠における雄花着生枝の割合が1/4以下
2	やや少	樹冠における雄花着生枝の割合が1/4以上1/2未満程度
3	やや多	樹冠における雄花着生枝の割合が1/2以上3/4未満程度
4	非常に多	樹冠における雄花着生枝の割合が3/4以上

2. 雄花開花期間の調査

前項の調査対象木を用い、予測モデルによる開花予測日の検証を行う目的で、雄花開花期間の調査を行った。調査は、各対象木ともに東西南北の4方位からそれぞれの雄花着花枝を3m弱の釣り竿等で叩いて、それぞれの枝における開花ステージの判定を行った（写真-1）。判定は目視により行い、表-2に示すステージ0（飛散前）～4（終了）まで5段階の開花指数により評価した。

調査は3月上旬から開始し、原則として午前中の時間帯に行った。調査の頻度は、開花が確認されるまで（飛散前）は週2回程度とし、1枝でも開花（開花指数：1）した個体が確認された場合は

全枝が満開（開花指数：2）に至るまで毎日実施した。ただし、雨天、強風や強い降雪等の悪天候日および祝祭日は調査を行わなかった。

また、雄花開花時期の予測に必要な基礎データの収集を目的として、休眠期（前年10月頃）から調査地の気温測定を併せて行った。測定は、小型防水式温度データロガー（RTR-52型おんどどり、T&Dコーポレーション製）を用いて1時間毎に行った。データロガーは、百葉箱またはシェルター（SHL-10型樹脂製百葉箱、株式会社太平産業製）内に本体およびセンサー部位を収納し、雄花着花枝が多くみられる高さの範囲で調査地内の任意の2カ所に設置した（写真-2）。

表-2 スギ雄花開花状況の判定基準

開花指数	判定	目視観察によるスギ雄花の開花状況
0	飛散前	全く花粉が出ない
1	初期	たたくとわずかに花粉が飛散
2	満開期	多くの枝で軽くたたきただけで多量の花粉が飛散
3	末期	強めにたたくと多く、あるいは少量の花粉が飛散
4	終了	たたいてもほとんど花粉が飛散せず

3. 花粉飛散量の調査

当センター採種園近郊におけるスギ花粉の飛散開始日や終了日および最大となる時期（ピーク）などを把握する目的で、小型花粉センサー（PS2型花粉センサ評価キット、神栄テクノロジー株式会社製）を用い、スギ花粉の観測を行った。このセンサーは、光学的な原理をもとに花粉とそれ以外の粒子を区別し、24時間連続運転することで毎分0.9リットルの空気中から70ないし90%以上の確率で花粉とされる粒子を検出する。花粉センサーは、専用の屋外用筐体に組み込み、当センター研究棟屋上の中央付近に設置した（写真-3）。

検出された花粉は、専用のデータ通信ソフトウェアを導入したノート型パソコンとこのセンサーをLANケーブル接続してリアルタイムに記録した。得られたデータは、前日朝9時から翌朝9時までの24時間内に検出した花粉数をその日の飛散花粉数として扱った。

Ⅲ. 結果および考察

1 雄花着花量の調査

図-2は、2007～2009年における各精英樹の雄花着生指数について、系統別の平均値を示したものである（若干の精英樹で、調査地（採種園）の変更に伴うデータの欠落があるため、記載を省略したものもある）。

図-2において雄花着花量が多かった系統は、雄勝2（6.4、以下同様に雄花着花指数を示す）、18（5.9）、平鹿2（7.0）、3（7.9）、北秋田2（7.9）および由利7（7.4）などで、逆に、少なかった系統は、雄勝12（2.4）、13（2.6）、由利4（2.6）および9（1.9）であった。また、今回調査した少花粉品種の雄花着生指数は、雄勝13を除く仙北1（5.0）、北秋田1（5.9）および由利11（5.3）で

いずれも全体の平均値(5.3)程度となっており、雄花着花量が少ないとはいえない結果であった。

図-3は、図-2の結果を年度別および方位別に分解したグラフである。これによると、2007年調査地の4-4区では東向き、2008、2009年調査地の3-6および3-7区では南、東向きの枝に比較的着花量が多いことから、日照条件の良好な枝で着花量が多いことが確認された。

3カ年間における雄花着花量の年変動については、全体の平均値をみるかぎりさほど大きいものでは無かったものの、個々のデータにおいては、雄花着花量が多かった系統で顕著な豊凶差がみられる傾向にあった。

今回のデータを、東北育種基本区スギ精英樹特性表20年次調査結果(林木育種推進東北地区協議会、2009)と照らし合わせてみると、雄花着花性の多い系統に雄勝2、18、由利7、逆に少ない系統に雄勝13、由利4があげられている点で一致した結果もみられたが、そのほかの系統については、先の少花粉品種のように若干異なった結果となったものもみられた。この理由としては、今回の調査対象木を雄花着花がみられた個体としたこと、調査例数が少なかったことなどが考えられた。

このような点で、雄花指数法は、広範囲の林分における花粉生産量の推定手法として非常に簡便であるものの、個々の系統特性の把握を目的とした試験に使用する場合には、調査例数やサンプリング方法に注意を払う必要性が示された。

2 雄花開花期間の調査

図-4は、開花調査期間中における開花枝累積頻度(%)と日平均気温(°C)の推移についてそれぞれ年度別に示したものである。開花枝累積頻度とは、「満開状態(開花指数2)に到達したと判断された調査枝の累積頻度」をさす。本図は、これを全調査枝中に占める割合(%)で表したものであり、金指ら(2008)は、特に半数の枝が満開に達した日を50%開花日と定義して開花予測の指標に用いている。

調査の結果、各年の50%開花日は2007年が3月27日(図-4a)、2008年が3月24~25日(図-4b)および2009年が3月25~26日と観測された(図中赤矢印)。これは、岩手(江刺)とほぼ同時期であり、千葉(木更津)や静岡(浜松)より2~4週間程度遅い(金指ら、2008)。

本研究による気温データを開花予測モデルに適用した結果、当採種園における50%開花予測日は、2007年が3月23日、2008年が3月23~24日、2009年が3月19日であった(未発表)ことから、2008年の開花日は概ね合致していたが、2007年は予測より4日、2009年は6~7日遅い観測となった。

開花枝累積頻度は、2007、2008年の結果をみるといずれも4~5日のうちに大半の枝が満開期に達する急上昇パターンを示していたが、2009年では50および75%付近で一時的な停滞がみられた。

開花観測日が予測日より遅くなったことや開花の一時的な停滞については、開花期間中における気温変化の影響が考えられた。すなわち、2007年は記録的な暖冬であったものの、3月初旬~23日に顕著な気温低下がみられ、特に3月20日までの日平均気温は0°C以下の日が大半となっている。一方、2009年は、3月20日~4月3日に顕著な気温の低下がみられ、特に約半数の調査枝が満開となった24日以降については、日平均気温0°C前後の日が4、5日間も続いている。こうした気温低下が、開花を抑制したことによるものと思われた。

以上から、今回用いたスギ雄花開花モデルについては、開花直前あるいは開花中の気温低下の影

響により若干の差異が生じるものの、2008年の例を考慮すれば、十分に高い精度を持つことが伺われた。

3 花粉飛散量の調査

図-5は、花粉センサーによって90%以上の確率で花粉であると判定された粒子数（個/m³/日）と雄花の開花ステージが満開期（開花指数2）と判定された調査枝の割合（満開枝頻度（%））の推移を示したものである。

なお、2007年の結果は、3月23、24日のデータが欠落していることから、ピーク（花粉飛散数が多かった日）や総花粉数については観測したデータ中での暫定的な扱いとした。

調査期間中に観測された総花粉数は、2007年が1,783個/m³であったが、2008および2009年ではそれぞれ4,386および5,020個/m³と2007年の2倍以上多かった。

採種園における雄花開花の状況との関係については、最初の開花（開花ステージ1）が観測された日（図中赤矢印）と花粉センサーによる観測結果を照らし合わせてみた場合、2007年3月20日に観測された花粉数は0個/m³、2008年3月21日および2009年3月18日でそれぞれ68および572個/m³と年によってまちまちであり、雄花開花の開始を的確に予測しうるような傾向は観測されなかった。

各シーズン中にピークが最大となったのは、2007年が3月26日（図5-a）、2008および2009年がそれぞれ3月23日（図5-b）および3月18日（図5-c）であったが、これらの日は、採種園において調査枝の開花指数が2（満開期）と判定された枝のほぼ出始め（2007年：3月26日、2008年：3月21日、2009年：3月18日）にあたるとともに、50%開花日より1日以上も早いものであった。このように、花粉数の推移と採種園の雄花開花にパラレルな関係が見いだせなかった理由としては、この時期の最多風向が南または西よりの日が多かったため、観測地から北または東側に位置する採種園由来の花粉がセンサーに検出され難い状況であったことが考えられた。この点については、今後同様の調査を実施するにあたり、目的に応じて設置位置を検討する必要があることが明らかとなった。

花粉の飛散については、2007年は2月15日（図5-a）、2008および2009年はそれぞれ2月12日（図5-b）および2月16日（図5-c）に開始を示唆するピークが観測されているが、この時期は、暴風雪や濃霧の日が多く、このような気象条件の日は顕著な検出粒子数の増加も認められている（データ未掲載）ことから、観測されたピークが実際に花粉に由来したものかどうかを判別することは困難であった。

なお、県健康環境センターで公開しているこの地区（沿岸部）のダーラム型花粉採集器を用いた花粉観測結果をみると、2007年の初観測日が2月20日、2008および2009年がそれぞれ3月9日および2月21日であったこと、2008年以外比較的暖冬だったことなどから実際に花粉の飛散があった可能性も考えられる。検出されたピークが暴風雪などに由来したカウントエラーでないとすれば、この時期の最多風向が西よりであったことと周囲のスギ雄花はまだ開花前であったことなどから、それらのはるか遠方の温暖な地域のスギに由来する可能性が高いものと推察される。

一方、飛散の終了日については、本県の場合、時期的にマツ花粉の飛散がはじまることと、供試センサーではスギとマツの両花粉の判別ができないことなどから、やはりその特定は困難であった。

以上のように、今回用いた光学式花粉センサーによる花粉観測は、飛散の多かった日（ピーク）

の把握には適していたが、飛散開始日や終了日などの特定には不向きであった。

IV. おわりに

平成18年度から国費により実施された新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業「スギ雄花形成の機構解明と抑制技術の高度化に関する研究」における本研究の分担は、「スギ雄花形成の抑制技術の高度化（都市部に影響を及ぼす花粉発生源の特定）」であり、本来の目的は開花時期”予測モデル”の精度向上に資する基礎データの収集であった。

開花時期予測モデルとは、雄花開花に必要な条件とされる休眠打破とその後の雄花発育に気温が深く関するという知見をもとにした”休眠期以降の気温変化から開花日を予測する計算式”である。

今回、このモデルを適用して雄花開花の予測日と実際の観測日を検証したところ、開花直前あるいは開花中における顕著な気温低下の影響によって3カ年間のうち2年で4～7日の開きがみられたものの、十分に高い精度をもっていることが伺われた。

一方、花粉観測の結果においては、初期に県内に飛来する花粉がはるか遠方の温暖な地域のスギに由来する可能性が示唆された点で、花粉症問題については、一地方自治体のみならず、近隣の自治体については国全体をあげて対策に取り組むことが肝要であると思われた。

充実した花粉予報を提供するためには、開花時期予測モデルや気象予測の精度向上に加え、花粉源となりうる山側の情報、すなわち開花適期を迎えているスギ林の位置や規模、林齢などの正確な情報の整備も重要な課題と思われる。本研究により得られたデータが、今後こうしたことに少しでも役立てば幸いである。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業「スギ雄花形成の機構解明と抑制技術の高度化に関する研究」においてプロジェクトを総括されました独立行政法人森林総合研究所生物工学研究領域長である篠原健司先生と、そのなかの1課題「スギ雄花形成の抑制技術の高度化（都市部に影響を及ぼす花粉発生源の特定）」について統括されました同所森林植生研究領域群落動態研究室主任研究員である金指達郎先生には、多大なるご指導、ご鞭撻を賜りました。ここに深く感謝申し上げます。

気象環境や花粉の観測法、花粉飛散の動態と予測、発生源の特定法等については、財団法人気象業務支援センター情報開発室専任主任技師である鈴木基雄氏に有益な技術を多数ご教示いただきました。また、ダーラム法による本県の過去の花粉観測データについては、県環境健康センター保健衛生部健康科学班上席研究員である原田誠三郎氏に提供していただきました。併せてここに深謝いたします。

また、たくさんの花粉情報をお寄せいただいた岩手県、千葉県、静岡県の関係機関の研究者の皆様と花粉調査にご協力くださった当センター職員の皆様に心から感謝いたします。

引用文献

- 金指達郎・蓬田英俊・佐藤博文・山本茂弘・中村博一・鈴木基雄（2008）スギ雄花開花時期の地域間変異、第49回日本花粉学会大会講演要旨：E-206.
- 川口 毅（2000）スギ花粉症の発症・憎悪メカニズムの解明に関する研究－医療経済に関する研究、スギ花粉症克服に向けた総合研究（第1期 平成9年度～11年度）成果報告書：143-157、科学技術庁研究開発局、東京.
- 近藤禎二（2009）林木育種の面からの花粉症対策、日本森林学会公開シンポジウム－森林からみた花粉症：21-26、第119回日本森林学会大会運営委員会.
- 鈴木基雄（2007）スギ、ヒノキ科花粉の計測と予測、大気環境学会誌 42：A34-A49.
- 林木育種推進東北地区協議会（2009）東北育種基本区スギ精英樹特性表第三版（20年次調査結果）：160-162.
- 林野庁（2002）雄花着花性に関する調査報告書：17-18、東京.

添付図表



写真-1 花粉調査の状況



写真-2 温度データロガーの設置状況

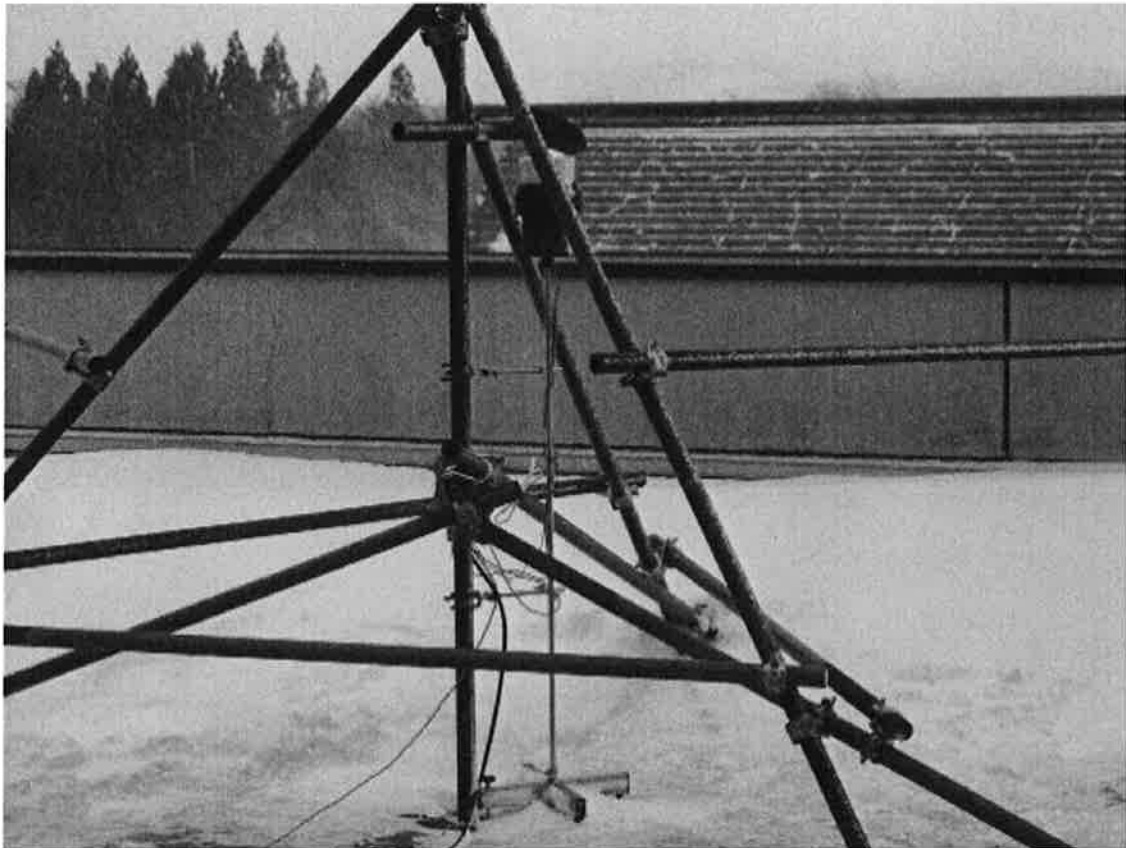


写真-3 光学式小型花粉センサーの設置状況

表-1 スギ雄花着花量の判定基準

表-2 スギ雄花開花状況の判定基準

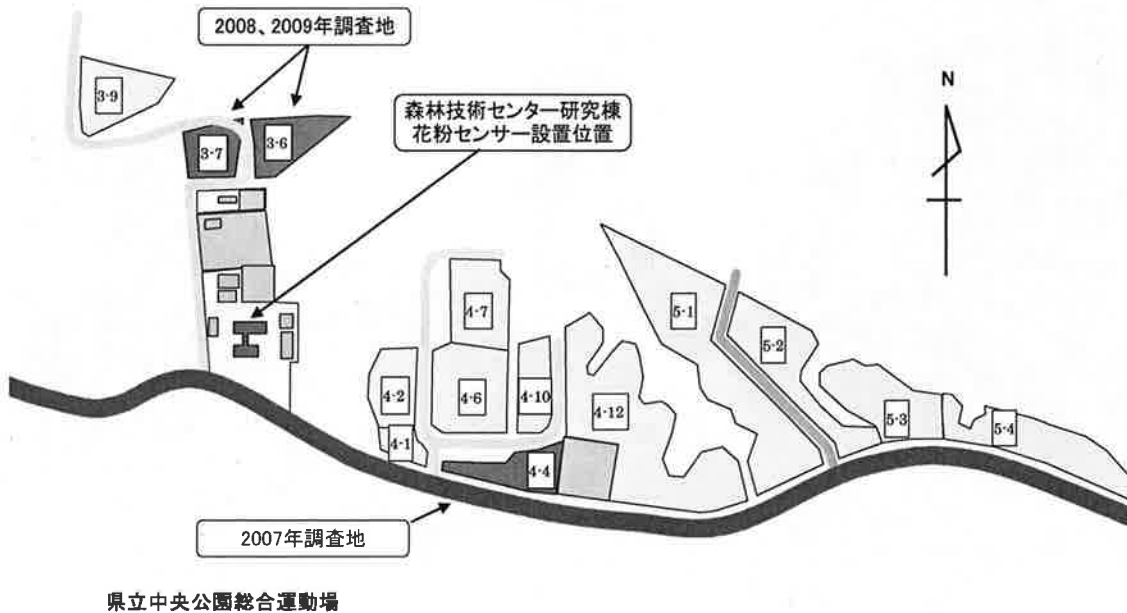


図-1 森林技術センターにおける戸島スギ採種園の位置と雄花着花量、開花時期調査地およびスギ花粉観測地

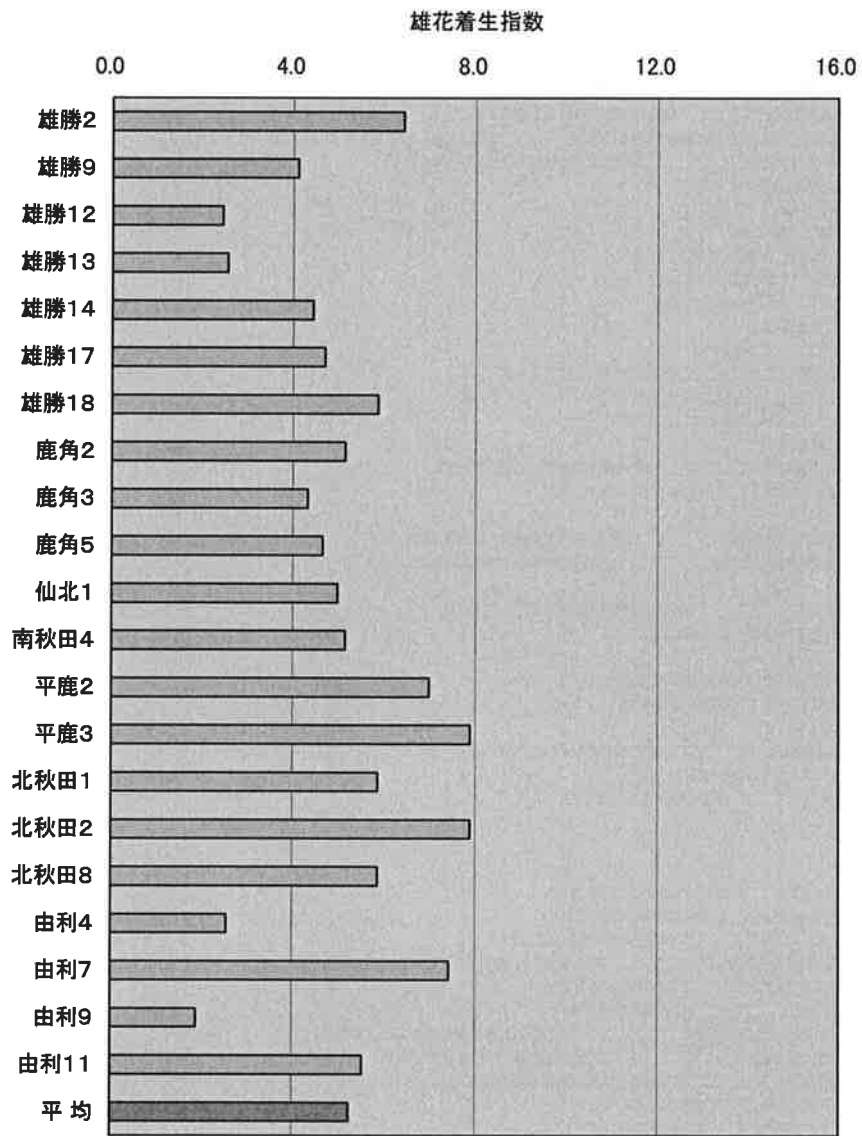


図-2 2007～2009年における各スギ精英樹の雄花着花指数
(3カ年平均値)

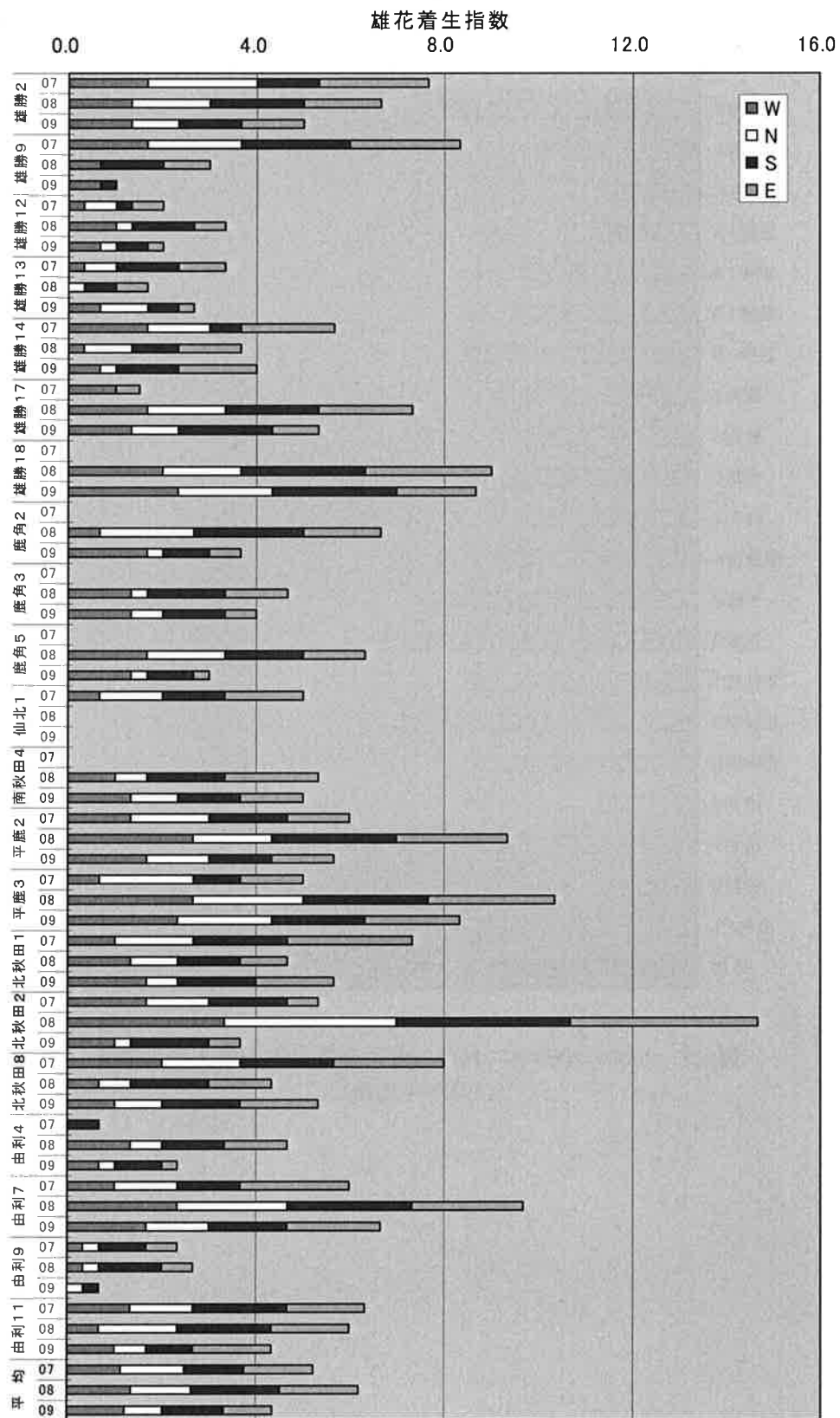


図-3 2007～2009年における各スギ精英樹の雄花開花指数
(年別・方位別平均値)

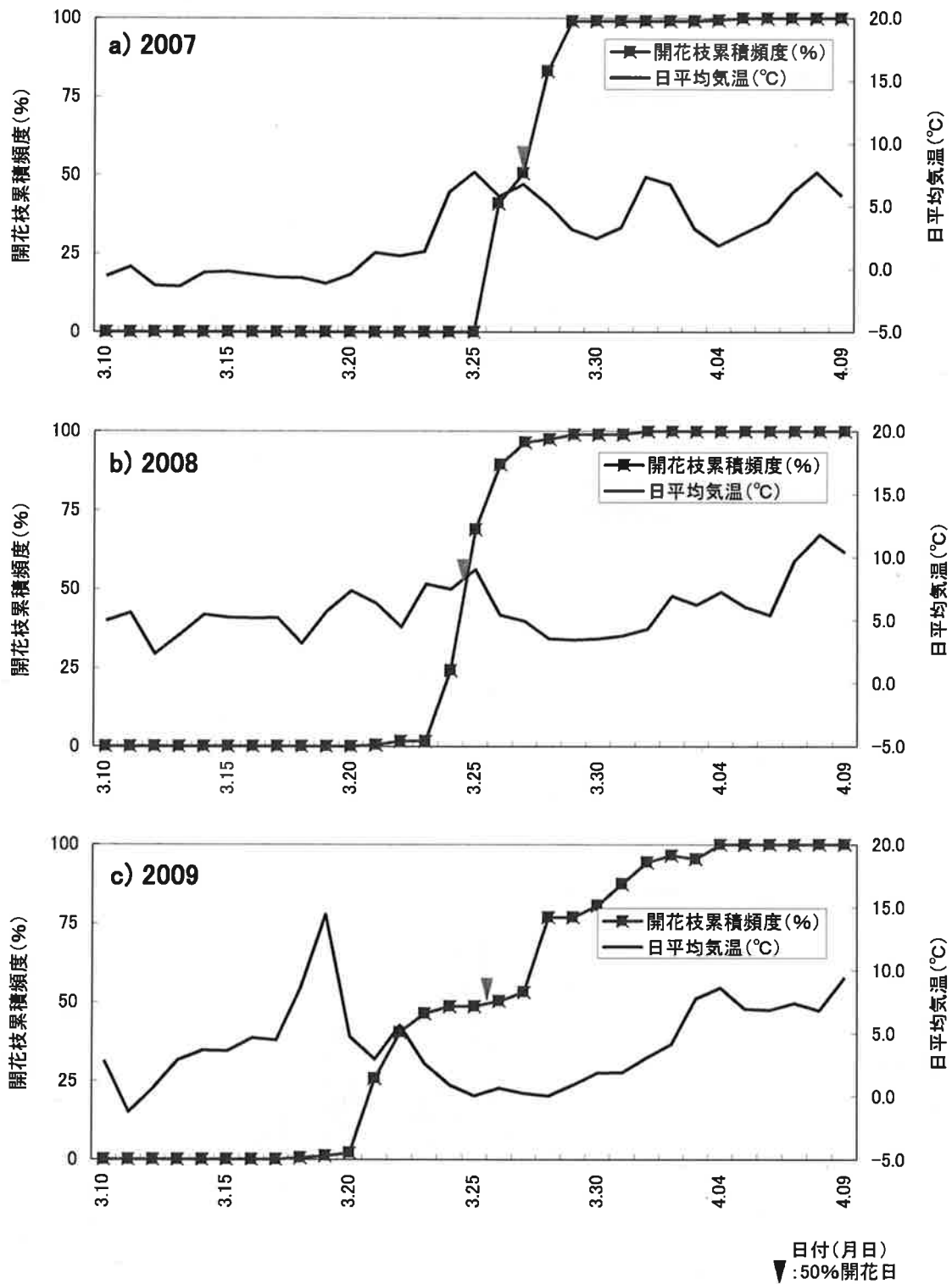


図-4 2007～2007年におけるスギ雄花開花期間中の開花枝累積頻度と日平均気温の推移

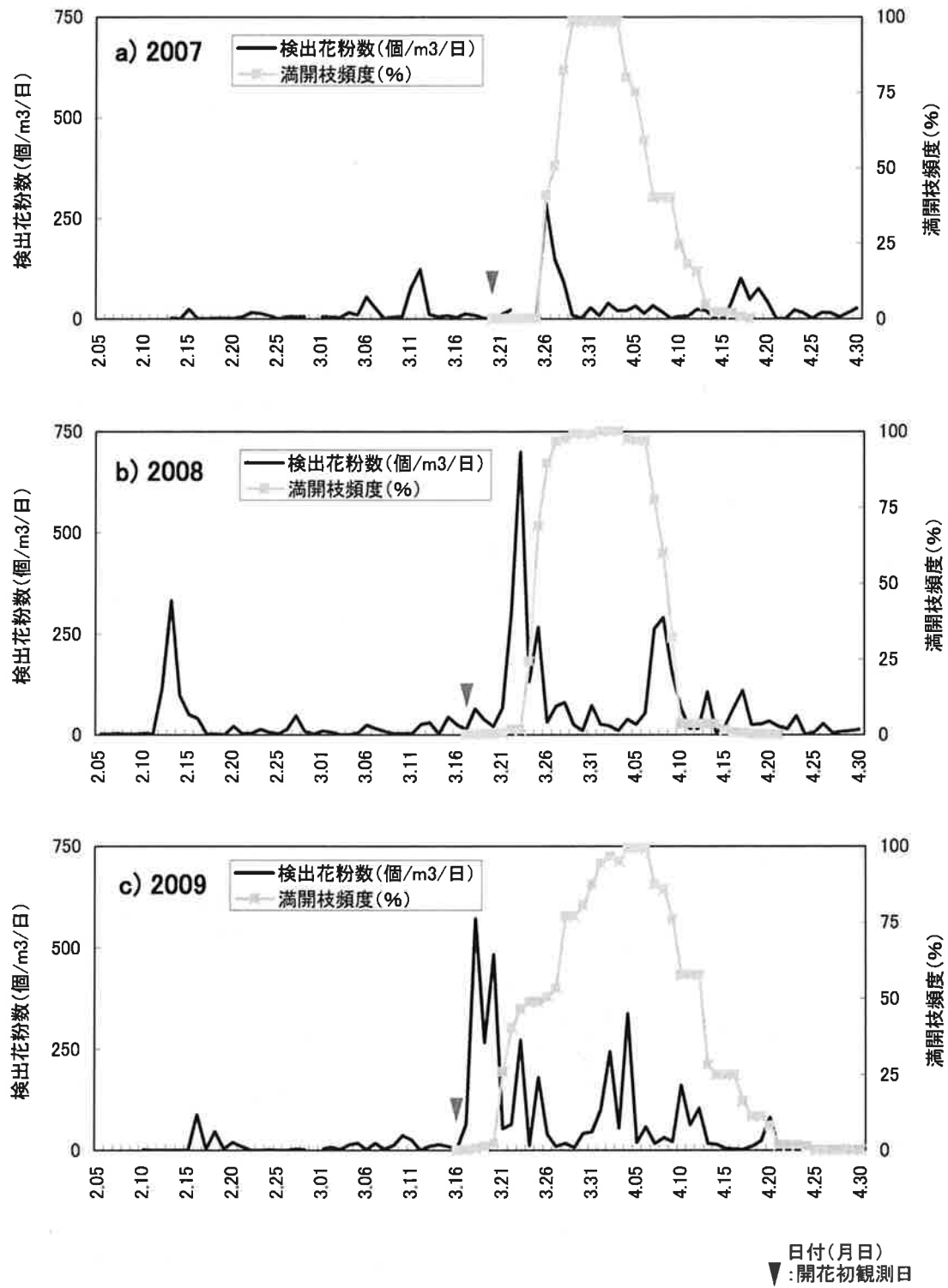


図-5 2007~2009年における検出スギ花粉数と雄花満開枝頻度の推移