

スギ花粉暴露回避技術の開発

目 次

研究の要約	19
1. スギ雄花開花モニタリングによる予測モデルの精度向上とモニタリング手法の省力化の検討	23
(1) スギ雄花開花モニタリング調査	23
(2) スギ雄花開花予測モデルの精度の向上	27
(3) 自動花粉モニターによるスギ雄花開花観測の省力化の検討	33
2. 花粉生産を抑制する林分密度管理技術の開発	38

研 究 の 要 約

I 研究年次及び予算区分

平成 15～17 年（3 か年）

運営費交付金（交付金プロジェクト）

II 主任研究者

主査：森林植生研究領域長 清野嘉之（平成 15 年 4 月 1 日～平成 17 年 3 月 31 日）

植物生態研究領域長 清野嘉之（平成 17 年 4 月 1 日～平成 18 年 3 月 31 日）

取りまとめ責任者：温暖化対応推進拠点長 清野嘉之

III 研究場所

森林総合研究所・本所

森林総合研究所・東北支所

森林総合研究所・関西支所

森林総合研究所・九州支所

群馬県林業試験場林木育種場

千葉県森林研究センター上総試験地

IV 研究目的

「スギ花粉飛散予報システム」によるスギ花粉予報の精度を向上させるため、試験林におけるスギ雄花開花モニタリングを継続し、このデータを用いてスギ雄花開花予測モデルの推定精度の向上を図る。予測精度の検証作業がリアルタイム花粉飛散モニターの活用により開花モニタリングの省力化が可能かどうか検討する。

間伐が雄花生産に及ぼす影響を経年的に調べ、花粉抑制に効果的な林分密度管理法を示す。

V 研究方法

1 スギ雄花開花モニタリングによる予測モデルの精度向上とモニタリング手法の省力化の検討
文部科学省プロジェクト「スギ花粉症克服に向けた総合研究」で実施していたスギ雄花開花モニタリングを継続して実施した。この結果を用いてすでに開発されているスギ雄花開花予測モデルの精度を検証し、その一部である発育モデルを他のモデル(有効積算温度モデル→アレニウスモデル、ロジスティックモデル)に変更した場合に予測精度の向上がはかれるかどうかを検討した。また、リアルタイム花粉飛散モニター(KH-3000)を試験地内およびその近辺に設置し、その観測結果と開花モニタリング結果を比較することにより、機器による観測で開花状況の推移を精度よく把握できるか検討した。

2 花粉生産を抑制する林分密度管理技術の開発

文部科学省プロジェクト「スギ花粉症克服に向けた総合研究」で茨城県と京都府、熊本県に設定したスギ間伐試験地の雄花生産の調査を継続した。雄花量の要因を分析し、間伐影響の推定精度の向上を図った。

VI 研究結果

1 スギ雄花開花モニタリングによる予測モデルの精度向上とモニタリング手法の省力化の検討

(1) 群馬試験地、千葉試験地における雄花開花時期の年変動については、開花日に年間最大約20日の大きな変異が認められた。このことは、花粉飛散予報の精度を向上させるためには開花時期の予測が不可欠であることをあらためて示している。

(2) 有効積算温度モデルでは、群馬試験地における予測誤差が千葉試験地より大幅に大きかった。他の2つのモデルでは、いずれも有効積算温度モデルより精度良く開花時期を推定したが、とくに群馬試験地での予測誤差が有効積算温度モデルに比べて半減した。これらの2つのモデルでは両試験地でパラメータの推定値が異なったが、このことは温度に対する成長反応が試験地間で異なることを示している可能性がある。

(3) 機器を林内に設置した場合には、全体の開花動向を反映せず機器周辺に個体に大きく左右されてしまうこと、離れた場所に設置した場合には、遠方から飛来した花粉等を区別できなくなることが明らかになった。これらの傾向は雄花生産量の少ない年において顕著であった。したがって、いずれの場所に機器を設置しても、開花状態の推移、特に開花初期の状況を正確に把握することは不作年には難しいと考えられた。

2 花粉生産を抑制する林分密度管理技術の開発

スギ人工林の期首条件や保育計画、夏の気象条件などをパラメータに雄花量の年次変化を推定する手法を開発した。この手法を用い、間伐を行いながら長伐期林に移行する場合と、間伐を行わず通常伐期で主伐して再造林する場合の伐期通算の雄花生産量を推定し、比較したところ、後者の方が花粉生産は少なくなることが分かった。

VII 今後の問題点

スギ雄花開花予測モデルの予測精度をある程度改善することができたが、現段階では関東地方のみが対象である。今後、他の地域においても同程度の予測が必要になるため、モデルのパラメータ

設定用に他地域での開花調査が必要である。

現存するスギ人工林の扱いには長伐期林への移行や放置のほかに、樹種転換、再造林などさまざまなものがある。林業施策に沿って想定される主要な森林管理について花粉生産を推定し、より効果的な管理法を明らかにする必要がある。また、モデルを立地環境や着花履歴など雄花量に関係するその他の要因も考慮したものに改良する必要がある。

VIII 研究発表

1

Kanazashi, T. and Yokoyama, T. (2005) The effect of alternating temperature on the rest break process of male flowers of *Cryptomeria japonica* D. Don., Journal of Forest Research, 10, 493-496.

2

清野嘉之・九島宏道・細田和男・家原敏郎（2004）森林の蓄積変化に及ぼす気温と密度管理の影響のファクタリングアウト，日林関東支論，55，127-128.

清野嘉之・長尾精文・佐藤保・奥田史郎・田内裕之・伊藤武治・五十嵐哲也・九島宏道（2006）着花したスギの重量成長と翌年の着花，日林関東支論，57，155-156.

清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田清・野田巖・近藤洋史（2003）強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる，日林誌，85(3)，237-240.

清野嘉之・篠原健司（2004）SYJ-140 液剤・スギ雄花の着花抑制試験，林業薬剤等試験成績報告書（平成 15 年度），89-94.

清野嘉之・篠原健司（2005）SYJ-140 液剤の撒布がスギの栄養生長に及ぼす影響，平成 16 年度林業薬剤等試験成績報告集，165-169.

長尾精文・清野嘉之・九島宏道・奥田史郎（2004）スギの雌花形成と成長量におよぼす夜温の影響，日林関東支論，55，109-112.

長尾精文・清野嘉之・篠原健司・九島宏道・渡辺邦寿（2005）TNE 処理によるスギの花芽形成の抑制試験，日林関東支論，56，119-111.

野田巖・齋藤英樹・鹿又秀聡・清野嘉之・林雅秀（2006）荒強当国有林スギ花粉間伐試験地の調査結果，平成 17 年度森林総合研究所九州支所年報，18，34-35.

篠原健司・伊ヶ崎知弘・二村典宏・毛利武・清野嘉之・長尾精文・横山敏孝（2004）林学におけるスギ、ヒノキ花粉症への対応，アレルギー科，17(1)，95-102.

高橋和規・長尾精文・清野嘉之・篠原健司・九島宏道（2006）トリネキサパックエチルの撒布による着花抑制とスギ栄養成長への影響，日林関東支論，57，103-104.

講演：清野嘉之，森林管理によるスギ林対策（第 44 回日本花粉学会公開シンポジウム「花粉症予防のための環境対策」），2003 年 10 月 11 日富山

IX 研究担当者

1（1） 金指達郎

1（2） 金指達郎

1 (3) 金指達郎

2 清野嘉之、佐藤 保、石田 清、野田 巖

1. スギ雄花開花モニタリングによる予測モデルの精度向上とモニタリング手法の省力化の検討

(1) スギ雄花開花モニタリング調査

ア 研究目的

スギ花粉症が「国民病」と言われ大きな社会問題になって久しい。スギ花粉症に対する重要な対策の一つとして、花粉飛散予報が各地で開始されたが、実施当初の予報は多分に経験的な根拠に基づいたものであったことは否めない。そのため、平成9年から開始された科学技術庁（文部科学省）プロジェクト研究「花粉症克服に向けた総合研究」の中で、科学的根拠に基づいた「スギ花粉飛散予報モデル」の構築を目指した研究が実施された。

「飛散予報モデル」を構築し運用するためには、花粉発生源分布の把握、発生源における当該年の雄花生産量の推定、発生源における雄花開花時期の推定、花粉放出過程・拡散過程のモデル化等のパーツを解明・開発することが不可欠である。このうち、開花時期の推定については、各地の発生源で直接観測することは不可能である。そのため、文科省プロジェクトでは、実験的にスギ雄花の開花特性を調べ（金指 2000、金指・横山 2002、Kanazashi and Yokoyama 2005）、これに基づいた「開花予測モデル」を構築した（金指 2003）。この予測モデルは限られた実験条件に基づいたものであるため、野外での検証データが必要であり、モデル構築作業と平行して2カ所の試験地で5カ年の開花モニタリングも実施してきた（金指 2003）。

しかしながら、開花モデルの予測精度を検証しさらにモデルの改変等により精度向上を目指す（次節参照）ためには、5カ年の結果ではデータ不足であることから、さらなるデータの蓄積が必要と考えられた（金指 2003）。そこで、この節では、それまでデータを取得してきた試験地においてさらに観測を継続し、計8カ年の観測結果を総括した。そして開花日の年変動を温度変化のパターンからどのくらい説明できるかを検討した。

イ 研究方法

開花調査は、群馬県林業試験場林木育種場構内のスギ採種園（以下、群馬試験地）と千葉県森林研究センター上総試験地構内のスギ採種園（千葉試験地）に設置した試験区で実施した。調査対象木は、群馬試験地では72個体、千葉試験地では78個体である（いずれも2試験区）。調査対象木のクローン数は、30（群馬試験地）、26（千葉試験地）であるが、クローンあたりラメート数は不定である。各調査木を4方位に分けそれぞれの方位ごとに開花状況を調査した。すなわち、調査対象のデータ数（以下、「観測単位」とする）は、それぞれ288（群馬試験地）、312（千葉試験地）となるが、着花のない観測単位があるので実際のデータサイズはより小さく、各年の着花状態により大きく異なった。

雄花の開花状態は、手または棒で枝先を叩いたときの雄花からの花粉の飛散を目視で判定した。判定基準は、1：叩いても花粉の飛散が全く認められない、2：花粉の飛散がわずかに認められる、あるいはごく一部の枝先で花粉が飛散する、3：軽く叩いただけで多量の花粉が飛散する（満開）、4：やや強く叩くと多量あるいは少量の花粉が飛散する、5：強めに叩いても花粉の飛散はほとんど認められない、の5段階とした。このうち、データとして評価したのは2（満開）に到達した日（満開初日）とした。

観測は、原則として休日および降雨・降雪日を除いて毎日実施したが、未観測日については天候状況などを勘案して補完した。また、試験地内あるいは付近の百葉箱内に温度データロガー（おんどとり Jr., TR52）を設置し、気温を1時間単位で測定した。なお、千葉試験地では機器の不調により1999年のデータは取得できなかった。

ウ 結 果

両試験地における8年間の雄花開花時期の観測結果を表1-1-1に示した。

表1-1-1. 群馬試験地・千葉試験地におけるスギ雄花の開花日（満開到達日）

	群馬試験地			千葉試験地		
	10%開花	50%開花	90%開花	10%開花	50%開花	90%開花
1998	3.04	3.16	3.22	3.01	3.09	3.15
1999	3.09	3.16	3.18	2.27	3.03	3.07
2000	3.22	3.29	4.02	3.06	3.15	3.21
2001	3.18	3.22	3.24	3.02	3.09	3.17
2002	3.05	3.11	3.14	2.22	2.27	3.06
2003	3.21	3.27	3.31	2.27	3.03	3.07
2004	3.11	3.16	3.21	2.27	2.29	3.04
2005	3.23	3.27	3.31	3.07	3.12	3.14
Avg (date)	3.14	3.21	3.24	3.01	3.06	3.11
SD (day)	7.8	6.7	6.8	4.3	5.8	6.2
Range (day)	19	18	19	13	16	17

表中で10%開花と表記したのは、着果している全観測単位のうち10%が満開に至った日を示しており、林分全体の開花初期の指標となる。同様に50%開花日は平均的な雄花が満開に至る日の指標となる。各観測単位が満開と判定されてから数日から2週間以上その状態は継続するので、90%開花日はほぼ林分全体が満開になる日に相当する。

50%開花日を試験地間で比較すると、8年の平均では千葉試験地の方が15日早かったが、年ごとに比較すると7～25日と年により大きく異なった。一方、年間差は、群馬試験地では10%、50%、90%開花日とも19日程度であったが、千葉試験地ではそれより多少小さかった。また、両試験地とも10%開花日と90%開花日の差は平均10日、年ごとにみると6～18日の幅があった。

休眠解除過程を経て発育再開から開花に至る時期に相当する、11月から開花までの日平均気温の期間平均値（千葉試験地では11月15日から）と50%開花日との関係を図1-1-1に示した。気温の期間平均値は、群馬試験地では年によって1.5℃強、千葉試験地では1.8℃の差があった。両試験地とも、期間平均気温と50%開花日の間には明瞭な関係は認められなかった。また、両試験地における期間平均気温は、8カ年の平均で1.6℃（0.9～2.3℃）千葉試験地の方が高かった。

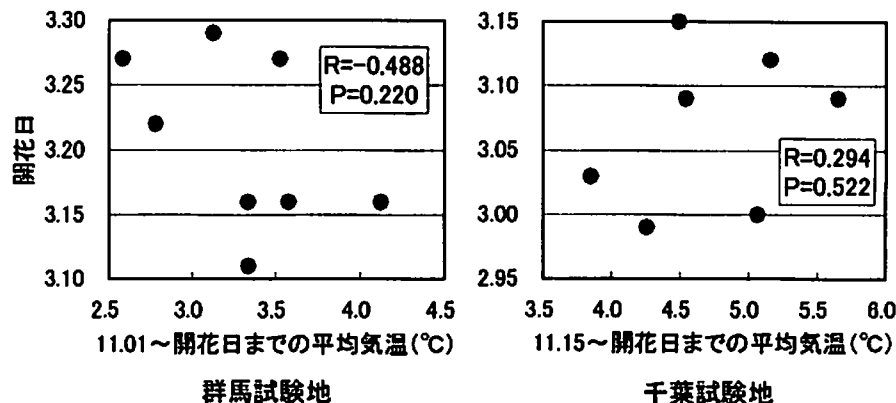


図1-1-1. 11月から開花までの平均気温と50%開花日との関係

注: 千葉試験地の開花日表記が2.99は2月27日(2002)年、3.00は2月29日(2004年)

エ 考 察

両試験地とも、開花日の年間差は最大約 15～20 日と大きかった。このことは、花粉飛散予報の精度を向上させるためには花粉発生源における開花時期の予測が不可欠であることをあらためて示している。

スギ花粉の飛散およびスギ雄花の開花は、一般に寒冷な地域ほど遅い。今回調査した 2 試験地でもより寒冷な群馬試験地の方が平均 15 日遅かった (表 1-1-1)。このことは、ある花粉発生源におけるある年のスギ雄花の開花日は、休眠解除過程から開花に至る期間の平均気温に大まかには規定される (簡単に言えば暖冬の年では早い) 可能性があることを連想させる。しかし、今回の調査結果では、図 1-1-1 で明らかなように、両試験地とも期間平均気温と開花日の間には明瞭な傾向は認められなかった。すなわち、雄花の開花時期は、単に休眠解除から開花までの平均的な気温の高低で決まるのではなく、その期間内の様々なプロセスに対応した温度変化のパターンが大きく影響することを示唆していると考えられる。

両試験地の開花日の差は年により大きく異なり (表 2-1-1)、また休眠解除過程から開花までの期間平均気温の試験地間の差にも年変異 (0.9～2.3℃) が認められた。仮に期間平均気温の高低が開花日の年変動に関与しているとすれば、この両者間には一定の相関関係が認められるはずである (例えばより温暖で開花の早い千葉試験地で、さらに期間平均気温の差が大きい年には群馬試験地との開花日の差が大きくなるなど)。しかし、今回得られた対応可能な 7 年分のデータでは、両者間の相関係数は、むしろ有意ではないものの負値 ($R=-0.528$, $P=0.223$, 図は省略) を示し、少なくとも上記のような関係は認められなかった。このことも、休眠解除からの開花までの期間平均気温が開花日に影響するのではないことを示している。

では、休眠解除過程から開花に至る期間における、温度変化パターンが開花日の年変動にどのように影響するのだろうか? このことを検討するための参考として、群馬試験地における特徴的な 3 カ年、すなわち最も開花日の早かった 2002 年と開花日の遅かった 2 年 (2000 年と 2005 年) の気温の推移を図 2-1-2 に示した (大きな日変動の影響を除外して傾向を見やすくするため 7 日間移動平均値を示した)。

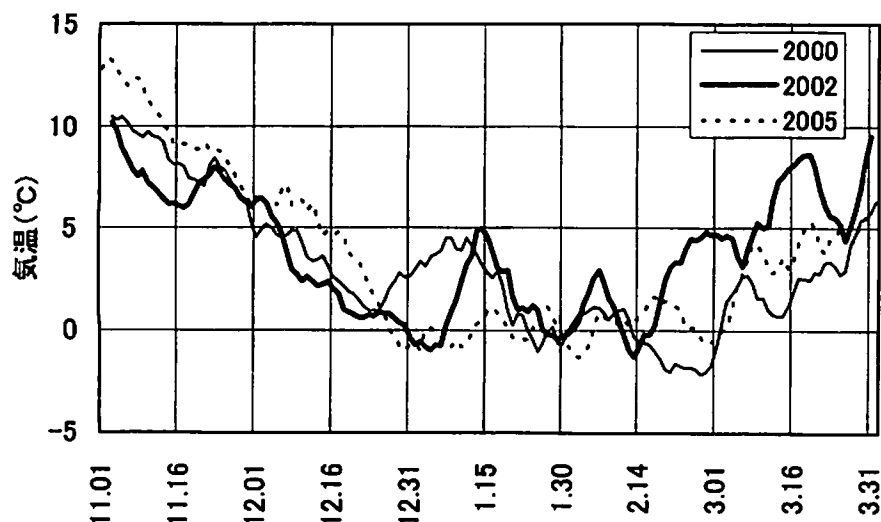


図1-1-2. 群馬試験地における日平均気温(7日間移動平均)の推移

まず、最も開花の早かった 2002 年の温度変化の特徴をみてみよう。12 月中旬までは開花の最も遅かった 2000 年とほぼ同様に推移し、その後 2 月上旬までに 2 度ほど高温期が認められたが、最も特徴的なのは 2 月下旬から継続して高温が続き、3 月 11 日の開花に至った(50%開花日)。すなわち、開花前約 2 週の高温は開花日を早めるのに大きく寄与することが推測されるが、この事例だけではそれ以前の温度推移パターンの影響については判然としない。

一方、開花の遅かった 2 年のうち、2000 年の温度推移については、12 月中旬までは 2002 年とほぼ同じで推移したが、1 月上旬中に平年を上回った後低下し、2 月中下旬がもっとも寒冷的な期間となった点が特徴的であった(平年では 1 月下旬が最寒期にあたる)。2005 年には、12 月中旬までは平年より高温で推移したこと、1 月の平年並みの低温が 2 月いっぱい継続したことが特徴であった。このように、例年より遅くほぼ同じ時期に開花した両年の温度推移パターンは異なり、共通点はかならずしも多くない。

以上の 3 カ年は、いずれも休眠解除期から開花に至る期間の平均気温が中庸の年であった(2000 年: 3.13℃、2002 年: 3.34℃、2005 年: 3.54℃、8 年間のレンジ: 2.58–4.13℃)。このことは開花の遅速はこの期間の平均気温よりもその推移パターンに影響される可能性を示しているが、その特徴を検出するには至らなかった。他の年の推移パターンも考慮すると各年の特徴と開花日との関係はより多様であり、こうした手法だけから開花の年変動に与える気温推移の影響を推定することは難しいと考えられた。

オ 今後の問題点

今後、関東地域以外でも開花予測が求められると思われるが、その比較対象としてのデータとして今後も群馬試験地、千葉試験地における観測を継続する必要がある。そのため、平成 18 年度から開始された農水省高度化事業(全国領域)課題の中で調査を継続する予定である。

カ 要 約

スギ雄花開花予測モデルの予測精度の検証とその向上を図る目的で、群馬県、千葉県の2カ所の試験地で雄花開花（満開到達）日の観測を8カ年継続して実施した。50%の雄花が満開に至る日は、より温暖な千葉試験地で平均15日早かった（年により7～24日）。開花日の年間差は最大20日弱に及んだ。休眠解除過程から開花までの期間平均気温の年変動は開花日の年変動を規定しておらず、開花日は気温推移のパターンに影響されると考えられた。

キ 引用文献

- 金指達郎・横山敏孝（2000）スギ雄花の休眠およびその覚醒と花粉放出開始の予測に関する研究，スギ花粉症克服に向けた総合研究成果報告書（第Ⅰ期），313-326.
- 金指達郎・横山敏孝（2002）スギ雄花の休眠打破と開花に要する温度条件，日本花粉学会誌，48，95-102.
- 金指達郎（2003）都市への花粉飛散をおこすスギ林の同定に関する研究，スギ花粉症克服に向けた総合研究成果報告書（第Ⅱ期）
- Kanazashi, T. and Yokoyama, T. (2005) The effect of alternating temperature on the rest break process of male flowers of *Cryptomeria japonica* D. Don., Journal of Forest Research, 10, 493-496.

（金指達郎）

（2）スギ雄花開花予測モデルの精度の向上

ア 研究目的

スギ花粉飛散予報を行う上で、各地の花粉発生源におけるスギ雄花の開花時期を推定することは不可欠である。前節でも示されたように雄花の開花時期は地域によって異なるだけでなく、その年の温度推移のパターンによっても大きく変化する。そのため、文科省プロジェクト研究において、実験的に明らかにされたスギ雄花の開花特性に基づいた「スギ雄花開花予測モデル」を開発した（金指 2003）。

この節では、前節で示された群馬試験地、千葉試験地におけるスギ雄花開花時期のモニタリング結果を用いて、開花予測モデルの推定精度を検証した。さらに開花予測モデルの一部である発育状態サブモデル（イ．研究方法の項を参照）を改変することによりモデルの推定精度の向上を試みた。

イ 研究方法

1）開花予測モデルの概要とその予測精度の検証：まず、文科省プロジェクトで開発された開花予測モデルの概要を示す（金指・横山 2003）。このモデルは、室内実験から推定された雄花の開花特性（金指・横山 2002、Kanazashi and Yokoyama 2005）に基づいて、雄花の休眠解除過程から開花に至る過程を3つのサブモデルで記述したものである。3つのサブモデルの内容は以下のとおりである；

①休眠状態サブモデル (Sr)：低温が経過することによって雄花の休眠が徐々に弱まっていく過程を

モデル化した。まず、1日の温度が休眠を浅くさせる効果を MrT とする。これまでの実験結果から、日平均気温が 0～10℃、かつ日中高温時 6 時間の気温が 13℃未満の日は MrT=1.0CU (Chill unit、最高値)とし、その他の条件の日は MrT=0.0CU とした。ただし、日中高温時 6 時間の気温が 15℃以上の日では MrT=-1.0CU とした(文科省プロジェクトでは MrT=-0.5CU としていたが、Kanazashi and Yokoyama (2005) の結果からこのように改変した)。ある時点の休眠状態はそれまでの MrT の累積値で表される。休眠が完全に打破されるとき MrT の累積値(実験から 35.0CU、)で基準化したものを Sr とした。すなわち、Sr=1.0 に達した時点で休眠は完全に打破されることになる。

②成長能力サブモデル (Cg) : ある休眠状態にある雄花の成長能力 (Cg) は、実験結果から判断すると(金指・横山 2002)、 $0 \leq Sr < 0.4$ では $Cg(t)=0.0$ 、それ以上になるとその値は Sr に比例して上昇し、休眠が完全に解除された時点以降は最大値、 $Cg=1.0$ となる。

③発育状態サブモデル (So) : Cg とその日の温度条件に応じて雄花は少しずつ発育すると仮定する。温度の発育への影響のしかた (Mo) は、最も単純に「発育限界温度以上の温度」に比例すると仮定した (HU、heat unit)。実験結果から発育限界温度は 0℃とした。ただし、平均気温が -2～2℃では有効温度を考慮した調整を行った ($Mo=0.5 \cdot (T+2)$ 、T : 日平均気温)。そして $Cg \cdot Mo$ の積算値を基準化した値 (So) が 1.0 に達したときに開花するとした。実験結果からの推定では、 $So=1.0$ になるときの $Cg \cdot Mo$ の累積値は 170～260HU の範囲であった。

この開花予測モデルの構造は、各サブモデルに対応する新たな知見が得られた場合には、その部分だけを改変することで、他のサブモデルに影響することなく改良できることが特徴である。なお、以上の表記法は、おおむね Hanninen (1990、1995) に従った。

この開花予測モデルの精度を確認するために、群馬試験地、千葉試験地の温度測定データを用いて開花予測を行い、現地の開花調査データと比較した。

2) 発育状態サブモデルの改良 : 前項の開花予測モデルのうち、発育状態サブモデルで用いた有効積算温度に基づく方法は、基本的には暫定的な手法である。この部分のモデルとしてはこれまでもいくつかのより科学的根拠に基づいた発育モデルが提唱されている。それらのうち、比較的現実的と思われる下記の 2 つのモデルの妥当性について、2 試験地における実測データを当てはめることにより検証した。

有効積算温度モデル (一部改変) に加えて検討したモデルは以下の 2 つである。

アレニウスモデル : 酵素等の反応速度と温度との関係を表したいわゆるアレニウスの式に基づいたモデル (杉浦ほか 1991 など)。果樹やサクラ等の開葉 (開花) の予測に用いられている「温度変換日数法」の基礎として用いられている (青野・守屋 2003)。このモデルでは発育速度 (Mo、日単位) は、

$$Mo = \exp(a - b \cdot (T + 273) - 1)$$

T : 日平均気温 (℃)、a、b はパラメータ

として与えられる。

ロジスティックモデル : 1. では発育速度は温度とともに指数関数的に上昇するが、現実には温度がある程度以上上昇すると頭打ちになることを想定して、Logistic curve を適用するモデル

(Sarvas, 1974)。このモデルでは発育速度 (Mo) は、

$$Mo = a / (1 + \exp(-b \cdot (T - c)))$$

T: 日平均気温 (°C)、a、b、c はパラメータ

として与えられる。

各モデルの実測開花データへの当てはめは、それぞれのパラメータを少しずつ変化させ、50%開花日における So (発育速度の積算値) の残差平方和を最小にするパラメータセットを推定した。ただし、有効積算温度モデルの場合にはパラメータは実験結果から推定した前節のものを用いた。それぞれの最小残差平方和の大小から各モデルの優劣を判定した。この検討は、両試験地込みでの場合と、試験地ごとの場合について行った。

ウ 結 果

1) 文科省プロジェクトで開発した開花予測モデルの精度の検証: 文科省プロジェクトで開発したオリジナルの開花予測モデルを用いた予測結果の一例 (子持試験地 2001 年シーズン) を図 1-2-1 に示した。

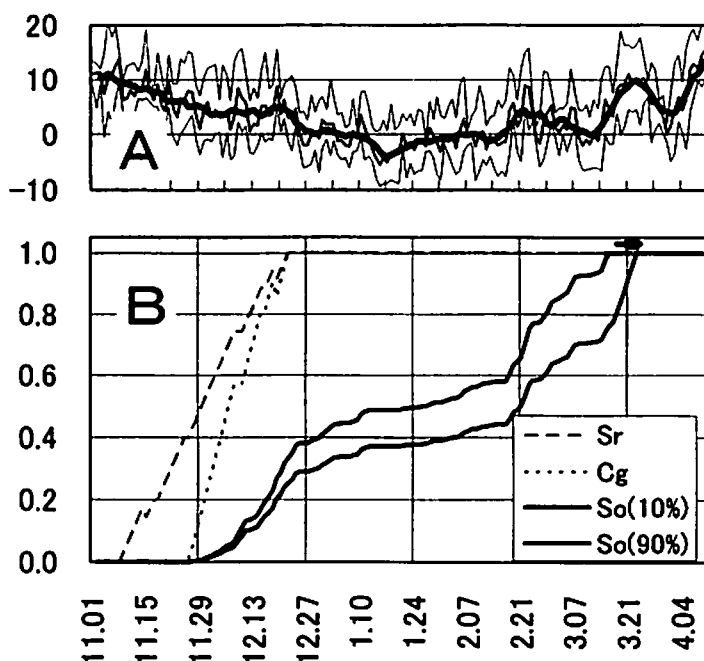


図1-2-1. 子持村試験地における気温(A)と雄花発育状況の予測結果(B)
(2000-2001シーズンの事例)

A: 平均、最高、最低気温。太線は日平均気温の7日間移動平均

B: 右上部のバーは開花が始まった日の範囲

Sr, Cg, Soは、それぞれ雄花の休眠打破状態、成長能力、発育段階の指標の指標、So=1に達したときに満開に達する(詳細は本文参照)。

So (10%): 雄花の成長が早い個体のSoの推定値

So (90%): 雄花の成長が遅い個体のSoの推定値

雄花の発育の早い個体を想定して So=1.0 に到達するときの $Cg \cdot Mo = 190HU$ 、平均的な個体に対して $Cg \cdot Mo = 220CU$ 、遅い個体に対して $Cg \cdot Mo = 250HU$ として推定した。野外データは、各観測単位の開花 (満

開) 到達日の 10、90 パーセンタイルの範囲を図中に示した。この事例では、平年より低温の冬だったが 3 月中旬に急に暖くなり、多くの観測単位が短いタイムラグ (7 日程度) で一斉に開花 (満開) に至った。モデルによる予測結果はこの状況を良く表現しており、ほぼ正確に開花日を予測できたとみなせる。

観測期間中すべての年における開花予測日と開花観測日を表 1-2-1 に示した。平均的には両試験地とも 1-2 日予測が遅れたが問題となるレベルではないと見なせる。しかし、年ごとばらつき (SD、標準偏差) は群馬試験地でやや大きく、とくに平均的な雄花の満開到達の指標となる 50% 開花日の誤差が 2005 年で大きかった。表には示していないが、開花日における発育速度の積算値 S_o の 1.0 からのズレは、多くの場合で 0.1 前後以下であったが、群馬試験地の 2005 年 (50%、90% 開花日) では 0.2 に達した。

表 1-2-1. 子持村試験地・上総試験地におけるスギ雄花開花予測日と開花観測日

	開花予測日			開花観測日			予測のズレ (日)		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
群馬試験地									
1998	3.12	3.20	3.26	3.04	3.16	3.22	8	4	4
1999	3.05	3.14	3.18	3.09	3.16	3.18	-4	-2	0
2000	3.24	3.30	4.04	3.22	3.29	4.02	2	1	2
2001	3.16	3.20	3.23	3.18	3.22	3.24	-2	-2	-1
2002	3.10	3.15	3.18	3.05	3.11	3.14	5	4	4
2003	3.18	3.25	3.29	3.21	3.27	3.31	-3	-2	-2
2004	3.04	3.12	3.17	3.11	3.16	3.21	-7	-4	-4
2005	3.30	4.05	4.07	3.23	3.27	3.31	7	9	7
Avg.	3.15	3.22	3.26	3.14	3.21	3.24	0.8	1.0	1.2
SD							5.5	4.4	3.7
千葉試験地									
1998	3.01	3.07	3.12	3.01	3.09	3.15	0	-2	-3
1999	-	-	-	2.27	3.03	3.07	-	-	-
2000	3.14	3.20	3.23	3.06	3.15	3.21	8	5	2
2001	3.07	3.15	3.18	3.02	3.09	3.17	5	6	1
2002	2.21	2.26	3.01	2.22	2.27	3.06	-1	-1	-5
2003	2.26	3.04	3.10	2.27	3.03	3.07	-1	1	3
2004	2.26	3.02	3.10	2.26	2.28	3.04	0	3	6
2005	3.10	3.13	3.18	3.07	3.12	3.14	3	1	4
Avg.	3.02	3.08	3.13	3.01	3.06	3.11	2.0	1.9	1.1
SD							3.5	3.0	3.9

10%, 50%, 90%は、それぞれ10%, 50%, 90%の観測単位が満開に到達した日を示す。

2) 発育状態サブモデルの改良：図 1-2-2 に 50%開花日をもっとも良く予測したと推定されたパラメータセットを与えたときの、各モデルの残差平方和を示した。

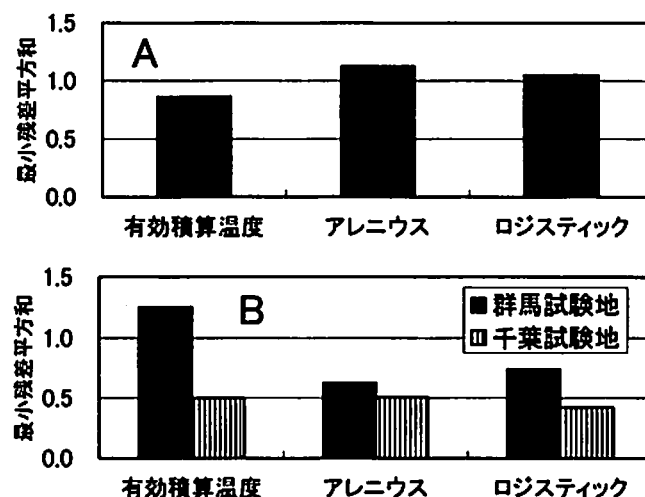


図1-2-2. 各モデルの最小残差平方和

A: 両試験地を混みにした場合

B: 試験地ごと独立に当てはめを行った場合

2 試験地を混みにした場合には (A)、有効積算温度モデルで最小残差平方和が最も小さく、差は小さいがアレニウスモデルで最も大きかった。しかし、試験地ごとに当てはめた場合には (B)、有効積算温度モデルでは群馬試験地の最小残差平方和が千葉試験地に比べて 2 倍以上大きく、予測精度が低いことが判る。それに比べて、他のモデルでは千葉試験地における値は有効積算温度モデルとほぼ同程度 (ロジスティックモデルが最小) であったのに対し、群馬試験地では値が半分ほどに低下した。群馬試験地での最小残差平方和は、アレニウスモデルで最も低かった。

エ 考 察

スギ雄花開花予測モデルの一部である発育状態サブモデルとして、これまで採用してきた有効積算温度モデル (一部改変) に換えてアレニウスモデルあるいはロジスティックモデルを適用することによって、とくに群馬試験地における開花実態の予測精度が向上した。したがって、今後はこれらのサブモデルを採用することにより関東地方における開花時期予測の精度を向上させることが可能になると考えられる。

では、これら 2 つのサブモデルの採用で群馬試験地における予測精度が向上したのは、どのような理由によるのであろうか？

まず指摘できるのは、当初採用した有効積算温度サブモデルは室内開花実験の結果に基づいてパラメータ設定しているのに対し、他の 2 モデルでは実測データへの当てはめから統計的にパラメータを設定していることである。有効積算温度モデルでは両試験地で同じパラメータを用いているが、他の 2 つのモデルではそれぞれの試験地に独立して推定している。すなわち、後 2 者では観測データによくフィットするようにパラメータを設定しているわけで、それを行っていない有効積算温度モデルより精度良く開花時期を説明するのは当然とも言える。しかしながら、有効積算温度モデルと他のサブモデルとの基本的な違いについて検討しておくことは、その精度向上を目指す上で有用

であると考える。

図 1-2-3 に 3 つの発育状態モデルの模式図を示した。有効積算温度モデルと他のサブモデルとの大きな違いは 0℃近辺における発育速度の予測値の違いである。この図から明らかなように、当初採用した有効積算モデルでも 0℃前後における補正を行っているが、それでも他の 2 つのモデルの方が 0℃近辺における発育速度が高いことが分かる。日平均気温が 2℃以下の日は千葉試験地では少なく、群馬試験地では比較的多い。例えば、2005 年の事例では、千葉試験地では 24 日であるのに対し、群馬試験地では 71 日であった。このことから、新たに検討したサブモデルで群馬試験地での予測精度が向上したのは、0℃近辺（以下）の日の発育速度の評価が改善されたことによるものと考えられる。

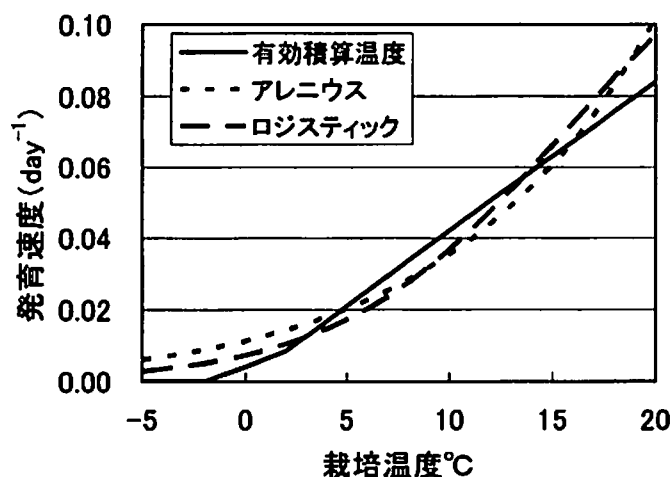


図 1-2-3. 各発育サブモデル式の模式図

なお、アレニウスモデル、ロジスティックモデルのパラメータは両試験地で異なった値を用いたときに実測値との誤差が最も小さくなった。また、両試験地のデータを込みにした場合の実測値との残差平方和は試験地ごとの場合よりもかなり大きかった。このことは、両試験地の開花特性に差があることを示唆している。今後、より寒冷または温暖な地域のパラメータ設定を行う際にこの点に注意する必要がある、それぞれの地域でパラメータを設定するためには野外での開花データが不可欠である。

オ 今後の問題点

今後、スギ花粉飛散予報の全国展開を目指すにあたって、スギ雄花開花予測の広域化が求められる。この研究で、発育過程を記述するモデルの改変を通して、ある程度の予測精度の向上が可能となったが、他の地域ではスギ雄花の開花特性が異なる可能性がある。そのため、パラメータ調整が不可欠になるが、その基礎データとしてより寒冷・温暖な地域での開花調査データが必要である。

カ 要 約

スギ雄花開花予測モデルの発育状態サブモデルとして採用可能な 3 つの発育モデル（有効積算温

度モデル、アレニウスモデル、ロジスティックモデル)を対象に、野外開花データへの適合性を残差平方和の大小により検討した。試験地ごとにパラメータ設定をした場合には、千葉試験地ではいずれのモデルも残差平方和はほぼ同程度であった。群馬試験地では有効積算温度モデルの残差平方和が千葉試験地より大幅に大きかったが、他の2モデルでは群馬試験地の残差平方和が有効積算温度モデルに比べて半減した。なお、後2者では両試験地でパラメータの推定値が異なったが、このことは温度に対する成長反応が試験地間で異なることを反映している可能性があると考えられた。

キ 引用文献

青野靖之・守屋千晶(2003)休眠解除を考慮したソメイヨシノの開花日推定モデルの一般化, 農業気象, 59, 165-177.

Hanninen, H. (1990) Modeling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. Acta Forest. Fennica, 213, 1-47.

Hanninen, H. (1995) Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modeling of bud burst phenology. Canadian Journal of Botany, 73, 183-199.

金指達郎(2003)都市への花粉飛散をおこすスギ林の同定に関する研究, スギ花粉症克服に向けた総合研究成果報告書(第Ⅱ期)

金指達郎・横山敏孝(2002)スギ雄花の休眠打破と開花に要する温度条件, 日本花粉学会誌, 48, 95-102.

Kanazashi, T. and Yokoyama, T. (2005) The effect of alternating temperature on the rest break process of male flowers of *Cryptomeria japonica* D. Don., Journal of Forest Research, 10, 493-496.

Sarvas, R. (1974) Investigations on the annual cycle of development of forest trees. II. Autumn dormancy and winter dormancy, Commun. Inst. For. Fenn., 84, 1-101.

杉浦俊彦・小野博幸・鴨田福也・朝倉利員・奥野隆・浅野聖子(1991)ニホンナシの自発休眠書き正規から開花期までの発育速度モデルについて, 農業気象, 46, 197-203.

(金指達郎)

(3) 自動花粉モニターによるスギ雄花開花観測の省力化の検討

ア 研究目的

前2節で述べてきたように、雄花開花予測手法は、関東地方の材料を用いた実験結果を基礎として構築したモデルであり、その精度の検証も関東地方の試験林での開花観測結果によった。スギ花粉飛散予報の全国展開を考える場合、今回改良された開花予測モデルが他の各地でも関東地方と同程度の精度で雄花の開花状態を予測できるか、が大きな問題となる。そのためには、精度の検証と改良のために、本章第1節のような開花モニタリングデータが各地で実施されることが不可欠になる。しかし、本研究の開花モニタリングには多大な労力を要している。そのため、機械化などにより多少精度を犠牲にしてもモニタリングが省力化できれば、各地でのデータ取得に大きな効果が

あると予想される。

この節では、リアルタイム自動花粉モニター(KH-3000)を試験地内に設置して花粉飛散を観測し、第1節の観測データと照合し、この機器のデータで、現地での開花状態、とくに開花初期をよく捉えられるかを検討した。

なお、このプロジェクト研究予算ではKH-3000の購入は困難だったため、群馬試験地では日本気象協会、千葉試験地ではNPO花粉情報協会所有の機器を使用させていただいた。機器の使用を快諾していただいた両組織に謝意を表する。

イ 研究方法

KH-3000は、大和製作所製で、毎分4.1lの大気を吸引し、半導体レーザによる前方および側方散乱光を検知することによって28-35 μ mの粒径(スギ花粉の粒径に対応する)の粒子だけをカウントして体積あたりの花粉濃度を計測する装置である。

群馬試験地ではKH-3000を試験地に隣接するスギ採種園内に設置した(吸引口の地上高:1.3m)。林内に設置することで林外から飛来する花粉の影響を排除できるほど林内の花粉濃度が高くなることによって、開花初期を明瞭に捉えられる可能性を検討することを目的とした。KH-3000による観測は2004、2005年に実施した。

一方、千葉試験地では、試験地(スギ採種園)から約50m離れた庁舎(2階建て)の屋上にKH-3000を設置した(吸引口の地上高:7.5m)。林内に設置するとその近傍の個体の影響が非常に強くなり、その数個体の開花時期だけを鋭敏に検知してしまう可能性がある。多少離れた場所で観測することによって、この可能性を排除して試験地全体の傾向を把握することを目的とした。KH-3000による観測は2004、2005年に実施した。

両試験地とも、本章第1節の雄花開花モニタリングのデータと比較対照した。林内に機器を設置した群馬試験地では、機器周辺の個体の開花調査も実施した。

ウ 結果

群馬試験地におけるKH-3000による測定結果(平均花粉濃度)と開花調査結果(累積開花曲線)の関係を図1-3-1に示した。雄花の着生が少なかった2004年では、約10%の個体(観測単位)が満開に達した3月12、13日に、KH-3000観測値は顕著なピークを示した。しかし、その後これらに匹敵するピークは3回だけしか現れなかった。また、図には示していないが、雄花が開花していない2月中にも数回これらと匹敵するピークが現れた。一方、豊作だった2005年には満開になった観測単位が3%未満のうちに花粉モニターではやや小さなピークを観測した。その後は、KH-3000観測値は概ね開花調査結果に対応して推移した。なお、2005年の花粉濃度の最高値は2004年の20倍以上に達した。

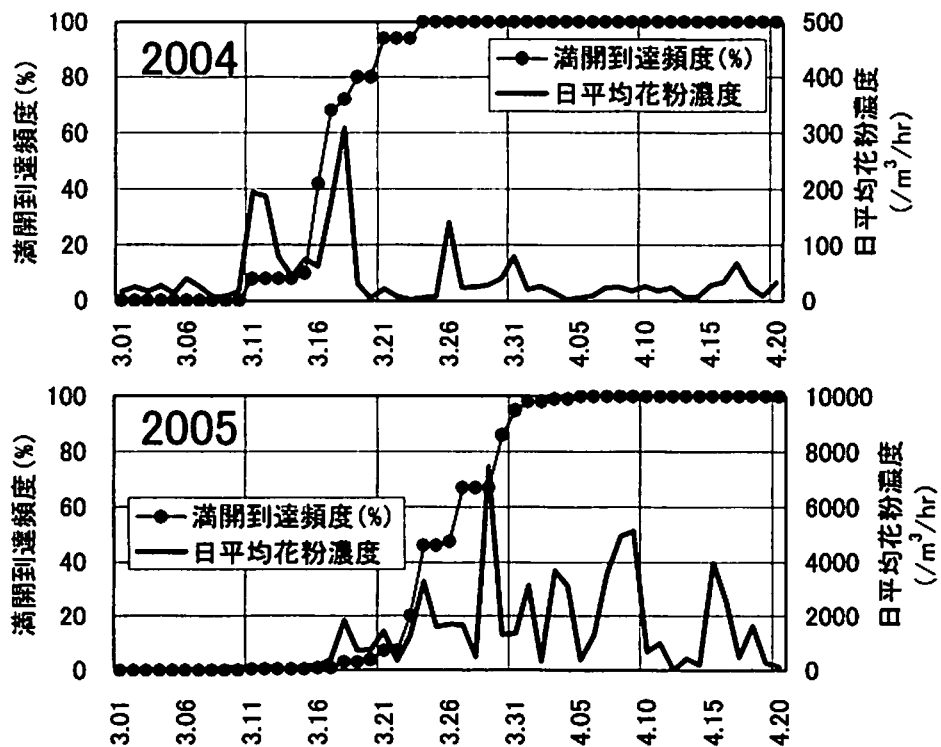


図 1-3-1. 群馬試験地における開花調査結果と KH-3000 による測定結果

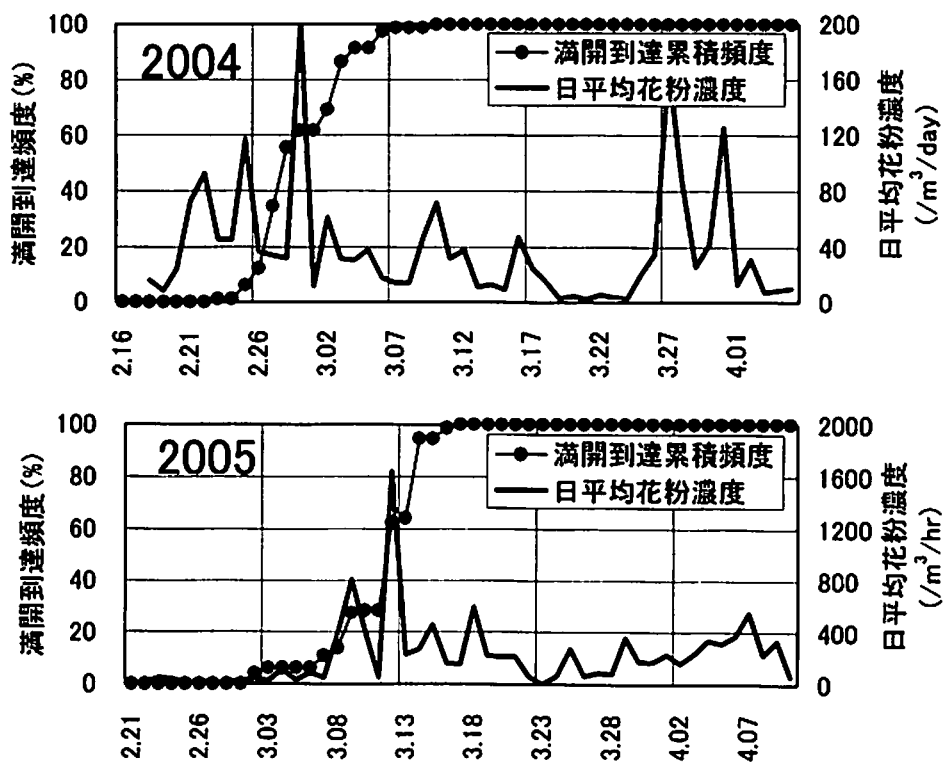


図 1-3-2. 千葉試験地における開花調査結果と KH-3000 による測定結果

千葉試験地における KH-3000 による測定結果と開花調査結果の関係を図 1-3-2 に示した。2004 年には雄花が開花に至る数日前から KH-3000 観測値は数回の小ピークを記録したが、2005 年には開花調査結果に概ね対応して推移した。

エ 考 察

群馬試験地では、2004 年には KH-3000 は開花初期を鋭敏なピークとして捉えることができたが、これに匹敵するピークは以後 3 回しか現れなかった。KH-3000 設置場所のすぐ隣にはこの試験地で例年開花の早いクローン（勢多 2 号）が植栽されているが、この年は試験地全体の雄花着生量が非常に少なかったため、この時期にはほとんどこの個体の花粉のみを捉えた可能性が高い。同様に以後のピークも近隣の開花個体の花粉をモニターした可能性がある。このように、雄花量が少ない年には、近隣の個体の影響が顕著となり、全体の開花状況を反映した推移を得ることは困難と考えられる。さらに、この機器は粒径のみで花粉を識別するので、強風時等には花粉以外の微粒子を計測することが指摘されている。2 月中のピークはこうしたものであると考えられる。

2005 年には開花初期のピークは、2004 年と同じ理由で、試験地全体の動向に比べて過大であると考えられるものの、開花期全体の推移は概ね開花調査結果と合致した。また、KH-3000 の観測値は 2004 年に比べて格段に高く、花粉以外の微粒子によると思われる異常値の影響もおおむね無視できると見なせる。このように、豊作年においては、近隣の個体の影響は残るものの、その林分の開花状況はある程度の精度で把握することは可能であると考えられる。

千葉試験地では、2004 年には雄花が開花する前にピークが観測された。しかしピークの値そのものが低く、これが花粉以外の微粒子による異常値なのか試験地外からの花粉を捉えたのかは不明である。一方、豊作年の 2005 年には KH-3000 の観測値は開花調査結果と良く対応した。少し試験地から離れた場所に機器を設置したことによって群馬試験地のように近隣の個体の影響を受けなかったためであると考えられる。しかし、豊作年であっても林内に機器を設置した群馬試験地に比べて花粉濃度が低いため、開花初期のデータ（3 月 5 日前後）については、花粉以外の微粒子による異常値が群馬試験地と同程度であると仮定すると、その信頼性は高いとはいえない。また、対象林分と機器設置場所との位置関係によっては、風向の影響でほとんど遠方からの花粉を捉えてしまう可能性もあるので、設置場所には注意が必要だろう。

いずれにせよ、花粉モニターを林内に設置しても離れた場所に設置しても、開花調査と同程度の精度で開花時期を花粉モニターで把握することは不作年には困難であると考えざるを得ない。

オ 今後の問題点

1 林分内に複数台の機器を用いれば開花状況の推移を正確にモニターできる可能性があるが、費用対効果の面で問題が残る。

カ 要 約

開花調査の自動計測の可能性を検討するために、試験地内、またはその近辺にリアルタイム花粉モニター（KH-3000）を設置し、その観測結果を上記の開花調査結果と比較した。雄花量の少ない年

には、モニターを林内に設置した場合には、全体の開花動向を反映せず機器周辺に開花の早い個体があるとそれに大きく左右されてしまうこと、離れた場所に設置した場合には、花粉以外の微粒子や遠方から飛来した花粉を区別できないことが明らかになった。

キ 引用文献

な し

(金指達郎)

2. 花粉生産を抑制する林分密度管理技術の開発

ア 研究目的

スギ花粉症患者の増加の一因はスギ、ヒノキ花粉の大気中の飛散量の増加にある。花粉増加の理由はいくつかあるが、花粉を生産する成熟したスギ、ヒノキ林の面積が増えたことはその一つである。林業の不況でスギ、ヒノキの皆伐（一定範囲の大半の木を一度に伐採すること）量は以前に比べて減っており、第二次世界大戦後に植えられた林が成熟するにしたがい、花粉を生産する林の面積は増える一方となっている。関東の場合、皆伐が行われないと花粉発生源となるスギ人工林の面積は20年後までに約25%増加すると試算されている（家原 2000）。

スギ、ヒノキ林は現在、国土面積の約2割をおおう。スギもヒノキも個体は100年以上生きるもので、伐らなければ花粉を長く生産し続ける。花粉症対策には、発症予防や症状軽減の医療とともに、現存するスギ、ヒノキ林の花粉生産を抑制する適切な管理が必要である。現存するスギ、ヒノキ林の花粉量を減らす手段として、薬剤を用いる方法（例えば、長尾ら 2005）、間伐（林木の一部を間引きし、残された木の成長を助ける林業の作業）や枝打ち（枯枝や成長の悪い下枝を切り落として節や節穴の少ない木を育てる林業の作業）による方法、そして、樹種転換による方法（例えば、<http://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.jp/norin/kafun/seibi/seibi.html>

）がある（清野ら 2002）。林野庁はスギ、ヒノキ林に対する花粉生産抑制の方策ともなる間伐や雄花の着生量の多い個体を狙い伐りする抜き伐り（林木の一部を伐採すること）や枝おろし（下枝を切り落とすこと）を行っている。しかし、スギ、ヒノキは遺伝的な性質が多様である可能性があり、森林の環境も場所によってさまざまである。また、間伐や枝打ちはもともと木材生産のための手段であり、これを花粉抑制目的に行ったときにどれくらいの効果を期待できるのか必ずしも分かっていたなかったので、間伐や枝打ちの効果をj知るためのモデルによる予測（清野 2000）や間伐試験（林野庁 2000；清野ら 2003）を行ってきた。しかし、間伐がその翌年以降の雄花量に及ぼす影響について明確な結論は得られていない。

このため、文部科学省プロジェクトで開始した間伐試験の継続を主眼に、本交付金プロジェクト課題に取り組んでデータを集積した。得られたデータをもとに雄花量の要因を分析し、間伐影響の推定精度の向上を図るとともに、花粉抑制のための間伐の留意点を示した。

試験林の設定、維持管理にご協力を頂いた京都大阪森林管理事務所、熊本森林管理署、東京分局（現前橋森林管理局）茨城森林管理署、森林技術センターの関係各位、ならびに野外調査と試料調整にご助力を頂いた各位に厚くお礼申し上げる。

イ 研究方法

1) 林分構造と雄花量の計測

2000年9～11月に間伐試験地を茨城県笠間市（茨城森林管理署 224 林班と小班）、京都府宇治市（京都大阪森林管理事務所 30 林班は小班）、熊本県玉東町（熊本森林管理署 155 林班い1小班）の26～29年生スギ人工林（表-1、清野ら 2003 改変）に設定した。茨城では超強度間伐（本数間伐率69%、以下同じ）、強度間伐（52%）、通常間伐（13%）、無間伐（0%）の4つの処理区を設けた。京都でも同様の4処理区（68、50、26、0%）を設けた。熊本では間伐は強度間伐（39%）と無間伐（0%）の2処理区とした。茨城の林は実生苗の植栽林である。京都の林は挿し木苗の植栽林で、品種は分からないが針葉形態の異なる複数の系統が混生している。熊本の林も挿し木林（品種不明）である。

表 2-1. 間伐試験林の位置と立地環境条件（清野ら、2003 を改変）

試験林	標高 m	気候帯	土壌母材	土壌型	年平均気温* ℃	年降水量* mm
茨城	240-260	暖帯	古生層	B _D	12.2	1326.0
京都	260-280	暖帯	古生層	B _D	14.3	1545.4
熊本	500-510	暖帯	安山岩	B _D	13.9	1992.7

*1971～2000年の平年値(気象庁2002)。気温は遞減率を0.55℃/100mとし最寄りの気象台の値で推定。降水量は気象台の値をそのまま用いた。



図 2-1. 28 年生スギ人工林間伐試験地 (茨城県) (上：無間伐区、下：強度間伐区)
 無間伐区：Ry0.92、立木本数 2871 本 ha⁻¹、平均胸高直径 16.6cm、平均樹高 14.4m
 強度間伐区：Ry0.74、1358 本 ha⁻¹、平均胸高直径 17.5cm、平均樹高 14.8m

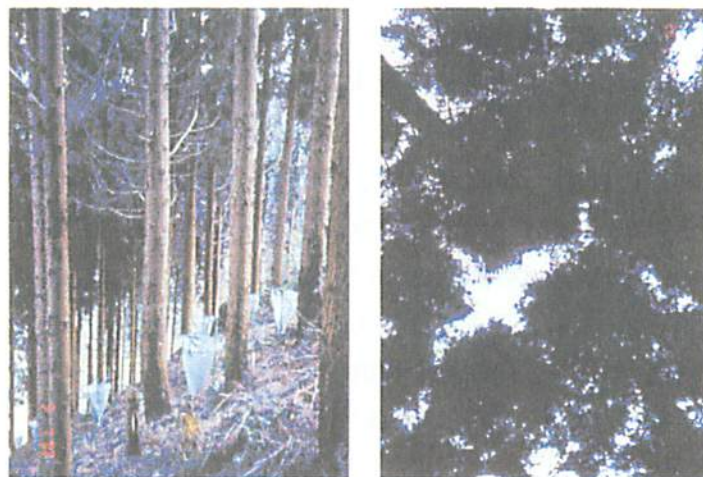


図 2-2. 28 年生スギ人工林間伐試験地 (京都府) (左：無間伐区の林内、右：同、林冠)

Ry0.79、立木本数 2123 本 ha^{-1} 、平均胸高直径 19.0cm、平均樹高 14.1m



図 2-3. 32 年生スギ人工林間伐試験地（熊本県）（左：無間伐区、右：間伐区）

無間伐区：Ry0.92、立木本数 2270 本 ha^{-1} 、平均胸高直径 20.5cm、平均樹高 18.1m

間伐区：Ry0.71、立木本数 1140 本 ha^{-1} 、平均胸高直径 20.6cm、平均樹高 15.3m

間伐前に処理区内の個体の胸高直径を直径巻尺で毎木調査した。間伐は下層間伐とし、処理区ごとに胸高直径の頻度分布にあわせ、また、立木位置がなるべく片寄らないように間伐木を選び、2000 年 11 月～2001 年 2 月の間に実行した。胸高直径の頻度分布に合わせて処理区ごとに 10 個体のサンプル木を選び、雄花の有無を双眼鏡で確かめた。また、樹高をレーザー距離計（Impulse 200）で測った。林分の相対的な混み具合を表す収量比数 Ry（日本林業技術協会 1999）を間伐前、後について算出した。

間伐後は年 1 回（2001 年 11 月～2002 年 2 月、2002 年 12 月～2003 年 3 月、2003 年 11 月～2004 年 2 月、2004 年 12 月～2005 年 2 月）の割合で胸高直径と着生する雄花の有無を毎木調査した（ただし、熊本の 2001 年 12 月の観察は各測定区 10 個体のみとした）。雄花の着生が認められた個体については、2002 年 12 月～2003 年 3 月までは横山ら（2001）の方法に準じ、陽樹冠を構成する全ての一次枝に雄花が密に着生するか、陽樹冠を構成する全ての一次枝に雄花が着生するが疎らであるか、陽樹冠を構成する一部の一次枝に雄花が着生するかのいずれかに判別した。2003 年 11 月～2004 年 2 月以降は雄花の有無のみを判別した。また、各測定区 10 個体の樹高を計測した。ただし、京都の樹高は 2003 年 11 月～2004 年 2 月以降は欠測したため、それ以前の樹高成長経過を外挿して推定

した。

2002 年 1～3 月に受口面積 0.1288 m²の雄花トラップを各処理区に 20 個設置し、落下してくる雄花を夏までに 2、3 回に分けて収集した。この調査を 2005 年夏まで 4 シーズン継続した。収集した雄花は実験室で調整したのち、熱風乾燥機を用いて 85℃で数日間乾燥させ、重量を測った（これを絶乾重とした）。花粉が飛散した後の雄花重は飛散した花粉重にほぼ等しい（齋藤、1987）と見られるので、落下雄花重を 2 倍した値を雄花量とした。

2) 林分雄花量の要因分析と予測

林分雄花量の要因の中には、気象条件のように条件を人為的に制御するのが殆ど不可能なものがある。また、スギの遺伝的性質や樹齢は改植などで制御できるが時間がかかる。これに対して、本数密度は植栽本数の選択や計画的な除間伐により調節できるので、花粉抑制の短期的対策の一つになる可能性がある。

間伐試験林のデータにもとづいて林分雄花量の要因を分析し、気象と遺伝的性質、密度管理の影響を比較した。また、3 者を説明変数に林分雄花量を推定する重回帰式を作成した。

スギ人工林の施業体系の例や全国スギ人工林の林分構造データを文献等により収集した。林分雄花量の推定式を予測式として用い、植栽本数や間伐計画、気象の年次変化などをパラメータに花粉生産を予測するモデルを作成するとともに、同モデルを用い、主要な施業体系について雄花量の年次変化と伐期平均雄花量を予測した。

ウ 結果

1) 林分構造と雄花量の経年変化

下層間伐で主として劣勢木が間伐された結果、いずれの間伐区も間伐前と比べて間伐後は平均胸高直径が大きくなり、平均樹高もやや高くなった（表 2-2）。茨城の 4 処理区は、Ry では間伐前は 0.90～0.77 の狭い範囲にあったが、間伐直後は無間伐区の 0.89 から超強度間伐区の 0.42 まで差が広がった。間伐直後の Ry は京都の 4 処理区でも 0.80～0.39 の差がある。熊本は 0.92 と 0.71 である。本数密度は Ry にほぼ正比例して減少した（図 2-4）。間伐後 4 年間に多くの区で枯死木が発生し、Ry は微増した。しかし、超強度間伐区などでは枯死木がまだ現れていない。

表 2-2. 間伐試験林の諸数値（清野ら 2003 に加筆）

試験林 林齢	間伐 処理	測定区 面積 m ²	間伐直前2000				間伐直後2000			
			Ry	個体数 密度 trees ha ⁻¹	平均 直径 cm	平均 樹高 m	Ry	個体数 密度 trees ha ⁻¹	平均 直径 cm	平均 樹高 m
茨城 26年	無間伐	213	0.91	2965	16.0	14.0	0.91	2965	16.0	14.0
	通常間伐	321	0.83	2552	15.6	12.0	0.79	2210	15.7	12.1
	強度間伐	221	0.92	2897	16.3	14.3	0.74	1403	16.7	14.4
	超強度間伐	202	0.82	1933	17.3	14.0	0.50	595	18.6	14.5
京都 27年	無間伐	297	0.80	2123	18.8	14.3	0.80	2123	18.8	14.3
	通常間伐	406	0.75	1725	20.4	15.0	0.68	1281	22.6	15.9
	強度間伐	452	0.77	1857	20.0	14.8	0.57	928	22.5	16.0
	超強度間伐	381	0.77	1917	19.5	14.3	0.39	604	21.2	14.5
熊本 29年	無間伐	273	0.92	2307	19.3	15.8	0.92	2307	19.3	15.8
	強度間伐	237	0.84	1943	18.3	13.9	0.71	1183	18.4	14.0

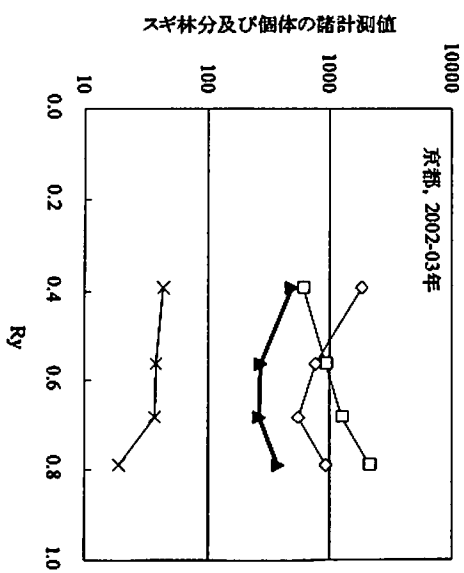
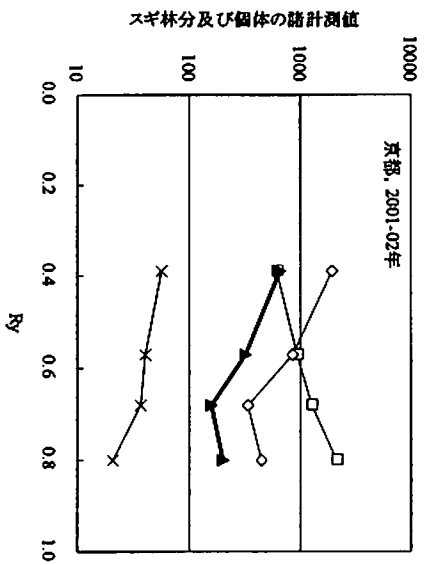
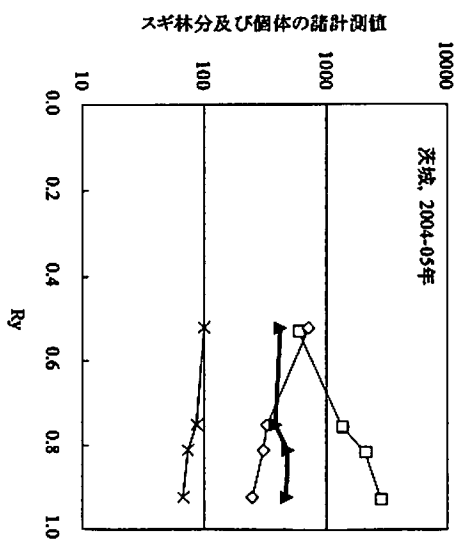
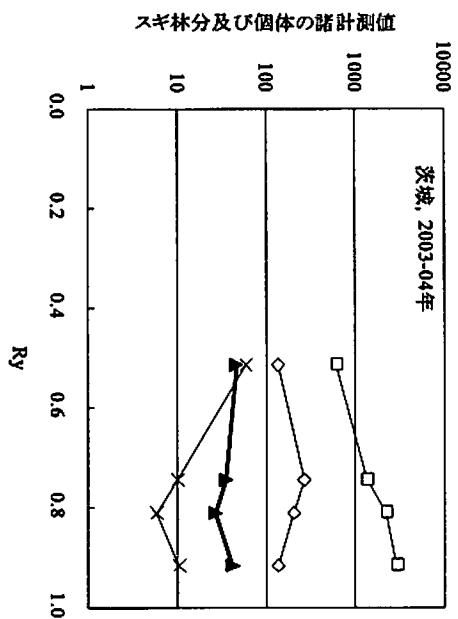
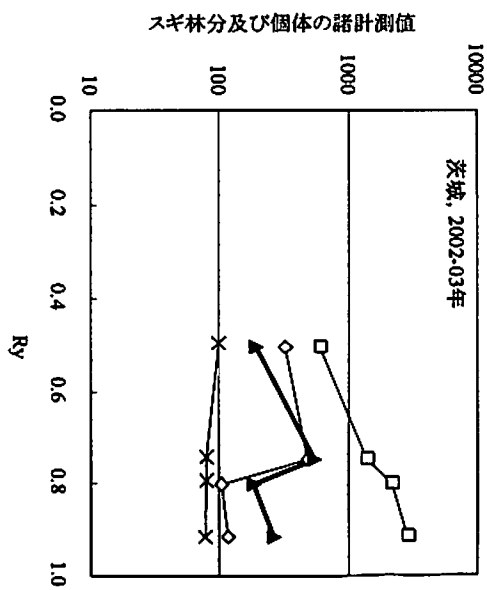
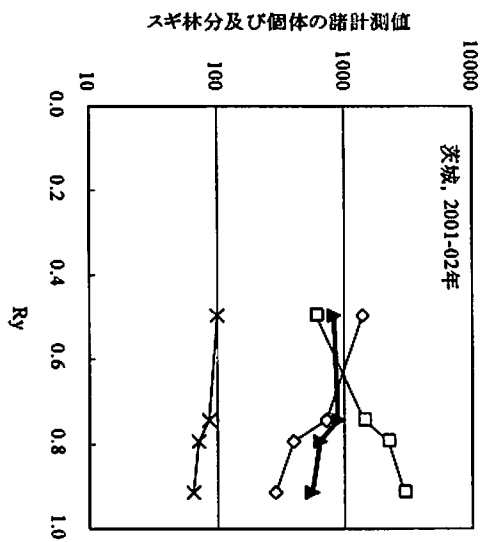
間伐1年後2001-02				間伐2年後2002-03				間伐3年後2003-04				間伐4年後2004-05			
Ry	個体数 密度	平均 直径	平均 樹高	Ry	個体数 密度	平均 直径	平均 樹高	Ry	個体数 密度	平均 直径	平均 樹高	Ry	個体数 密度	平均 直径	平均 樹高
	trees ha ⁻¹	cm	m		trees ha ⁻¹	cm	m		trees ha ⁻¹	cm	m		trees ha ⁻¹	cm	m
0.92	2918	16.2	14.2	0.92	2871	16.6	14.4	0.92	2871	16.9	14.7	0.93	2871	17.0	14.9
0.80	2210	15.9	12.3	0.81	2210	16.2	12.6	0.81	2147	16.5	12.9	0.82	2116	16.9	13.2
0.75	1403	17.0	14.6	0.74	1358	17.5	14.8	0.75	1358	17.8	15.0	0.76	1358	18.1	15.2
0.51	595	18.9	14.8	0.51	595	19.3	15.1	0.52	595	19.7	15.4	0.53	595	20.0	15.7
0.79	2123	19.0	14.1	0.76	1954	20.0	14.0	0.76	1954	20.5	14.1	0.75	1888	20.8	14.1
0.68	1281	23.0	16.1	0.69	1281	24.0	16.2	0.68	1281	24.5	16.1	0.68	1281	24.9	16.1
0.56	928	22.9	15.7	0.56	928	24.1	15.5	0.56	928	24.8	15.7	0.56	928	25.4	15.7
0.39	604	21.7	14.5	0.39	604	22.9	14.5	0.39	604	24.8	14.5	0.39	604	25.7	14.5
0.92	2270	20.0	17.0	0.94	2270	20.3	18.2	0.94	2270	20.5	18.1	0.92	2087	21.3	17.9
0.71	1183	19.4	15.0	0.73	1140	20.1	16.1	0.71	1140	20.6	15.3	0.71	1140	21.1	15.2

間伐1年後2001-02				間伐2年後2002-03				間伐3年後2003-04				間伐4年後2004-05			
雄花着生 個体数比	着生個体 密度	個体 密度	林分	雄花着生 個体数比	着生個体 密度	個体 密度	林分	雄花着生 個体数比	着生個体 密度	個体 密度	林分	雄花着生 個体数比	着生個体 密度	個体 密度	林分
%	g tree ⁻¹	g tree ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	g tree ⁻¹	g tree ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	g tree ⁻¹	g tree ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	g tree ⁻¹	g tree ⁻¹	kg ha ⁻¹
66	285	187	553	78	117	91	265	11	134	14	40	67	490	328	942
73	391	284	627	80	105	84	185	6	201	12	26	74	609	451	968
87	721	625	877	80	486	389	545	10	258	26	35	87	643	560	760
100	1390	1390	827	100	321	321	191	58	132	77	46	100	1412	1412	840
21	447	94	199	19	931	176	375	9	34	3	6	36	677	244	476
37	337	123	158	37	559	204	262	15	13	2	3	69	421	291	372
40	850	344	320	38	769	293	272	38	31	12	11	79	1353	1069	992
57	1928	1090	658	43	1863	810	489	48	50	24	14	83	3030	2515	1519
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

調査地のスギ雄花は年にもよるが 2～3 月頃に花粉を飛散し、大半は春のうちに落下する。2002 年の京都と茨城で、それぞれ 7 月 30 日、8 月 20 日までに落下した雄花のうち、9 割以上は 5 月末までに落下した。花粉を飛散した雄花で夏以降も落下せず樹上にとどまるものの量はわずかと考えられる。なお、熊本は観察期間中ずっと雄花生産が認められなかった。

間伐翌年（2001-02 年）の林分雄花量は無処理区や通常間伐区で少なく、強度や超強度間伐区では多かった（図 2-4）。Ry の範囲全体としては、林分雄花量は Ry とおおむね負の比例関係にあったが、通常間伐による Ry の変化範囲では無処理と比べて茨城の林ではやや増加、京都の林ではやや減少していた。すなわち、Ry の高い範囲（およそ 0.7 以上）では、Ry が変化しても林分雄花量に変化があるとは言えなかった。

間伐翌々年（2002-03 年）の雄花量は、京都は前年と同程度であったが、茨城は前年の半分以下となった。茨城では 2002 年 7 月の月平均気温が前年より 0.8 度低く（図 2-3）、雄花が分化しにくかったのかも知れない。2003 年 7 月は全国的な冷夏となり、2004 年春の雄花着生個体数比は概して小さく、林分雄花量は少なかった。2005 年までの 4 シーズンのデータ全体で検討すると、京都の 2002-03 年と 2003-04 年はあまり明瞭でなかったが、それ以外では間伐翌年とおおむね同じ傾向が間伐後 4 年まで続いた（図 2-4）。しかし、茨城では Ry が低いときに雄花量が減る年もあり、Ry が低いと雄花量が常に多いとは限らなかった。このように茨城では Ry と雄花量の間に明瞭な関係がないため、強い間伐も含めて間伐が雄花量を増やすとも、減らすとも言えない。京都では、通常強度の間伐による Ry 変化では雄花を減らす、それ以上の Ry の減少は雄花を増やす可能性があり、この傾向は間伐後 1 年目（清野ら 2003）から同じであった。



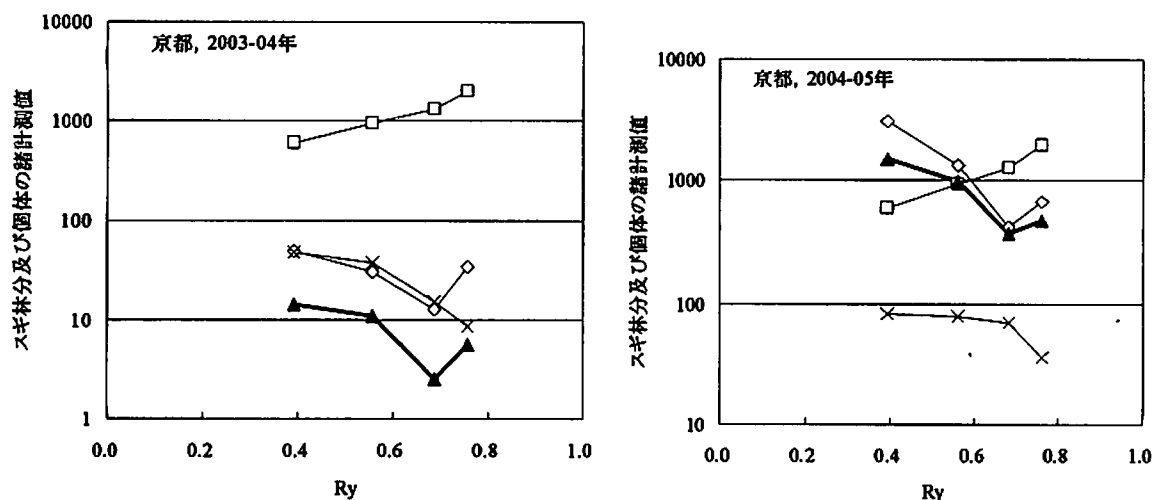


図 2-4. 収量比数 (R_y) とスギ人工林及び個体の諸計測値との関係 (清野ら 2003 にデータを追加)
 □ 個体数密度 (trees ha^{-1})、◇ 雄花着生個体当たり雄花量 (g tree^{-1})、▲ 林分雄花量 (kg ha^{-1})、
 × 雄花着生個体数比 (%)

茨城と京都で傾向が異なる理由を検討するため、林分雄花量を個体数密度と雄花着生個体数比、雄花着生個体当たり雄花量に分解した。まず、雄花着生個体数比が R_y が低いほど高くなる傾向は、茨城の 2003-04 年の 1 例を除いて茨城と京都、また、年次を問わず共通であった (図 2-4)。雄花着生個体数比は茨城では不作年 (2003-04 年) を除いて京都より高かった。

雄花着生個体当たり雄花量 (林分当たり雄花量を雄花着生個体数密度で除した値) は、間伐翌年 (2002 年) は間伐が強度あるいは超強度の区では増加した。すなわち、京都では無間伐区と通常間伐区では比較的小さく、強度間伐区はその約 2 倍、超強度間伐区では約 4 倍であった (図 2-4)。茨城も同様で、強度間伐区は約 2 倍、超強度間伐区では約 5 倍であった。樹冠の全周囲を疎開された個体 (茨城では強度と超強度間伐区の 7 個体、京都では同じく 4 個体) のうち、茨城の 5 個体は間伐 1 年後に最下一次枝 (間伐直前は日当たりが悪く、雄花を着生していなかった枝である) まで雄花を着生した。これは、間伐によって日当たりが良くなった樹冠に雄花が着生したことを示しており、少なくとも茨城では雄花着生個体当たり雄花量の増加に、雄花が着生する樹冠表面積の増加が貢献していると考えられる。

雄花着生個体当たり雄花量の各年の傾向を比較すると、2001-02 年、2004-05 年は R_y とおおむね負の比例関係にあるが、2002-03 年と 2003-04 年はそうした傾向が見られなかった。こうした雄花着生個体当たりの雄花量の年による違いが、林分雄花量の年次変化の傾向に強く反映しているようである。雄花着生個体当たりの雄花量と R_y との関係が年次によって異なることについて、考えられる説明の一つは、雄花の着生履歴の影響が及んでいることである。繁殖成長には栄養条件も関係する (浅川・長尾 1966)。着花個体は対照個体と比べ翌年の重量成長が減り、着花量が減少することが強制着花実験で確かめられている (清野ら 2005)。茨城の林の超強度間伐区は、間伐により全個体が雄花着生し、雄花着生個体当たりの雄花量は間伐翌年に 1390g であったが、2 年目は 321g に激

減した（表 2-2）。そのような顕著な減少は他の区では見られない。このように、京都と異なり、茨城では超強度の間伐によって多量の雄花着生を促された個体が、翌年は着花量を増加できなかった可能性が考えられるが、この推論は個体レベルの栄養成長分析などを通して当否を明らかにする必要がある。

2) 林分雄花量の要因とその指標

・林分密度の影響の指標

本数密度は分かりやすい指標であるが、個体サイズの情報を含まないため、光合成を行う葉や、雄花が着生する日当たりの良い樹冠の林分当たりの量を現すには不十分である。林木の相対的な混み具合を表す指標に相対幹距や R_y などがある。これらは林分当たりの幹の量を用いる指標である。スギ雄花は日当たりの良い樹冠の表面に着生するので、樹冠の相対的な混み具合を表す値（例えば、 a^* （清野 1990））が望ましい。しかし、必要なパラメータが増える難点がある。幹量を変えず樹冠量を変える枝打ちのような取り扱いが行われていない林に限定すれば、幹量にもとづく値でも樹冠量の指標になるので、ここでは R_y を本数密度影響の指標として用いることとする。

・気象影響の指標

スギは開花生理が比較的良好に調べられている樹種で、高温、乾燥、日照時間の増加、過湿、幹の傷などがいずれも引き金になって開花が促進される（浅川 1994）。野外個体の雄花分化は7月の梅雨明け頃の気象に強く影響され、高温、乾燥、日照時間が長いと促進される。3つの試験林のスギに過湿や幹の傷などの原因は該当しないので、気象条件が引き金である可能性が高い。高温、乾燥、日照時間の増加は互いに相関があり、7月に晴れの日が多いと三つの値はいずれもスギの雄花分化を促進する方向に協働すると考えられる。このため、ここでは7月の月平均気温（図 2-5）のみを指標として取り上げる。

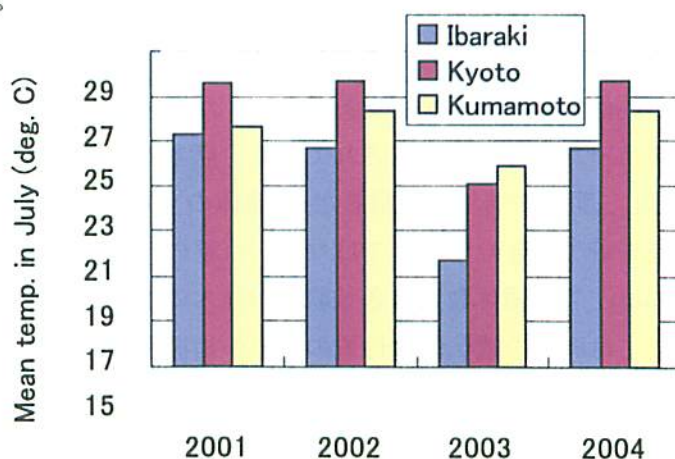


図 2-5. 試験林の7月平均気温

気温逓減率を $0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ とし最寄りの気象観測点（笠間、京都、熊本）の値から推定した。

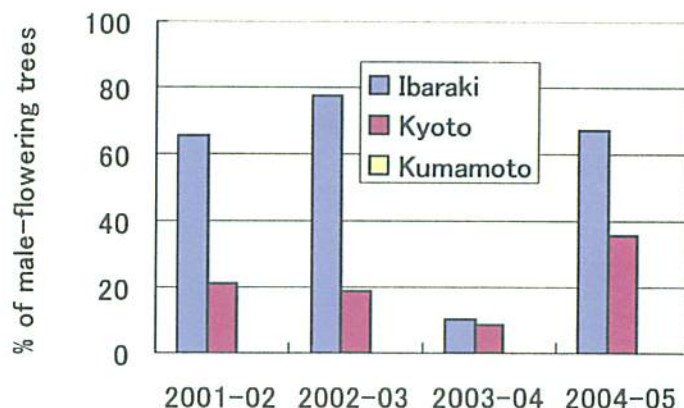


図 2-6. 無間伐区の雄花着生個体数比の経年変化

・ 遺伝的性質の影響の指標

スギの雄花着生には個体の遺伝的性質（植月ら 1997）も関係する。3つの試験林の無間伐区について雄花着生の違いを比較したところ、茨城の林では2003～2004年を除いて過半数の個体が雄花を着生した（図 2-6）。京都の試験林では、雄花着生個体数比の年変動のパターンは茨城県と同様であったが、雄花着生個体は半数に満たなかった（図 2-6）。熊本の試験林の個体は観察期間中、雄花を着生しなかった（図 2-6）。茨城と京都の試験林の無間伐区では雄花着生個体数比の年変化のパターン（図 2-6）が、前年7月の平均気温の年変化パターン（図 2-5）と対応していた。熊本では、その7月の平均気温が2003年を除いては茨城と京都の値の中間にあり、また、樹齢は、2、3年とは言えより高齢で、 R_y など他の条件にも大差はない（京都は無間伐林でも R_y が 0.8 と他よりやや低い。他地域と同程度の R_y 0.9 の林では雄花着生個体数比がより小さい可能性もある。ただ、茨城では R_y 0.8-0.9 の間で雄花着生個体数比は大差なく、熊本も個体数比は 0 で差はない。このため、無間伐林分の R_y の地域間差の影響は小さいと考えられる）（表 2-2）にもかかわらず、雄花を着生する個体はなかった。このように無間伐林分の雄花着生の状態が試験林によって異なるのは、各林分を構成するスギ個体の遺伝的性質が異なるからであろう。すなわち、茨城の試験林は雄花を比較的着生しやすい遺伝的性質を持った個体から構成されており、熊本の試験林は最も着生しにくい性質を持つ林木からなり（ただし、間伐の前年に観察した20個体のうち2個体が雄花を着生したので、熊本の試験林の個体も雄花を着生できないわけではない）、京都の試験林の個体の状態は両者の中間にあると考えられる。この雄花着生個体数比は各試験林の林木の雄花着生の遺伝的難易を表していると考えられるので、以下では同比を遺伝的な性質の違いの指標として用いることとする。

・ 他の要因の影響

林齢の影響について、ごく早熟な系統は別として若いスギは雄花を殆ど着生しないが、近畿地方で林齢の異なるスギ人工林の雄花量を比較した齋藤（1995）は、45年頃まで増加し、その後は600年頃まで変わらないとしている。同様の方法で関東地方の人工林を調べた横山（2002）は20数年の林から70年頃まで変わらないとしている。収量比数と雄花量の関係を示した林野庁（2001）の図 7

を見ると、雄花量は林齢 26 年から 61 年以上の範囲では齢級とともに増加する傾向がある。以上のいずれの例も、林齢に沿って序列した林分間で密度管理やスギの遺伝的性質が異なる可能性があるため、これらの傾向は樹齢だけの効果を表したものではないかも知れない。また、雄花量には着花履歴(清野ら 2005)、胸高直径や表層地質(林野庁 2005)なども影響している可能性がある。ただ、本研究の間伐試験林では胸高直径、林齢が試験林間で比較的近い値であること、また、他の条件についてはデータが得られないため、以下ではそれらの影響を無視することとした。

3) ファクタリングアウト

のべ 40 点(茨城と京都各 16、熊本 8)の観測データを用い、林分密度、気象、遺伝的性質の各指標として選んだ R_y 、前年 7 月平均気温、無間伐林の平均雄花着生木比を説明変数とし、林分雄花量を従属変数とする重回帰式を作成した。

$$MFP = -2.326 - 0.425 R_y + 0.104 MTLJ + 0.0120 MFR \quad (R^2 = 0.571) \quad (1)$$

ただし、MFP: 林分雄花量 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$)、 R_y : 収量比数、MTLJ: 前年 7 月の月平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)、MFR: 無間伐林の雄花着生個体数比 (2001-05 年平均)。

前年 7 月平均気温 ($P < 0.001$)、無間伐林の平均雄花着生個体数比 ($P < 0.001$) の影響はいずれも著しく有意であった。 R_y ($P = 0.109$) は有意でなかったが、 R_y を説明変数から外すと (1) 式の自由度調整済み寄与率が 0.535 から 0.513 に減少したので、 R_y は重回帰式を予測モデルとして使用するとき予測精度の向上に貢献すると考えられる。また、 R_y は人為的にコントロールし易い要因であるので残すこととした。(1) 式は、これを林分雄花量の予測モデルとして用いるとき、 R_y : 0.39-0.92、前年 7 月平均気温: $19.7\text{--}27.6^{\circ}\text{C}$ 、無間伐林の平均雄花着生木比: 0-55% の範囲に適用し、その林分雄花量を 57.1% の精度で予測する。3 者の相関は比較的低い ($-0.423 < r < 0.042$) ので、雄花生産に及ぼす各要因の影響を大よそ比較することができる。気象条件や遺伝的性質はその観測範囲内の変化によって林分雄花量が最大 $0.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 程度変化する(図 2-7 上、中)のに対して、 R_y による変化量は最大でも $0.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ 程度と小さかった(図 2-7 下)。

なお、気象条件と遺伝的条件を一定にしたとき、雄花量は R_y と負の比例関係で近似されている。 R_y をより幅広く取ると雄花量は R_y に対して上に凸の関係にあると予想される(清野 2000; 林野庁 2000) が、本研究でのモデルで取り上げた高めの R_y 範囲 (0.39-0.92) では、林分雄花量は R_y と負の比例関係で近似できると考えられる。したがって、この R_y 範囲内では、雄花量を少なめに管理するには R_y を高めに維持するのが良いことになる。

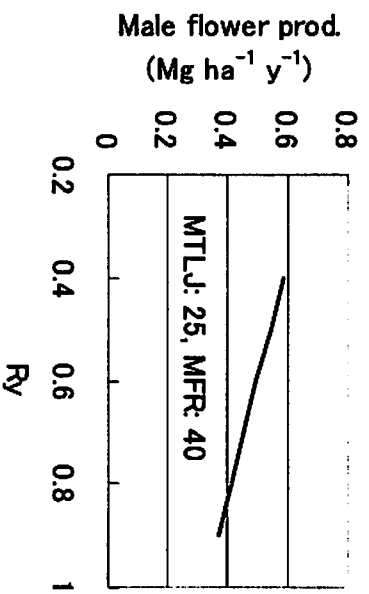
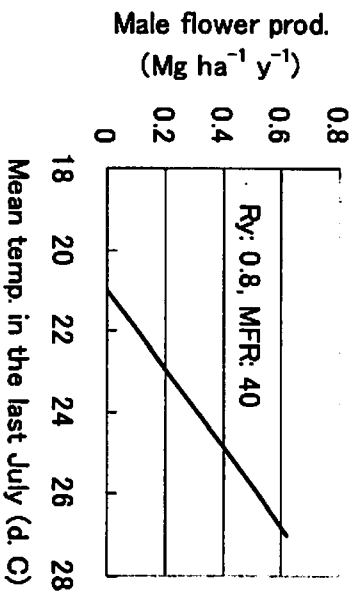
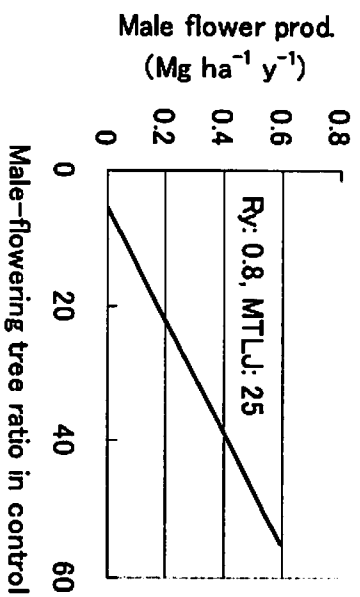


図 2-7. 本数密度 (上) と気象 (中)、遺伝的性質 (下) の各指標と林分雄花量の関係
 Ry、前年の 7 月平均気温、無間伐林の平均雄花着生個体数比 (2001-2005 年平均) を本数密度、気
 象、遺伝的性質の各指標とした。

4) 林分雄花量の予測

全国スギ人工林の本数密度管理実態は、林野庁の大ゾロ・長期育成循環施業 (H15 完了)、森林資
 源モニタリング調査 (H16 完了) のデータなどを通してある程度把握でき、なかでも全国の森林を
 系統的にサンプリングしている森林資源モニタリング調査のデータが適当と考えられた。そこで同
 モニタリング調査の全国スギ人工林 297 林分の立木調査データ (暫定データ) について、地域別に
 林齢と ha 当たりの林分幹材積の関係を求めた。40 年生時の林分幹材積は東北で少なく、中部で多

く、関東、関西、中国、四国、九州は中くらいであった。この地域差は密度管理の違いを表している可能性があるが、立地条件などのデータを入手できなかったため、 R_y を通しての全国スギ人工林の現行の密度管理状況は把握できなかった。このため、花粉生産を抑制する林分密度管理については、文献を含め収集したデータにもとづいて、花粉生産予測モデル（図 2-8）を作成し、伐期平均雄花量の抑制の観点からスギ人工林の施業体系を評価することとした。前述の通り、林齢の影響は明確でないので林齢（樹齢）の影響はないものとした。

スギ人工林の施業体系と全国スギ人工林の林分密度管理実態については、収集した施業体系のうち、一般的な間伐管理を行う例として藤森（1991）の改善版一般林施業（以下、長伐期一般林施業）を選んだ。また、それと植栽本数と主伐材の平均直径が同じで、途中の間伐をより強度にして回数を減らした省力間伐の体系（長伐期省力間伐施業）、さらに植栽本数は同じだが無間伐施業（間伐手遅れ林を想定した体系）を林分密度管理図（日本森林技術協会 1999）上で作成した（図 2-9 上）。長伐期一般林施業は伐期 100 年で、 R_y は 0.54~0.81（平均 0.69）の範囲をとり、一度の間伐で R_y は約 0.1 減少する。長伐期省力間伐施業は伐期 100 年で、 R_y の範囲は 0.48~0.69（平均 0.59）、一度の間伐で R_y は 0.15 減少する。無間伐施業は伐期 50 年で、 R_y の範囲は 0.70~0.99（平均 0.87）である。

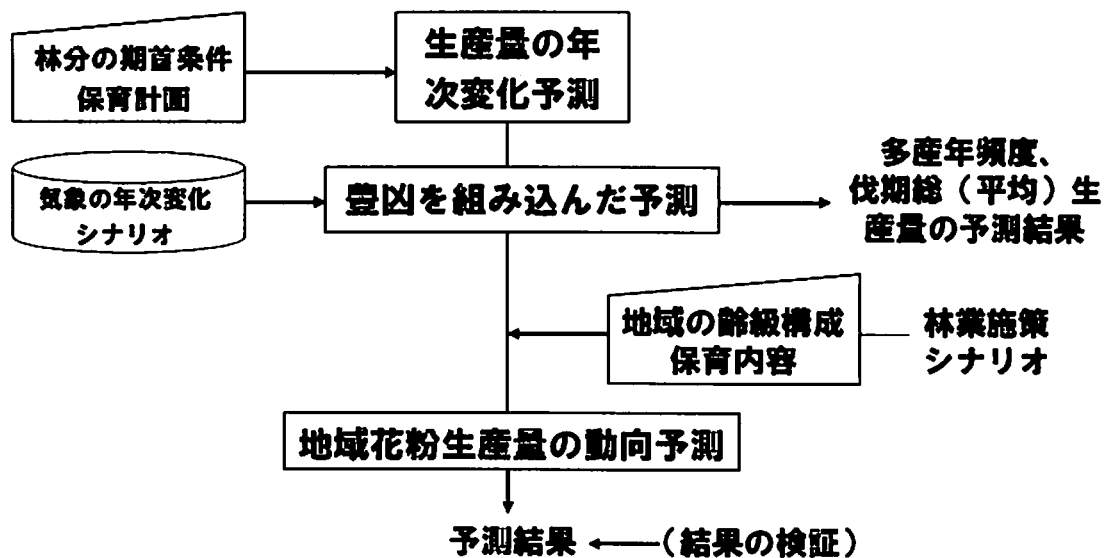


図 2-8. 花粉生産量予測モデルの構造

各施業体系における雄花量を(1)式で予測すると、前年 7 月の気象条件を一定とした場合（図 2-9 左下）は、雄花量は $350 \sim 450 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ の間で推移し、成熟齢に達してからは間伐により増加する傾向が明らかであった。また、省力間伐施業では一般林施業より伐期平均雄花量が多くなるようである。気温の年次変化を考慮すると（図 2-9 右下）、雄花量は年によって $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 程度から $800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 近くまで大きく変動した。伐期平均雄花量は長伐期一般林施業が $326 \pm 230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、長伐期省力間伐施業が $346 \pm 239 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ で大差はなく、気象条件の年変動に隠れてしまう程度

の差であった。年ごとに比較すると、豊作年は施業間の違いが小さく、不作年は R_y にもよるが、省力間伐施業の方が 2、3 割多かった。これらに比べ、無間伐施業の伐期平均雄花量は $183 \pm 209 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と半分程度しかなかった。

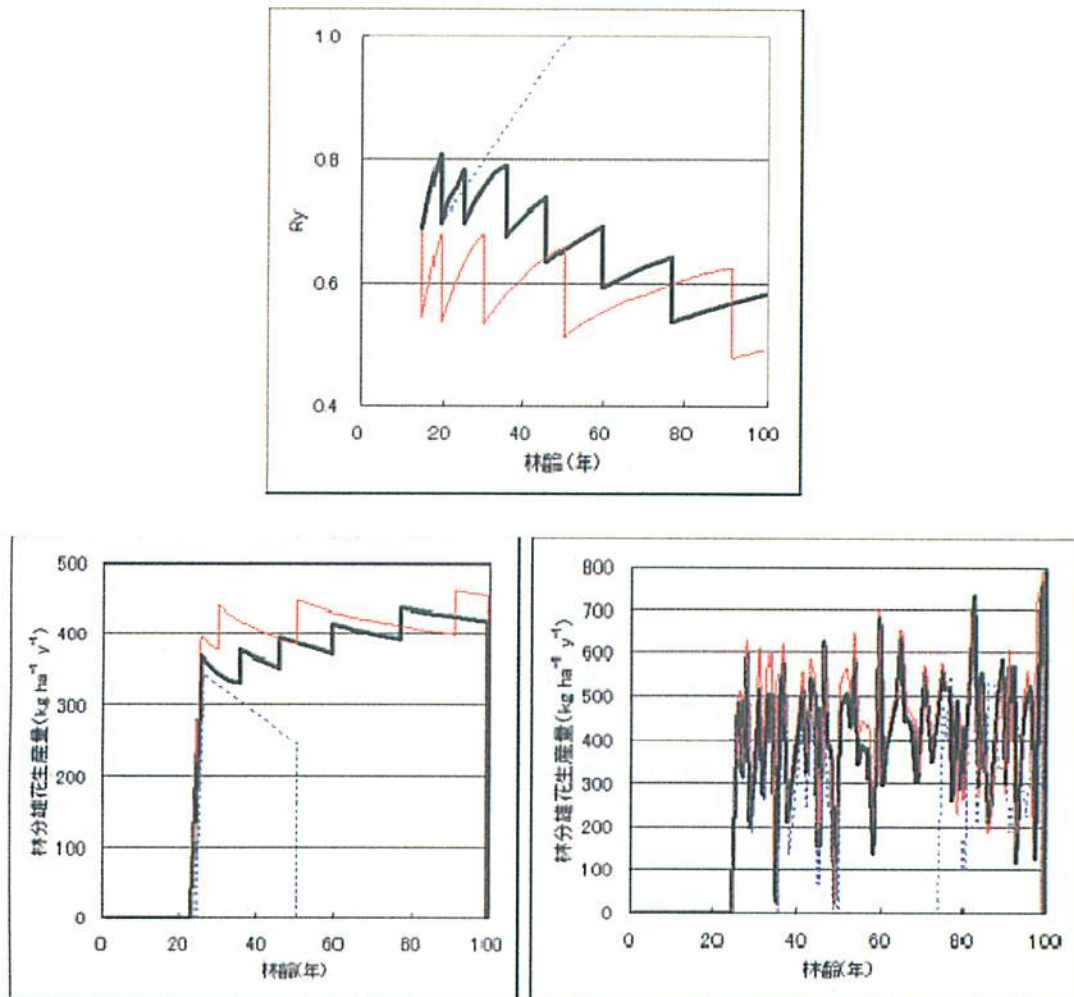


図 2-9. 施業体系ごとの雄花量の年次変化の推定結果

太線は長伐期一般林施業（改善版一般林施業、藤森 1991）、実線は間伐を強度にし、回数を減らした長伐期省力間伐施業、破線は間伐手遅れ林を想定した無間伐施業（上図）。雄花生産は 25 年生から始まり、加齢の影響はないものとし、雄花量を(1)式で推定した。MFR は 50、MTLJ は 23°C 一定（左下図）、あるいは水戸気象台の年ごとの値（1989～1995 年/MTLJ 19.5-26.3）（右下図）、無間伐施業は 50 年伐期で再造林することとした。予測された伐期平均雄花量は一般林施業： $326 \pm 230 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、省力間伐施業： $346 \pm 239 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、無間伐施業： $183 \pm 209 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 。

エ 考察

花粉抑制に配慮して間伐を実施するときの留意点として次のことがあげられる。

1. 間伐により樹冠が疎開された残存木は雄花生産が以前より盛んになる可能性がある（清野ら、

2003)。このため、間伐効果の評価は、間伐による直接の雄花除去と翌年以降の雄花生産への影響を合算して行う。また、単木でなく、林分当たり（土地面積当たり）で行う。

2. 長伐期一般林施業に比べて、強度の間伐をとともなう長伐期省力間伐施業では、一度の間伐による直接の雄花除去量は多いが、残存木の翌年以降の雄花量が大きく増える可能性がある。しかし、伐期平均量で比べると、増量は数%程度にとどまる。主伐までの長い期間で考えると、間伐方法による雄花量の違いはそれほど大きなものではないかも知れない。

3. スギの遺伝的性質や気象条件は間伐以上に大きな影響力を持つ可能性がある。雄花量を抑制する Ry 管理を行っても 7 月が高温、乾燥であると、Ry 管理の効果は気温の影響に隠されてしまう。逆に強い間伐を行っても翌年が不作年なら雄花は減る。また、遺伝的性質により雄花を殆ど着生しない林がある。

4. 「間伐しないことがスギ花粉の過剰発生の原因」という見方があるが、それに符合するデータは得られなかった。

5. 現行の密度管理状況の情報は得られなかったが、間伐を行えない林分も多いと推定される。積極的な間伐管理が行われないので花粉発生が少なく済んでいるというのがスギ人工林の現状であろう。無間伐林に間伐を行って長伐期林に移行させることは、スギ花粉の発生量を増やす恐れがあるが、このことから間伐を行わないことが花粉生産抑制に効果的であると短絡すべきでない。無間伐林への間伐は人工林の健康や京都議定書の約束達成にとって効果があり、別の利益をもたらす。間伐の実施に当たっては得失の比較にもとづいた総合判断が必要である。現存するスギ人工林は広大であり、どう取り扱っていくのが好ましいのか、長期的方針をたて、慎重に実施する必要がある。

オ 今後の問題点

現存するスギ人工林の扱いには長伐期林への移行や放置のほかに、樹種転換、再造林などさまざまなものがあり、本モデル（図 2-8）を用いてそれぞれの場合のスギ花粉発生量を予測することができる。林業施策に沿って想定される主要な森林管理について花粉生産を推定し、より効果的な管理法を明らかにする必要がある。また、雄花量には着花履歴（清野ら 2006）や立地環境など養分の影響も及んでいるので、それらの加味はモデルの実用性を高めるであろう。これらについては、後継課題（先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（農林水産省）「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」（H18-20））で取り組む予定である。

カ 要約

スギ人工林の期首条件や保育計画、夏の気象条件などをパラメータに雄花量の年次変化を推定する手法を開発した。この手法を用い、間伐を行いながら長伐期林に移行する場合と、間伐を行わず通常伐期で主伐して再造林する場合の伐期通算の雄花生産量を推定し、比較したところ、後者の方が花粉生産は少なくなることが分かった。

キ 引用文献

浅川澄彦（1994）種子，（造林学 基礎の理論と実践技術），川島書店，p. 66-85.

- 浅川澄彦・長尾精文（1966）球果・タネによってつかわれる肥料3要素量の試算例，日林誌，48，84-87.
- 藤森隆郎（1991）多様な森林施業（林業改良普及双書），全国林業改良普及協会，191p.
- 家原敏郎（2000）森林資源調査による花粉発生源分布の把握とその推移予想，スギ花粉症克服に向けた総合研究（第Ⅰ期平成9年度～11年度）成果報告書，科技庁研究開発局編，科技庁研究開発局，p. 279-292.
- 気象庁（2002）気象庁年報（平成13年）2001年，（財）気象業務支援センター
- 清野嘉之（1990）ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究，森林総研研報，359，1-122.
- 清野嘉之（2000）樹冠量制御モデルによる花粉生産量の抑制技術の開発，スギ花粉症克服に向けた総合研究（第Ⅰ期平成9年度～11年度）成果報告書，科技庁研究開発局編，科技庁研究開発局，p. 472-484.
- 清野嘉之・長尾精文・佐藤保・奥田史郎・田内裕之・伊藤武治・五十嵐哲也・九島宏道（2006）着花したスギの重量成長と翌年の着花，日林関東支論，57，155-156.
- 清野嘉之・長尾精文・篠原健司（2002）林学から見たスギ花粉症問題，医学のあゆみ，200（5），447-451.
- 清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田 清・野田 巖・近藤洋史（2003）強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる，日林誌，85（3），237-240.
- 日本林業技術協会（1999）人工林林分密度管理図 全22図（復刻）解説書付き，日本林業技術協会
- 林野庁（2000）平成11年度花粉抑制調査報告書，林野庁，58p.
- 林野庁（2001）平成12年度花粉抑制調査報告書，林野庁，77p.
- 林野庁（2005）平成16年度花粉生産予測情報調査事業報告書，林野庁，108p.
- 齋藤秀樹（1987）裏日本系スギ林の生殖器官生産量および花粉と種子生産の関係，日生態誌，37，183-195.
- 齋藤秀樹（1995）林学からみたスギ花粉症－森林の花粉生産を中心に－，耳鼻咽喉科臨床，76，6-19.
- 植月充孝・植木忠二・小田切理恵（1997）日本海東部・西部育種区のスギ精英樹の着花性（Ⅲ）－雄花の着花量が少ない精英樹－，森林応用研究，6，189-190.
- 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，53，137-138.

（清野嘉之、佐藤 保、石田 清、野田 巖）