

スギ花粉の発生と拡散過程のモデル化

—スギ花粉の拡散過程に関する研究 (I) —

川 島 茂 人

農業研究センタープロジェクト研究第6チーム 〒305 つくば市観音台3-1-1

Modeling of Outbreak and Dispersion Process of
Airborne Pollen of *Cryptomeria japonica*
—Studies on the Dispersion Process of Airborne Pollen of
Cryptomeria japonica —

Shigeto KAWASHIMA

National Agriculture Research Centre 3-1-1 Kannondai, Tsukuba 305, Japan
(1991年4月5日受理)

The model which simulates outbreak and dispersion of pollen of *Cryptomeria japonica* D. Don was developed to calculate the spatial distribution of airborne pollen, using AMeDAS data, vegetation map of *Cryptomeria japonica* and pollen sampling data. The relationships between number of airborne pollen and several meteorological elements were investigated. The deviations of air temperature and wind speed from the mean value of past few weeks show the highest correlation coefficients with the number of airborne pollen. Based on these relationships, the pollen outbreak sub-model for *Cryptomeria japonica* was constructed. The variation of density of airborne materials at a arbitrary point depends on the effects of transportation, dispersion, source and sink. Based on this principle, pollen transport and dispersion sub-model was constructed. The total model, which was composed of several sub-models, was checked by comparing the simulated time-series of airborne pollen densities and actually sampled pollen data. It was verified that the model could simulate the daily variation patterns of airborne pollen number, and the variations of airborne pollen number with the distance from the pollen source in the main season of airborne pollen of *Cryptomeria japonica*.

Key words : Airborne pollen, Modeling, *Cryptomeria japonica*.

緒 言

わが国には、世界的にも他に類を見ない空間的に密な気象観測システムであるアメダス（地域気象観測網）が展開されている。また、国内の植生については詳細な調査が行われており、植生分布図としてまとめられている。さらに、近年花粉症が社会問題化したこ

とに対応して、いくつかの地方自治体によって、組織的な花粉捕集数の観測が始まり、データが蓄積しつつある。そこで、これらの情報を積極的に利用し、有機的に総合化することにより、従来よりも詳細な、スギ花粉飛散量分布の即時推定を行う手法について検討した。本報告では、アメダス毎時気象データ、スギ森林分布データ、スギ花粉捕集数データなどを用いて、ス

ギ花粉の発生と拡散過程をモデル化する手法について検討する。

スギ花粉飛散数と気象条件との関係について調べた研究は、大きく分けて、1) シーズン中の総飛散数と前年の気象条件との関係を議論したものと、2) 飛散数の経日変化や経時変化と気象条件との関係を議論したものがあつた。前者の研究として、根本⁽¹⁾は、7月の最高気温と降水量および冬期の最低気温が、翌春の花粉総数と関係していることを示した。また、王ら⁽²⁾は夏期の最高気温から、翌春の総飛散数を推定する回帰式を示した。さらに、斉藤ら⁽³⁾は、7月の平均気温・湿度と翌春の総飛散数との関係について検討した。最近は、高橋ら⁽⁴⁾のように、スギの樹勢など生物学的な因子を加味する予測法も検討されている。一方、後者の研究として、佐橋ら⁽⁵⁾は、本州中部におけるスギ花粉捕集調査の結果にもとづき、日平均気温の急激な上昇があつた後に、捕集数の大きなピークが観測されること、最大ピークが春一番のような強風の日に出現する確率が高いことなどを明らかにした。また、高坂⁽⁶⁾は、花粉の飛散数は、気温の上昇と湿度の低下が同時に起こると増加すること、雨が降ると著しく減少すること、雨上がりに気温の上昇と湿度の低下があれば特に大きくなることなどを述べている。さらに、斉藤ら⁽³⁾は、花粉飛散数の日内変動と気象状態との関係を調べた結果、湿度が低下するに従って飛散数は増加すること、たとえ夜間でも寒冷前線の通過によって湿度が低下し、風速が強くなれば多数の花粉が短時間に飛散することを明らかにした。高橋⁽⁷⁾は、山形市におけるスギ花粉飛散の日内変動と気象条件との関係を調べた結果、温暖前線通過前には著しく花粉飛散数の多い時間帯が見られ、それに続く寒冷前線通過時には花粉飛散数が非常に少なくなることなどを明らかにした。本研究では、以上のような研究をふまえて、スギ花粉が大気中に飛び出す量と気象条件の関係について、モデル化を試みた。

花粉が風によって拡散する過程を扱った研究としては次のようなものがある。比較的短い距離の拡散について検討した例として、RAYNORら⁽⁸⁾は、チモシーの花粉が拡散し沈着する過程を実験的に調べ、発生源からの距離と飛散数との関係を図示した。また、RAYNORら⁽⁹⁾は、点源および線源からの花粉の拡散状況を面的に測定し、花粉濃度や沈着速度と発生源からの距離の関係を明らかにした。PRICEら⁽¹⁰⁾は、台地の周囲から谷風が吹き上げるような地形では、風が収束する台地中央部で多数の花粉が降下する現象があ

ることを明らかにした。一方、中長距離の花粉の輸送や拡散を扱った研究として、MARKGRAF⁽¹¹⁾はスイスの山岳地帯で、複数の標高において花粉捕集数を測定し、鉛直方向の花粉の拡散について調べた。その結果、標高の高い所における花粉の拡散は一般風によって説明されること、標高の低い所における測定結果は、より局所的な植生の影響を受けることなど、高山地帯における花粉の拡散特性を明らかにした。また、MANDRIOLIら⁽¹²⁾は北イタリアのポー河流域地帯において、ハンバミ花粉の大気輸送について調べ、大気中の花粉濃度の分布が気象条件によって強く影響されること、一度落下した花粉が再飛散する効果で、花粉が大気中に存在する期間が花粉の放出期間よりも、長くなることなどを示した。HALL⁽¹³⁾は、アメリカ中部の山岳地帯から平原地帯にわたる320 kmを横断する37個所で花粉捕集数の観測を行い、捕集された花粉の20-60%は中長距離の輸送を経たものであることを示した。SCOTTら⁽¹⁴⁾は亜南極の島において、様々な表層土中に含まれる外来花粉を調べた結果、これらの花粉が遠く離れたアフリカ南端や、さらに遠い南アメリカから、卓越する西風によって輸送されたものであることを明らかにした。以上のように、花粉の輸送や拡散について調べた研究はかなりあるが、花粉の輸送や拡散をシミュレーション手法を用いて調べた研究はほとんどない。そこで、本研究では、アメダスデータやスギ森林分布データを用いて、花粉の輸送や拡散現象をシミュレートする方法について検討を行う。

研究方法

1. 研究対象地域

図1に研究対象地域を示す。関東地方一都六県とその周辺の福島、新潟、長野、山梨、静岡各県の一部を含む。対象地域の大きさは、南北約220 km、東西約230 kmである。+印と数字はアメダス四要素観測地点の位置とその通し番号、●印は都内にある花粉捕集数観測地点の位置である。

2. 気象データ

花粉発生時の気象条件および風による花粉の拡散を評価するために、アメダス(地域気象観測システム)で得られたデータを用いた。毎時の四気象要素(気温、風向・風速、日照時間、降水量)を観測しているアメダス観測所は、対象地域内に87地点ある(図1)。これらの観測所の位置や地点番号の一覧表ファイルを作

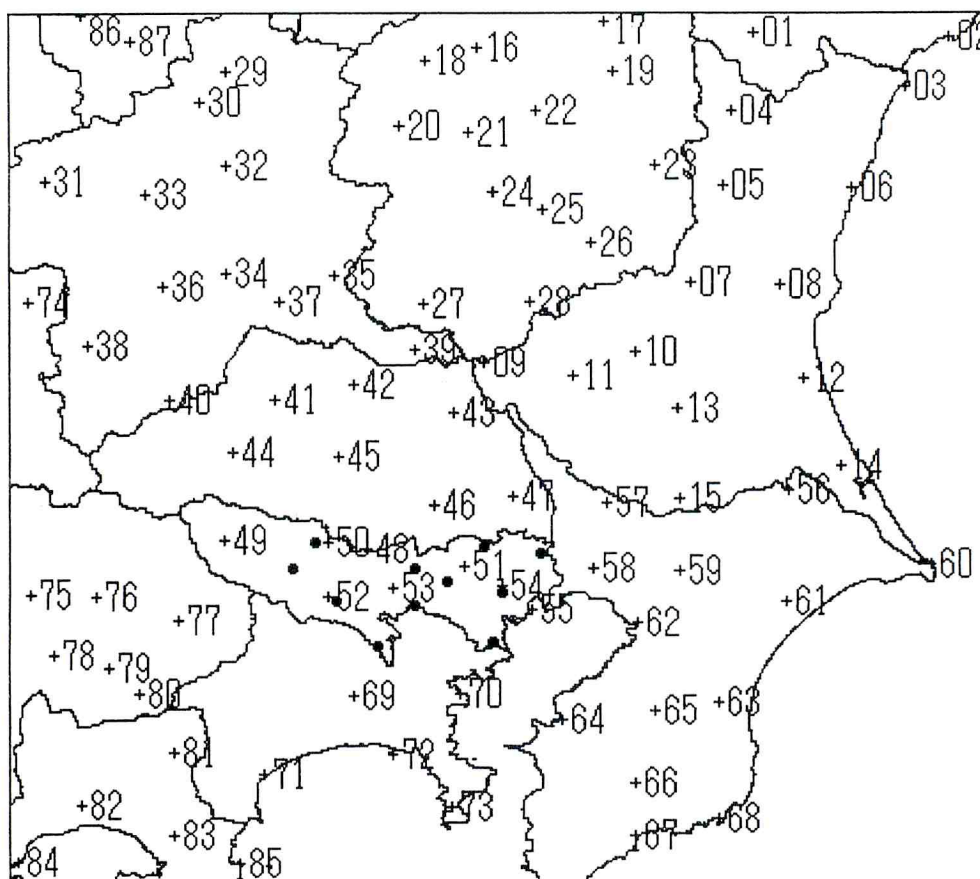


図1 研究対象地域

大きさは、南北約220 km、東西約230 km、+印と数字はアメダス四要素観測地点、●印は都内にある花粉捕集数観測地点。

成し、1986年と1988年の2月から5月までの毎時データを地域気象観測資料時日別値ファイル(磁気テープ)から読み取り、気象要素別にファイル化した。これらの気象データは、パーソナルコンピュータでの利用のため、代表的なオペレーティングシステムの1つであるMS-DOS上のファイルへ転送した。アメダスデータの読み取りおよびファイル化方法については、川島⁽¹⁵⁾にもとづいた。

3. スギ森林の分布データ

環境庁が作成した3種類の植生図⁽¹⁶⁻¹⁸⁾をもとに、国土数値情報の地域区画単位の一つである2次メッ

シュごとに、各メッシュ内のスギ森林の面積率を読み取り、スギ森林分布の数値マップを作成した。対象地域のほとんどのメッシュでは植生図⁽¹⁶⁾からスギ森林の面積率が把握できたが、対象地域の周縁部にある一部のメッシュではスギとヒノキをまとめて表示した植生図^(17,18)を使用しなければならない地域があった。図2にスギ森林の分布状況に2次メッシュを重ねたものを示す。黒い点の多いところほど、スギ森林の密度の高い地域である。2次メッシュは、縮尺2万5千分の1の地図1枚に相当する区画で、関東地方では、およそ縦10 km、横10 kmの大きさとなる。

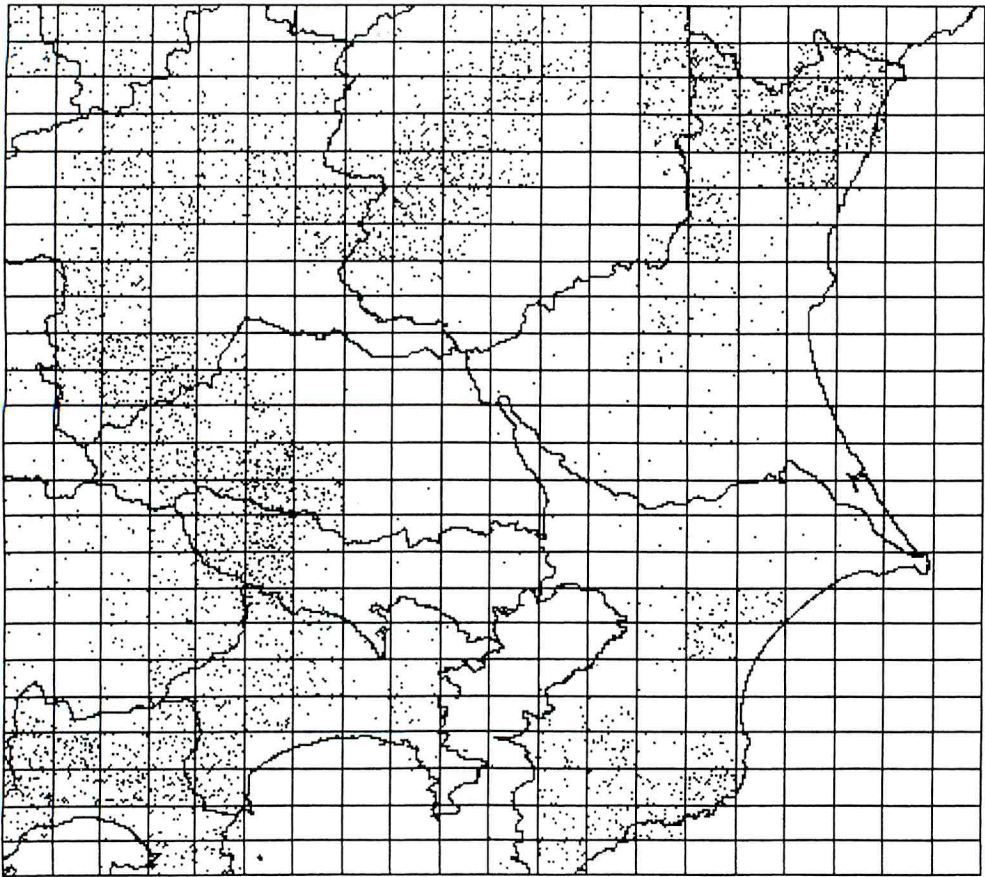


図2 スギ森林の分布と2次メッシュ

黒い点の多いところほど、スギ森林の密度の高い地域である。

4. スギ花粉捕集数データ

東京都衛生局では、毎日の花粉飛散数を組織的、継続的に測定している。測定地点は都内の山間部から都心部へかけて広い範囲に11カ所分布している(図1)。測定方式は、全地点において日別捕集数を得るためにダーラム式およびロータリー式を用い、一部の地点ではさらに時別捕集数を得るためにパーカード式を用いている。花粉捕集数の単位は個数/日/cm²(日別値)または個数/960羽(2時間毎値)であり、ダーラム式とロータリー式のプレパラートの交換は朝9時に行われている。本報告の解析には、現在最も一般的に用いられているダーラム式の測定値を主に用いた。

5. スギ花粉発生・拡散モデル

スギ花粉が大気中に放出され、風によって拡散する過程を数値的にシミュレートするために、スギ花粉発生・拡散モデルを構築した。本報告では、このモデルの全体的枠組みについて示す。

1) スギ花粉発生・拡散モデルの概要

数値計算を行うため、対象地域内を南北方向に24等分、東西方向に20等分する格子で分割した。格子により囲まれた区画の大きさは約10km四方であり、国土数値情報の2次メッシュに相当する。計算はすべてこの格子系に基づいて行った。

スギ花粉発生・拡散モデルの全体的構成を図3に示

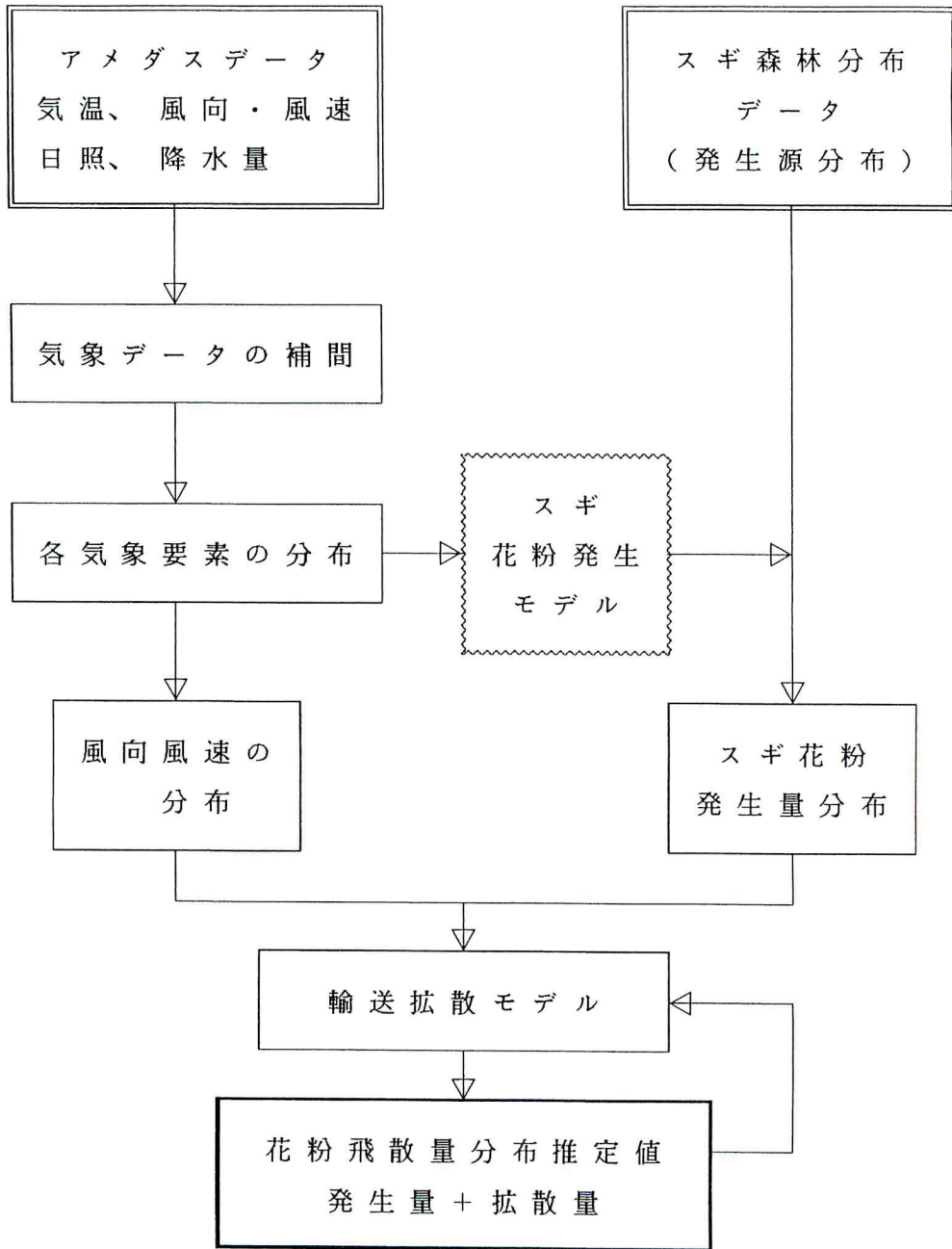


図3 スギ花粉発生・拡散モデルの全体的構成

アメダスの毎時気象データと、スギ森林の分布データをモデルに入力する。

す。モデルに入力した2種類のデータは、対象地域内にあるアメダスの毎時気象と、同地域内のスギ森林分布である。

アメダス観測地点は、格子系のように配置されていないため、すべてのメッシュにおける気象データを、各メッシュ内もしくは各メッシュに近接するアメダスデータから補間した。補間方法は、アメダス毎時データにもとづく各種補間法の比較検討結果⁽¹⁹⁾に基づいた。補間して得た各気象要素の分布は、スギ花粉発生モデルおよび輸送拡散モデルへ入力した。

スギ花粉発生モデルは、開花したスギ森林における気象条件とスギ花粉発生量の関係を定式化したものである。モデルからの出力は、一様なスギ森林からの単位時間あたり、単位面積あたりの花粉発生可能量である。各メッシュごとに花粉発生可能量とスギ森林面積率を掛け合わせて、スギ花粉発生量を求めた。

アメダスデータを補間して得た全メッシュにおける風速ベクトルと、スギ花粉発生量分布を、輸送拡散モデルへ入力した。輸送拡散モデルでは、過去に発生した花粉の輸送・拡散後の分布と、対象とする時刻に発生した花粉の分布を重ね合わせることにより、対象時刻におけるスギ花粉飛散量分布を計算した。

以下に、スギ花粉発生・拡散モデルの中の2つの主要なサブモデルについて、若干の説明を加える。

2) スギ花粉発生モデル

このモデルを決定するには、体積法などによる空中飛散花粉濃度の実測値と気象データを用いることが望ましい。しかしながら、実測されたデータが花粉捕集数であり、花粉捕集数と空中飛散花粉濃度の間には比例関係があると考えられるため、花粉捕集数と気象データからモデルを決定した。そこで、本手法で計算するスギ花粉飛散量は、単位体積の空気中に含まれる花粉数に一定の割合をかけたものである。

東京都西部に広がるスギ花粉発源地域のアメダスデータ（青梅，八王子）とスギ花粉捕集数データ（青梅，五日市，八王子）を中心に、スギ花粉がどのような気象条件の時に飛び出すかについて、各気象要素およびその誘導変数と花粉飛散数との相関解析を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- ①アメダス観測4要素（気温，風向・風速，日照時間，降水量）の中で気温と風速が，花粉飛散数との相関係数が大きい。
- ②単にその時の気温や風速よりも，過去の平均値との差として計算される気温変動値や風速変動値が，花粉飛散数との相関係数が大きい。

これらは，気温の急激な上昇があった後に，捕集数の大きなピークが観測されることや，最大ピークが春一番のような強風の日に出現することが多いという報告⁽⁵⁾と符合する。

これらの結果をモデルに組み込むために，気象条件とスギ花粉発生量の関係を，次式(1)，(2)，(3)のように定式化した。

$$\Delta T_i = T_i - \left(\sum_{j=1}^N T_{i-j} \right) / N \quad (1)$$

$$\Delta W_i = W_i - \left(\sum_{j=1}^N W_{i-j} \right) / N \quad (2)$$

$$P = a \Delta T + b \Delta W + c \quad (3)$$

ここで， T は気温， W は風速， N は平均化期間， P は単位面積のスギ森林から単位時間に大気中に放出される花粉数に一定の割合をかけたものである。重みパラメータ a ， b ， c は，対象とする年次の雄花芽の形成量に関係する。

(3)式を決める際は， ΔW のかわりに W を用いる効果や， ΔT と ΔW の積の項を検討するなど，様々な組合せで比較検討を行い，重相関係数の最も高くなる式を選択した。平均化期間 N の長さを変化させ，実測飛散数との相関を調べた結果，最適の N が約19日であることが明らかになった。さらに， N を19日として計算した ΔT ， ΔW と，スギ森林地域の花粉捕集数データを用いて，重回帰式(3)の最適の重み a ， b ， c を決めた。

3) スギ花粉輸送拡散モデル

大気中を輸送される様々な物質の濃度変化は，一般的に次式(4)のように記述される。

$$\frac{\partial M}{\partial t} = V \nabla M - \nabla (K \nabla M) + S_o - S_i \quad (4)$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \quad (5)$$

ここで， M は対象とする物質の濃度であり，花粉の場合は単位体積の空気中にある花粉数， V は大気速度ベクトル， K は拡散係数， S_o は物質の湧出速度， S_i は物質の消失速度， x ， y ， z は直交座標系である。この式は，ある場所における対象とする物質の濃度変化が，その物質の輸送と拡散ならびに湧出と消失によって決まることを表している。

スギ花粉輸送拡散モデルにおいても，上式(4)を有限の大きさを持つメッシュ間のスギ花粉の輸送にあては

めた。輸送項は、各メッシュにおける風速ベクトルと、1つ前の時刻の花粉飛散量分布から計算した。拡散項は、花粉濃度の高いメッシュから低いメッシュへ単位時間に広がる割合を設定する形で導入した。湧出項は、スギ花粉発生モデルとスギ森林分布から得られる各メッシュのスギ花粉発生量である。消失項は、平均滞空時間という考え方を導入することで与えた。

結果と考察

スギ花粉発生・拡散モデルを用いてシミュレーションを行った。モデルに与えた気象条件は、近年最もスギ花粉飛散数の多かった1988年における、アメダス87地点の毎時の気温、風向、風速である。計算は2月20日から始めた。

スギ花粉発生モデルのパラメータは、研究方法で述べた手順に従って求めた値、 $a=1000$ 、 $b=1000$ 、 $c=100$ 、平均化期間 $N=19$ 日を用いた。本報告では、関東地方のスギ森林においては、1つのモデルでスギ花粉の放出量と気象条件の関係が表わせるとしてシミュレーションを行った。

輸送拡散モデルに与えたパラメータは、様々な値の組合せで試行錯誤的に計算を繰り返し、実測花粉捕集数の分布や経時変化と比較して決定した。その結果、平均滞空時間を9時間とし、当該メッシュの飛散花粉は移動後の中心メッシュに0.4、周辺の上左右のメッシュに0.15の割合で拡散するようにパラメータを定めた。

図4に、シミュレーション結果として得られる毎時の花粉飛散量分布の一例を示す。黒い点の多い所ほど、花粉濃度が高く計算された地域である。もともとスギ森林の多い関東地方の西部や北部では、花粉濃度が高く計算されている。スギ森林地域から放出された花粉が風によって運ばれるために、風向きによっては、スギの森林などの無い東京でも、花粉濃度が高くなる状況が再現されている。さらに、太平洋や相模湾上に花粉が飛散してゆく状況もシミュレートされている。

都内にある花粉捕集数測定地点の位置をモデル中で定めておき、シミュレーションによって計算した毎時花粉飛散量を積算することにより、日別花粉飛散量をこれらの地点について求めた。図5(a)に、花粉の発生源に近い地点として、青梅における花粉数の経時変化の実測値と計算値を示す。図の横軸は日付、縦軸は花粉数である。花粉数は、実測値では花粉捕集数であり、計算値では花粉飛散量であるという違いがある

が、ここで重要なのは経時変化のパターン（ピークの位置・大きさ等）の再現性である。花粉が飛び始める時期と終了する時期で計算値が過大評価となっているのは、開花日や開花期間の場所による違いをこのモデルに組み込んでいないためである。しかしながら、スギが花粉を多量に発生させる3月初めから4月中旬までの最も問題となる期間においては、実測した飛散数の経時変化パターンと、計算した飛散量の経時変化パターンは、全体的に見て、かなりよく一致している。計算値のピークが表れている日に、実測値が台地状になっている日があるのは、ダーラム式の測定が休日欠測となるためである。

同様に図5(b)に、花粉の発生源からすこし離れた地点として、町田における花粉数の経時変化の実測値と計算値を示す。青梅と比較して花粉数のレベルが低いが、シミュレーションはこのことをよく再現している。また、ピークの位置や大きさについてもよく再現している。ただし、4月中旬にある実測値のピークがモデルで十分再現できていない点は、生物季節的な段階や、樹種の違いの影響等が考えられ、今後の検討課題である。さらに図5(c)に、花粉の発生源からかなり離れた地点として、丸の内における花粉数の経時変化の実測値と計算値を示す。まず第一に、青梅と比較して花粉数のレベルがかなり低いことが分かるが、シミュレーションはこのことをよく再現している。また、ピークの位置や大きさについてもほぼ一致している。以上のような実測値との比較から、モデルが、スギが花粉を多量に発生させる期間におけるスギ花粉の飛散状況を、ある程度再現していることが確かめられた。

本報告で述べた手法は、次のような特長を持つ。

1) この手法は、地域内の様々な場所でのスギ花粉飛散数と気象条件の関係を経験的に定式化するという手法ではなく、スギ花粉がスギ森林から発生し、風によって移流し拡散していくという物理的な過程を考慮に入れたものである。

2) 本手法では、約10km四方のメッシュごとのスギ花粉飛散量が計算され、従来よりも、より面的に詳細な飛散状況の推定が可能になる。

3) 翌日の気温分布や風向・風速分布の予報値などを用いてシミュレーションを行うことにより、翌日のスギ花粉飛散量地図の予測が行える。

4) 任意の地域における飛散花粉が、主としてどの地域のスギ森林に由来するかなど、問題となる花粉発生源の森林の所在やそこからの花粉の飛散経路などを

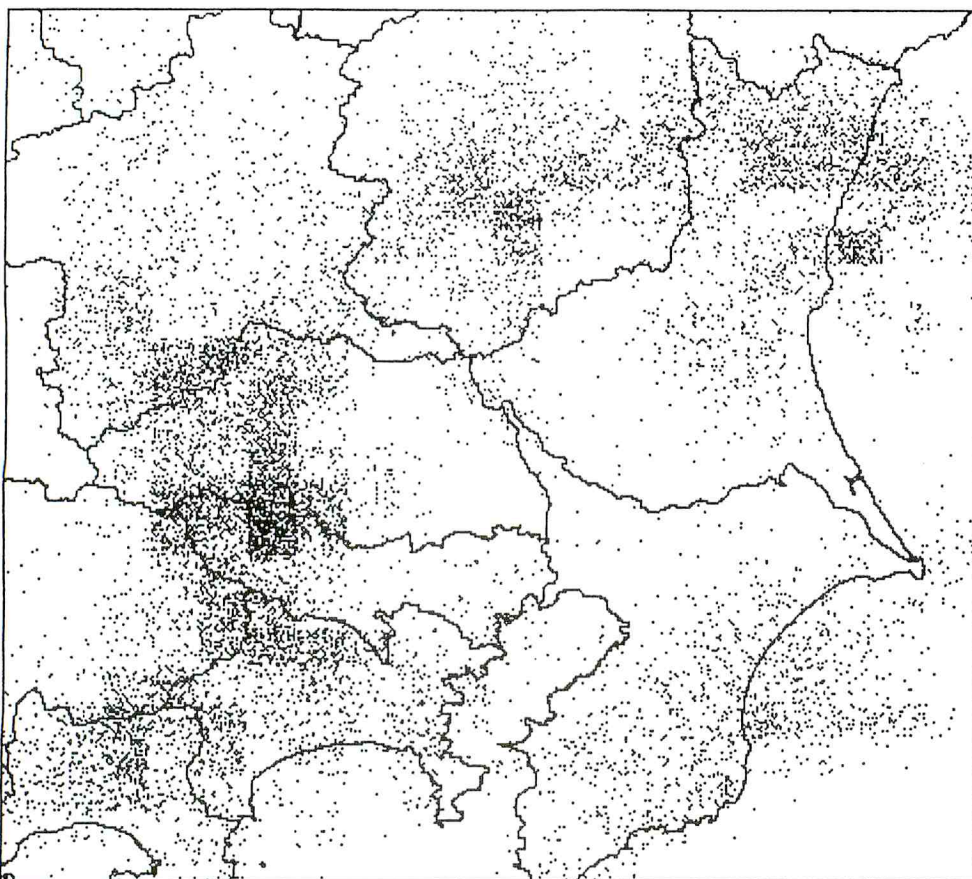


図4 スギ花粉飛散量分布のシミュレーション

黒い点の多い所ほど、花粉濃度が高く計算された地域である。

調べることができる。

5) 本手法で得られる情報は、花粉症患者の行動決定や、病院などにおいて医師が花粉症患者へ指導を行う時などの参考となるばかりでなく、スギ森林の管理計画のアセスメントなどに利用できる。

今後、検討すべき課題や問題点として、次のようなことがあげられる。

1) 本報告では、開花日や開花期間の場所による違いをモデルに組み込んでいないため、花粉の飛散開始時期および終了時期において計算値が実測値を上回る傾向がある。そこで、標高や局地気象の違いによる開花日の地域間差を組み込むなど、生物季節的な検討が

必要である。

2) 本手法をリアルタイムで運用する際などのために、スギ花粉発生モデルのパラメータ (a, b, c: 雄花芽の形成量に関係している) を事前に推定する必要がある。そこで、雄花芽の形成量と前年の気象条件との関係性を、従来の研究結果⁽¹⁻⁴⁾や新たに提案された予測法⁽²⁰⁾などに基づいて、より正確に定式化しなければならない。

3) 本報告では、ある年次において雄花芽の形成量の地域間差がないとして計算を行っている。しかし、現実には森林の樹齢構成などにより雄花芽の形成量が異なることが明らかになっている。⁽²¹⁾ モデルをより

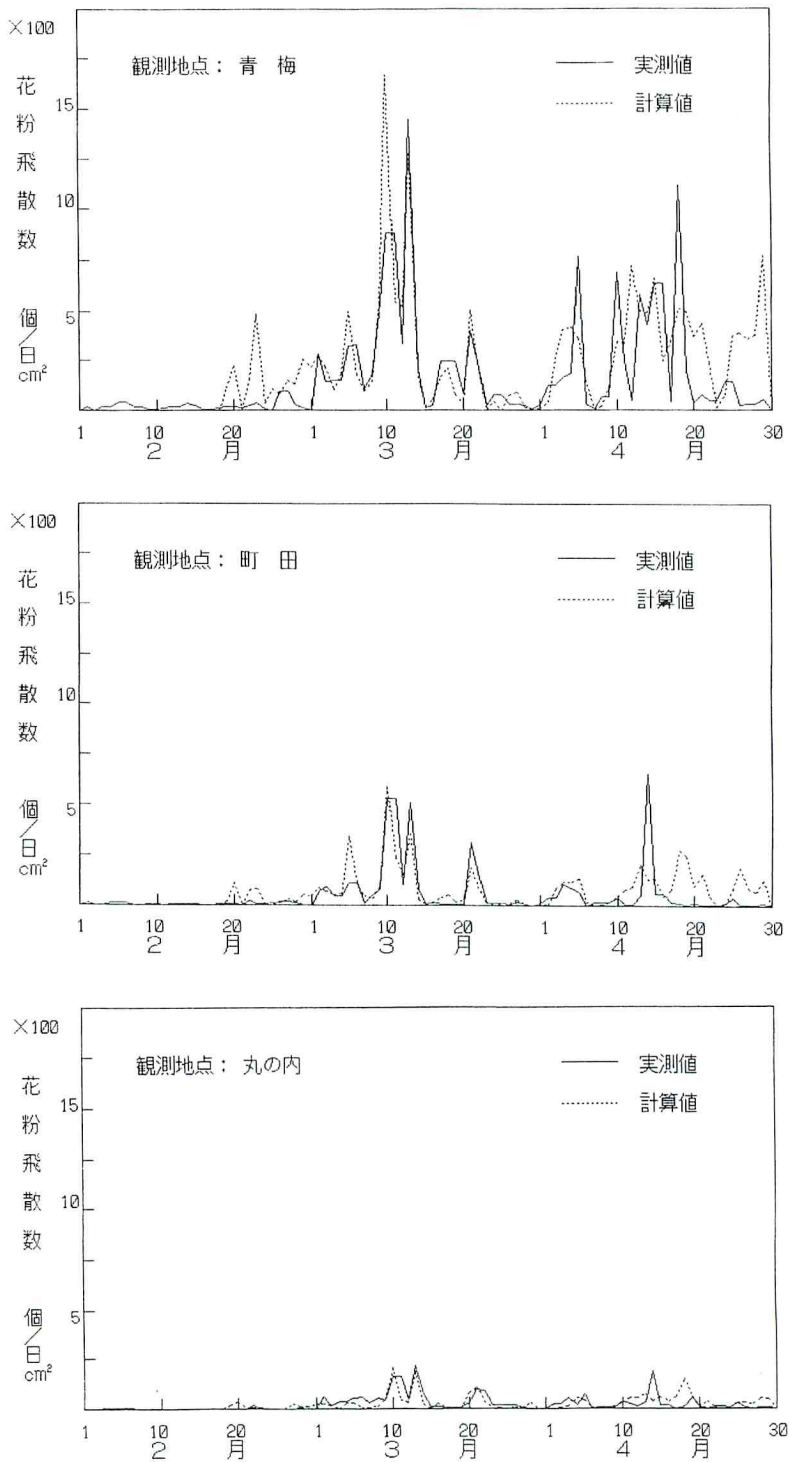


図5 スギ花粉飛散数の経時変化パターンの比較：実測値と計算値

- (a) 花粉の発生源に近い地点〔青梅〕
- (b) 花粉の発生源からすこし離れた地点〔町田〕
- (c) 花粉の発生源からかなり離れた地点〔丸の内〕

実際の現象に近づけるためには、このような情報をモデルに導入するよう検討する必要がある。

4) より厳密にスギ花粉発生モデルを同定するためには、一様なスギ森林地帯において、バーカード式などによる空中飛散花粉濃度と、気温、風速などの気象要素を同時に観測し、解析することが必要である。

今後は、モデルをさらに実際の現象に近づけ、計算精度を向上するため、上記の課題などをモデルに組み込む手法について検討するとともに、より多くの地域や年次のデータを解析して、モデルの構造やパラメータの改良を行い、本手法をさらに一般的なものとするための検討を積み重ねてゆく予定である。

要 約

アメダス毎時気象データ、スギ森林植生分布データ、スギ花粉捕集数実測データなどを用いて、スギ花粉の飛散状況をシミュレートするスギ花粉発生・拡散モデルを開発した。スギ花粉がどのような気象条件の時に飛び出すかについて、各気象要素およびその誘導変数と花粉飛散数との相関を調べた結果、単にその時の気温や風速よりも、過去の平均値との差として計算される気温変動や風速変動が花粉飛散数と関係している等のが明らかになった。そこで、この関係を平均化期間を用いて定式化し、スギ花粉発生モデルを構築した。ある場所における対象とする物質の濃度変化は、その物質の輸送と拡散ならびに湧出と消失によって決まることにもとづき、スギ花粉輸送拡散モデルを構築した。実測された気象データにもとづき、モデルの検証を行った。その結果、モデルが、スギが花粉を多量に発生させる期間における花粉の日別飛散数変化、および花粉発生源からの距離による飛散数の変化を、ある程度再現していることが確かめられた。

謝 辞

全国植生分布図に関して、茨城県林業試験場の横堀誠博士に御指導いただいた。スギ花粉観測資料の閲覧にあたり、東京都衛生局の田部光宏様と栗田雅行様ならびに川崎市衛生局の吉田學様には御協力と御指導をいただいた。スギ花粉予報に関して、気象協会の貴島敏様、赤津邦夫様、門前満彦様に御教示いただいた。スギ森林分布データの作成にあたり、井ノ本英子女史に御助力いただいた。各位に対して心より厚くお礼申し上げます。

引用文献

- (1) 根本修：杉花粉と気象。天気 35 (3), 39-46 (1988)。
- (2) 王主栄・古内一郎他：気象と花粉症。アレルギーの臨床 39, 33-36 (1984)。
- (3) 斉藤洋三, 宇佐神篤：スギ花粉症と気象。気象 24 (6), 6-9 (1980)。
- (4) 高橋裕一・山口勝也・安部悦子・東海林喜助・片桐進：雄花形成量を用いた来シーズンのスギ花粉飛散総数の予測方式の試み。免疫アレルギー 7 (2), 98-99 (1989)。
- (5) 佐橋紀男・幾瀬マサ・斉藤洋三他：本州中部における1983年のスギ花粉捕集調査成績。花粉誌 29 (2), 19-28 (1983)。
- (6) 高坂知節：スギ花粉症と気象条件—飛散の予報への可能性を探る—。日本医事新報, No.3275, 121 (1987)。
- (7) 高橋裕一・東海林喜助・片桐進・引地郁夫：山形盆地におけるスギ花粉飛散の日内変動とそれに及ぼす温暖・寒冷前線の影響。アレルギー 38 (5), 407-412 (1989)。
- (8) Raynor, G. S., Ogden, E. C. and Hayes, J. V.: Dispersion and deposition of timothy pollen from experimental sources. *Agricultural Meteorology* 9, 347-366 (1972)。
- (9) Raynor, G. S., Ogden, E. C. and Hayes, J. V.: Dispersion of pollens from low-level, crosswind line sources. *Agricultural Meteorology* 11, 177-195 (1973)。
- (10) Price, M. D. R. and Moore, P. D.: Pollen dispersion in the hills of Wales: A pollen shed hypothesis. *Pollen et Spores* 26, 127-136 (1984)。
- (11) Markgraf, V.: Pollen dispersal in a mountain area. *Grana* 19, 127-146 (1980)。
- (12) Mandrioli, P., Negrini, M. G., Scarani, C., Tampieri, F. and Trombetti, F.: Mesoscale transport of *Corylus* pollen grains in winter atmosphere. *Grana* 19, 227-233 (1980)。
- (13) Hall, S. A.: Pollen deposition and vegetation in the southern Rocky Mountains and southwest Plains, USA. *Grana* 29, 47-61 (1990)。

-
- (14) Scott, L. and van Zinderen Bakker Sr., E. M.: Exotic pollen and long-distance wind dispersal at a sub-Antarctic Island. *Grana* **24**, 45-54 (1985).
- (15) 川島茂人：アメダスデータの処理と気象要素の動的表示法. 農業環境技術研究所資料 第8号 (1990).
- (16) 自然環境保全調査報告書, 植生区分図 (1/20万), 環境庁 (1975).
- (17) 第2回自然環境保全基礎調査 (植生調査), 現存 植生図 (1/5万), 環境庁 (1980).
- (18) 第3回自然環境保全基礎調査 (植生調査), 現存 植生図 (1/5万), 環境庁 (1986).
- (19) 川島茂人：アメダスデータにもとづく毎時気温補間手法の比較. 農水省別枠研究「情報処理」研究成果集第1分冊, 322-333 (1990).
- (20) 川島茂人：スギ花粉飛散量の新予測手法. 気象 **34** (8), 8-11 (1990).
- (21) 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).
-

