

## 開花日を考慮したスキ花粉拡散シミュレーション

### —スキ花粉の拡散過程に関する研究(Ⅲ)—

川島茂人<sup>1)</sup>・高橋裕一<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>農林水産省農業研究センター 〒305 つくば市観音台3-1-1

<sup>2)</sup>山形県衛生研究所 〒990 山形市十日町1-6-6

(1991年10月31日受理)

Simulation of Airborne Pollen Dispersion Using the Map of Flowering Time

### —Studies on the Dispersion Process of Airborne Pollen of *Cryptomeria japonica*(Ⅲ)—

Shigeto KAWASHIMA<sup>1)</sup> and Yuichi TAKAHASHI<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>National Agriculture Research Centre

3-I-1 Kannondai, Tsukuba 305, Japan

<sup>2)</sup>Yamagata Prefectural Institute of Public Health

1-6-6 Tokamachi, Yamagata 990, Japan

The outbreak and dispersion model of airborne pollen of *Cryptomeria japonica* was applied to the southern Tohoku district of Japan. In order to take into account the locality of flowering time caused by the altitude and local climatology, the validity of flowering time mesh data was discussed. The model which used in this paper was constructed mainly from the pollen outbreak model, which estimate the quantity of outbreak pollen from meteorological conditions, and the pollen dispersion model, which estimate the transport and diffusion of pollen by wind. The model was checked by actually sampled pollen data in the study area.

In the case of simulation without flowering time mesh date, unobserved several high peaks were calculated in February and April. The magnitude of peaks in early April were tend to be overestimated. In the case of simulation with flowering time mesh data, the misestimated peaks in February and April were vanished. The differences between observed and calculated pollen numbers in early April became to be small.

Thus, the outbreak and dispersion model of airborne pollen was improved to be able to estimate the increase and decrease of airborne pollen in the beginning and end of the season using the flowering time mesh data. The general variation pattern of airborne pollen in one season can be simulated well.

**Key words:** Airborne pollen, Modeling *Cryptomeria japonica*, Flowering time, Mesh data.

## 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らず、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、本研究では、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を行う。

前報<sup>(1)</sup>で指摘した今後の検討課題の1つに、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問題があった。そこで本報告では、スギ花粉発生・拡散モデルを山形県を中心とする東北地方南部に適応するとともに、高橋ら<sup>(2)</sup>によって得られた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み、スギ開花日メッシュデータの有効性について検討する。

## 研究方法

### 1. 研究対象地域

図1に研究対象地域を示す。北は北緯39度20分、南は北緯37度30分、東は東経141度30分、西は東経139度に限られた、南北約205km、東西約220kmの地域である。山形県を中心に、秋田県と岩手県の南部、宮城県のほぼ全域、新潟県と福島県の北部を含む。+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、●印は山形県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66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成し、1990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

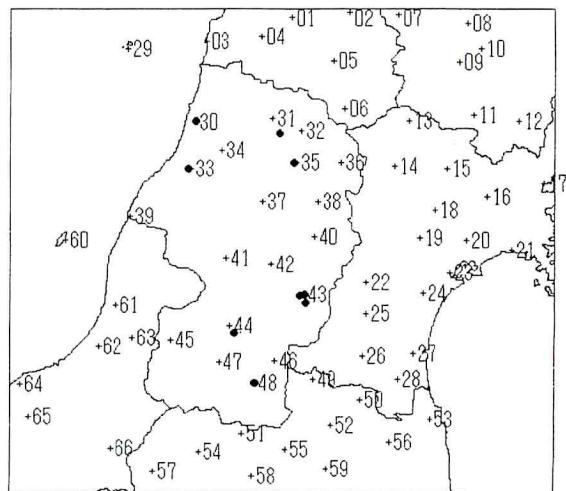


図1 研究対象地域

大きさは、南北約205km、東西約220km、  
+印と数字はアメダス四要素観測地点、  
●印は山形県内にある花粉捕集数観測地点。

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<sup>(3)</sup>に基づいた。

### 3. スギ森林の分布データ

環境庁が作成した植生図<sup>(4,5)</sup>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。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、東北地方では、およそ縦10km、横10kmの大きさとなる。

### 4. スギ花粉捕集数データ

山形県では、スギ花粉の飛散量を組織的に測定している。測定地点は、県内の広い範囲に分布しており、これらは各都市の保健所構内、衛生研究所構内あるいは職員の自宅などに設けられている（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を用い、一部の地点ではさらに時別捕集数を得るためにバーカード式を用いている。花粉捕集数の単位は個数/日/cm<sup>3</sup>（日別値）または個数/500 l（時別値）である。ダーラム式のスライドグラスの交換は、

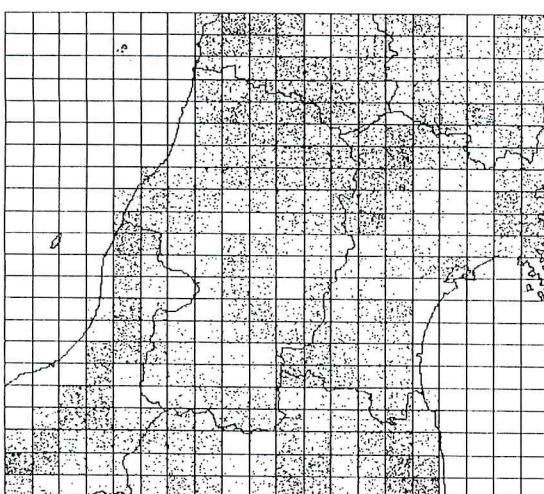


図2 スギ森林の分布と2次メッシュ

黒い点の多いところほど、スギ森林の密度の高い地域。

一部の地点を除いて、朝9時に行っている。本報告の解析には、山形市内3地点、酒田市、長井市、米沢市の6地点におけるダーラム式の測定値を用いた。

### 5. スギ開花日データ

前報<sup>(2)</sup>において述べた方法で、1kmメッシュごとのスギ開花予測日を、山形県農業気象情報システムを用いて求めた。まず、スギ森林分布データを用いてスギ森林メッシュを選び出し、それらの各メッシュについて、1月1日からの日最高気温の積算値が、設定した値に到達した日にスギが開花するという条件で検討した。実測した花粉飛散開始日と日最高気温積算値との関係を調べた結果、1990年の場合は、積算値を210°Cとすると県内各地の飛散開始が説明できることが明らかになった。この結果と県内のメッシュ気象データに基づき、スギ開花日のメッシュデータを作成した。

### 6. 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・拡散モデルを用いた。モデルの基本的な構造は、前報<sup>(1)</sup>と同じである。ここでは、山形県を中心とする地域に適用したモデルの特徴と概要について述べる。

数値計算を行うため、対象地域内を南北方向に22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。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<sup>(6)</sup>の結果に基づいた。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。モデルは、従来の研究（斎藤ら<sup>(7)</sup>、佐橋ら<sup>(8)</sup>、高坂<sup>(9)</sup>、高橋ら<sup>(10)</sup>）および気象データとスギ花粉飛散数との相関解析の結果に基づき、次式(1), (2), (3)のように決定した。

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

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

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

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を表わす。Pにスギ森林面積率を掛け合わせて、スギ花粉発生量を評価した。

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、次式(4)で表わされる輸送拡散モデルへ入力し、スギ花粉の移動と拡散を計算した。

$$\frac{\partial M}{\partial t} = V \nabla M - \nabla (K \nabla M) + S_0 - S_i \quad (4)$$

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

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（花粉飛散量）、Vは大気の速度ベクトル、Kは拡散係数、S<sub>0</sub>は物質の湧出速度、S<sub>i</sub>は物質の消失速度、x, y, zは直交座標系である。

## 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、近年の東北地方で特にスギ花粉飛散数の多かった1990年における、アメダス66地点の毎時の気温、風向、風速である。計算は2月20日から4月30日までの70日間について行った。スギ花粉発生モデルのパラメータは、 $a = 1000$ ,  $b = 1000$ ,  $c = 100$ 、平均化期間 $N = 19$ 日を用いた。本報告では、対象地域内のスギ森林においては、1つのモデルでスギ花粉の発生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、周辺の上下左右のメッシュに0.15の割合で拡散するようにパラメータを定めた。図3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。

山形県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。シミュレーションは、スギ開花日の地域差を考慮しない場合と、スギ開花日データを用いてスギ開花日の地域差を考慮した場合について行った。以下に各々の場合の結果について述べる。

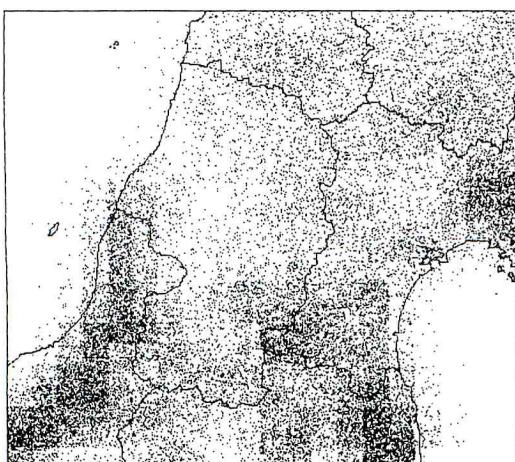


図3 スギ花粉飛散量分布のシミュレーション  
黒い点の多い所ほど、花粉濃度が高く計算された地域

### 1. 開花日データを用いないシミュレーション

開花日の地域差に関する情報が無い場合を考え、2月20日以降は地域内で一様に開花しているものとしてシミュレーションを行った。図4にスギ花粉飛散量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。

図4(a)の山形市Iは山形県衛生研究所内にあり、山形市の中心部に位置する。周囲はビル等の建築物やアスファルト道路の占める割合が大きい地域である。図4(b)の山形市IIは山形地方気象台内にあり、山形市中心部のやや北東に位置する。周囲の状況は山形市Iとほぼ同様である。図4(c)の山形市IIIは、山形市中心部から見て南南東の盆地斜面下部に位置し、周囲は畠や水田、住宅などが散在している地域である。図4(d)の酒田市は、山形県北部の日本海に面する場所にあるため、海陸風や季節風の影響を強く受ける。図4(e)の長井市は、山形県南部の南北に長い盆地内に位置する。図4(f)の米沢市は、山形県と福島県の境をなす山岳地帯に囲まれた盆地内に位置し、標高の高い場所にある。

山形市Iでは、2月下旬に、実測値には表れていない大小いくつかのピークが計算されている、4月上旬から中旬にかけての大きなピークや4月下旬のピークも実測値と合っていない。また3月末の実測値の大ピークを計算値は再現していない。

山形市IIにおける問題点は、山形市Iとほぼ同様である。ただし、飛散開始期において、3月最初のピークは山形市Iよりも実測値と計算値がよく一致している。スギ花粉飛散期間全体として、実測値と計算値の適合度は、山形市IIの方が山形市Iよりも良い。このことは、山形市IIの測定地点の方が、山形市一帯の局地的な代表性が良い場所であることを示している。

山形市IIIでも、2月下旬にある大小いくつかのピーク、4月上旬から中旬にかけての大きなピークおよび4月下旬のピークなど、実測値には表れていないピークが計算されている。また、4月初めのピークは計算値が実測値を大きく上回っている点も問題である。

酒田市では、特に飛散終了期の4月において、実測値に無いくつかの大きなピークが計算されていることと、3月上旬に実測された大きなピークがシミュレーションではかなり小さくなっていることが問題である。ただし、3月下旬の大きなピークは、実測値と計算値がきわめて良く一致している。

長井市では山形市と同様に、飛散開始期の2月下旬と、飛散終了期の4月上旬と下旬に、実測値には無いいくつかの大きなピークが計算されている。また、4月初めに、実測値には無い2つの大きなピークが計算されていることなどが問題である。

米沢市では山形市や長井市と同様に、飛散開始期の2月下旬と、飛散終了期の4月に、実測値には無いいくつかの大きなピークが計算されている。また、4月初めに、計算値が実測値をかなり上回っているなどの問題がある。

ほとんどの地点において、実測値には無いピークが、飛散開始期の2月下旬と、飛散終了期の4月上旬と下旬に計算されている。最も飛散が盛んな3月においては、山形市中心部と酒田市で実測値が計算値よりも相対的にやや大きくなる傾向があり、長井市と米沢市で実測値が計算値よりも相対的にやや小さくなる傾向がある。

## 2. 開花日データを用いたシミュレーション

前報（高橋ら<sup>(2)</sup>）によって得られた開花日のマップデータを用いてシミュレーションを行った。対象地域は地形の変化に富んでいるため、開花日の地域間差が大きく表れる。平ら<sup>(11)</sup>は、富山県内のスギ林で調査し、スギの各個体ごとの花粉飛散期間は7日から27日間と幅があるが、多数の花粉を放出できる期間は9日間程度であることを示した。また、山形市から蔵王山に至る11地点においてスギの開花期間を調査した結果、平均およそ10日間であった。そこで、シミュレーションにおける開花期間は10日間に設定した。開花期間の調査結果については改めて詳しく報告する。シミュレーション中の各時点において、各メッシュが開花期間に該当するかしないかを判定し、開花期間に該当しない場合はそのメッシュからの花粉の発生は無いとして計算をつづけるアルゴリズムを組み込んだ。その結果を図5に示す。

山形市Iでは、開花日データを用いない場合に表っていた飛散開始期の2月下旬の大ピークと、飛散終了期の4月の大ピークがすべて消えた。シミュレーションは、飛散開始期と終了期における花粉飛散量変動をきわめて良く表わしている。シミュレーションは飛散量の変動パターンをかなりよく再現しているが、3月末に表れた最大のピークをうまく計算していない。この理由として、一度落下した花粉の再飛散をモデルが考慮していないため、もしくは、花粉の発生条件をスギ花粉発生モデルが完全に取り込んでいないためなどが考えられる。より詳細な気象状況の変化を含めて、

今後検討を行う予定である。

山形市IIでは山形市Iと同様に、開花日データを用いたシミュレーションは、飛散開始期と終了期における花粉飛散量の増加と減少をきわめて良く再現している。また、山形市IIの方が山形市Iよりも実測値と計算値の変動パターンが一致しており、山形市IIの測定地点の方が、山形市一帯の飛散状況を代表している場所であると考えられる。しかし、3月末の大きなピークがシミュレーションで過小評価されている問題は山形市Iと同じであり、このピークの2日前に計算値が過大評価のピークを示していることと合わせて今後の検討課題である。

山形市IIIでは他の市内地点と同様に、飛散開始期と終了期における花粉飛散量の増加と減少をきわめて良く再現しており、さらに、4月初めの幅のあるピークも計算値の過大評価がなくなり、実測値と計算値のパターンは良く一致している。3月末のピークをシミュレーションがうまく再現できていないが、実測値が他の市内の地点のように突出していないため、誤差は相対的に小さいものとなっている。

酒田市では、特に飛散終了期における花粉飛散量の減少を良く再現している。実測されたすべてのピークが計算で再現されているが、全般的に計算値が実測値を下回る傾向がある。特に3月上旬のピークはかなり過小評価となっている。

長井市では、計算値のパターンと実測値のパターンはかなりよく一致するようになった。前半で、計算値が実測値に比べてやや大きくなる傾向が見られた。

米沢市では、長井市ほどではないが、計算値のパターンと実測値のパターンは一致するようになった。しかし、実測された飛散期間が計算された飛散期間よりも全体的に早い時期にシフトしている。このため、3月上旬のピークでは計算値が実測値を下回り、逆に4月上旬に実測値には無い2つのピークが計算されている。これは、米沢市周辺の高標高地帯の開花日データに誤差がある可能性を示しており、今後の検討課題である。

以上より、開花日データを用いることによって、当シミュレーションモデルは、飛散開始期と飛散終了期における花粉飛散量の増加と減少をきわめて良く表わすことができるよう改良された。その結果、1つのシーズン中におけるスギ花粉飛散量の変動をかなりよくシミュレートできるようになった。しかしながら、3月末に表れたようなピークが、特に都市域においてシミュレーションで再現されていない点や、標高の高

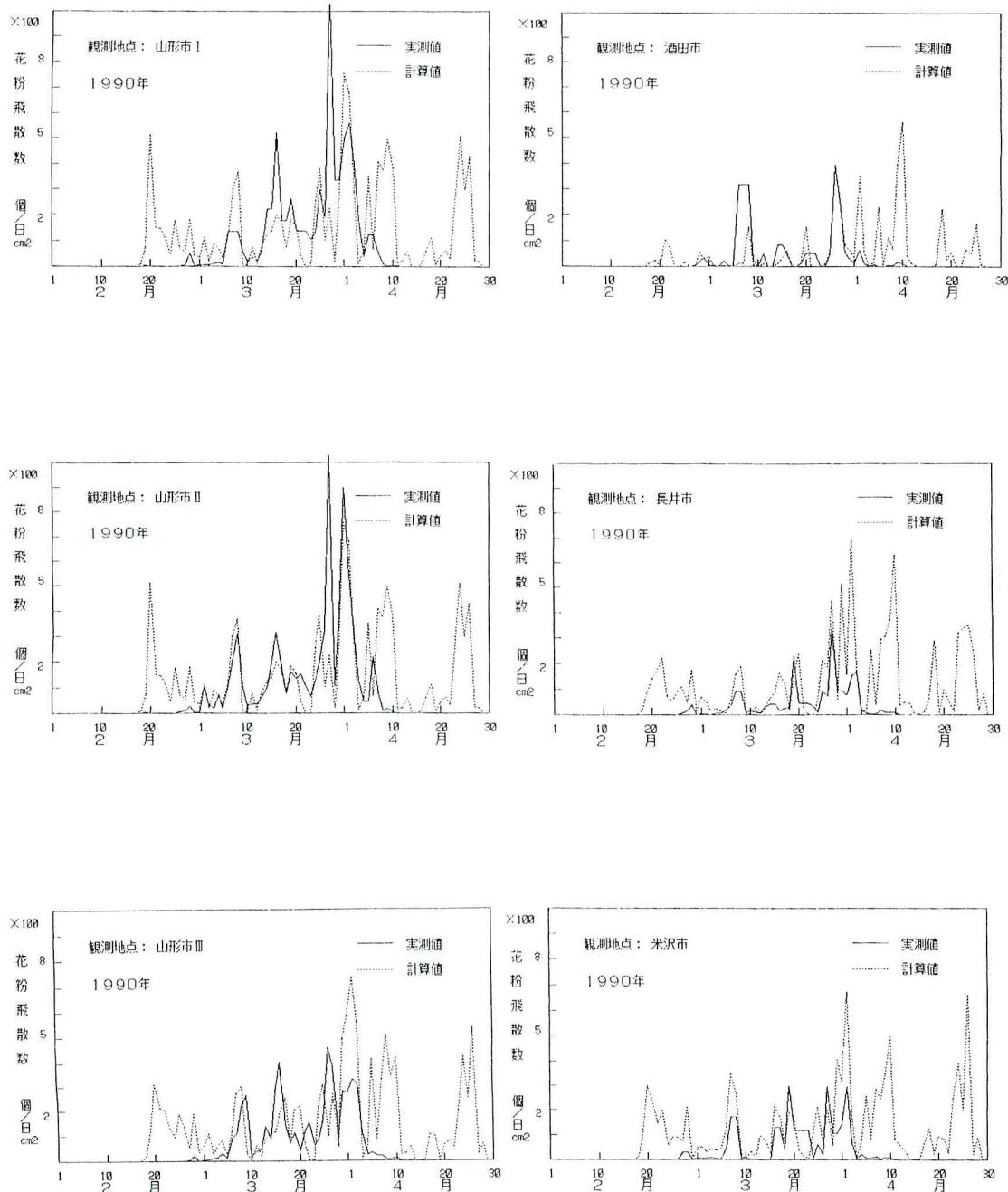


図4 開花日データを用いないシミュレーションの結果：スギ花粉飛散数の経時変化の実測値と計算値  
 (a) 山形市Ⅰ, (b) 山形市Ⅱ, (c) 山形市Ⅲ, (d) 酒田市, (e) 長井市, (f) 米沢市

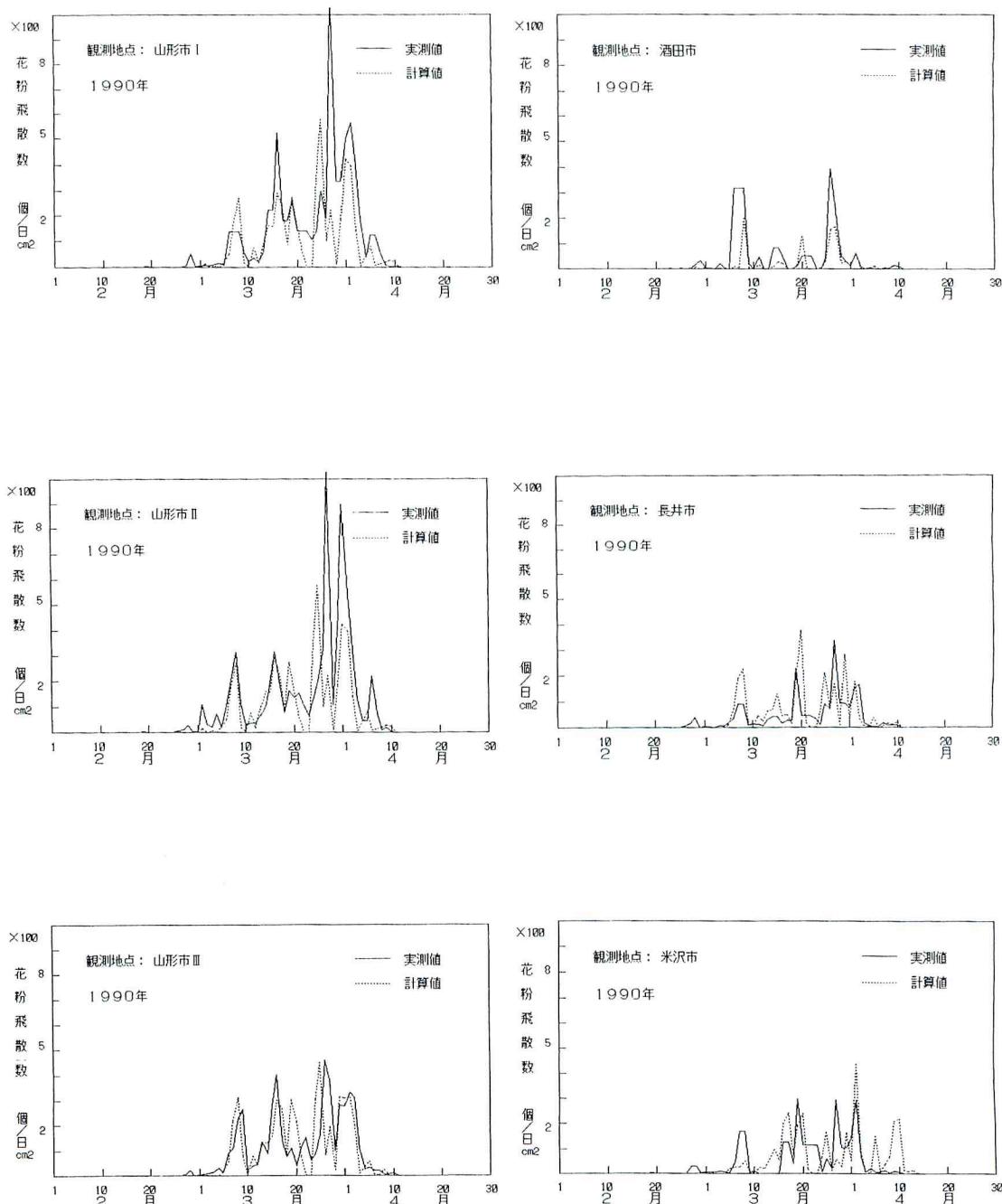


図5 開花日データを用いたシミュレーションの結果：スギ花粉飛散数の経時変化の実測値と計算値  
 (a) 山形市Ⅰ, (b) 山形市Ⅱ, (c) 山形市Ⅲ, (d) 酒田市, (e) 長井市, (f) 米沢市

い地域において、実測された飛散期間が計算された飛散期間よりも全体的に早い時期にシフトしているなどの問題点があった。そこで今後は、花粉の再飛散を考慮するなどスギ花粉の発生モデルの改良や、スギ開花日データの精度向上などを一つ一つ、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いく予定である。

## 要 約

スギ花粉発生・拡散モデルを山形県を中心とする東北地方南部に適応するとともに、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ためのスギ開花日メッシュデータの有効性について検討した。ここで用いたスギ花粉発生・拡散モデルは、スギ花粉がどのような気象条件の時に飛び出すかを評価するためのスギ花粉発生モデルと、風によるスギ花粉の輸送と拡散を計算するためのスギ花粉輸送拡散モデルなどから成り立っている。対象地域内にあるいくつかの花粉捕集数観測地点の日別捕集数を用いてモデルを検討した。開花日データを用いないシミュレーションの場合、2月下旬と4月に、実測値には表れていない大小いくつかのピークが計算された。またシーズン後期のピークが実際より大きく計算される傾向があった。これに対して、開花日データを用いた場合、飛散開始期の2月下旬の大ピークと飛散終了期の4月の大ピークがすべて消えた。また、シーズン後期にピークを過大評価する傾向も見られなくなった。そこで、当シミュレーションモデルは、開花日データを用いることによって、飛散開始期と終了期における花粉飛散量の増加と減少を良く表わすことができるよう改良された。その結果、1つのシーズン中におけるスギ花粉飛散量の変動を、全体的にかなりよくシミュレートできるようになった。

## 謝 辞

各種のデータ処理手法の利用にあたり、農業研究センターの田渕公清主任研究官ならびに吉田泰二研究員には、様々な御指導をいただいた。また、本研究の推

進に対して、岩手大学の石田智之博士には、多くの御助言と御鞭撻をいただいた。各位に対して心より厚くお礼申し上げます。

## 引 用 文 献

- (1) 川島茂人：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）－花粉誌 37, 11-21 (1991).
- (2) 高橋裕一・川島茂人・大江栄悦・片桐 進：スギ花粉の発生と拡散過程のモデル化－メッシュ化手法を用いたスギ開花日の予測（II）－. 花粉誌 37, 35-40 (1991).
- (3) 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).
- (4) 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).
- (5) 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).
- (6) 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. 農水省別冊研究「情報処理」研究成果集第1分冊, 322-333 (1990).
- (7) 斎藤洋三, 宇佐神 篤：スギ花粉症と気象. 気象 24 (6), 6-9 (1980).
- (8) 佐橋紀男・幾瀬マサ・斎藤洋三他：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).
- (9) 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, №3275, 121 (1987).
- (10) 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).
- (11) 平 英影・寺西秀豊・劍田幸子・楢陽一郎・清水規矩雄・河合康守：スギ林の雄花着花状況と空中花粉飛散パターンとの関連性について－1990年ににおける富山県の例－. アレルギー 40 (9), 1200-1209 (1991).