

スギ花粉日飛散数予測方法の検討 —拡散パラメータを用いた多変量時系列モデルの試み—

笹 嶋 肇¹⁾ 原 田 誠三郎^{1,2)} 赤 川 仁 子¹⁾ 森 田 盛 大¹⁾

キーワード: スギ花粉, 予測, 植生分布, 時系列分析, 自己回帰モデル

I 目 的

スギ花粉症の予防対策の一環として, スギ花粉測定による予報活動が全国各地で行なわれている。予報活動は飛散開始日および終了日の予測・総飛散数の予測・日飛散数の予測の3つに分けることができる。毎日の花粉飛散を予測する日飛散数の予測方法についてはいくつかの報告¹⁾²⁾³⁾があるが, 主として耳鼻咽喉科の医師が行なっている場合, 研究会組織の中で行なわれている場合が多く, 公的機関において行われている例はまだ少ないようである。

これまで報告された予測方法は, 一地域のスギ観測点での観測値に基づいて, 翌日の予想最高気温・予想降水量などのデータから定性的に予測する方法や, 飛散期間の気象因子との関係を統計処理した予測方法である。ところが, スギ花粉の測定値は発生源であるスギ林から観測点までの距離や地形などの地域特性によって大きく異なる。これらの要素の他に, 風向による飛散濃度の違いなどの大気中の拡散現象を考慮した, どの地域にも適用できる予測方法はわずか川島⁴⁾の報告にあるのみである。しかし, 川島のボックスモデルを用いた数値解析方法では, 特に発生源であるスギの植物的特性(いわゆる生気象学的特性)やその変化は扱っていない。

そこでわれわれは, これまで得られた測定結果を基にして, 発生源の植物的特性から生じる飛散パターンや気象データとともにスギ花粉の拡散現象を考慮し, さらにスギ花粉の観測値の自己相関をも考慮した多変量時系列モデルを構築し, 地域単位での予報を行なうために必要な, 各観測点における数値予測方法について検討したので, その成績を報告する。

II 材料と方法

A. スギ花粉の測定

1) 測定方法

スギ花粉の測定法は, 地表面の花粉量をスライドガラ

スを用いて測定するダーラム法およびISロータリー法と, 大気中の浮遊飛散量を機械的吸引によってテープ上に捕集するバーカード法が一般に用いられている。

これまで, われわれは当所屋上(地上20m)においてダーラム法およびバーカード法で測定してきた, すなわち, ダーラム法では, ワセリンを塗布したスライドガラスの4~12cm²当りの付着花粉を染色した後, 個/cm²/日の単位で花粉観測数を求めている。一方, 大気中の粉塵の測定方法と同様に, 一定容量を吸引するバーカード法は花粉をParticle/m³/日のように3次元の濃度として表現することが可能である。また, 1時間単位の飛散状況を把握できるので, 短時間での気象データ等との関係が検討可能である。いずれにしても, 各年の飛散状況を比較するには, 同一方法で行なう必要がある。

当所では, 1987年からダーラム法を用いて測定したため, この方法による測定結果を用いた。なお, 今後の予測精度向上のため, バーカード法による測定値も解析に活用する予定である。

2) 測定時間

当所のスギ花粉の測定は, 時間的変化を把握するため, これまで当日9時から翌日9時までの24時間(9-9*)および前日17時から当日17時までの24時間(17-17*)の時間帯で行っている。今回はこのうち当日9時から翌日9時までのデータを解析対象とした。

3) 解析対象地域

対象地域は秋田市周辺とした。

4) 解析ソフト及び機器

拡散計算はN88-日本語 BASIC (86) Ver6.0 (MS-DOS版)を用いてprogramを作成し, 時系列解析はSPSS/PCTM Trends V2.0J (SPSS Japan Inc.)を用いて解析を行った。また, 機器はNEC H98 model U60を使用した。

B. 気象データ

日本気象協会秋田県支部から提供していただいた気象日原簿をデータベースに入力し, 花粉測定時間毎の気象

¹⁾秋田県衛生科学研究所 ²⁾(現)秋田県横手保健所

データを算出した。対象とした気象データは、気温・風速・蒸気圧・相対湿度・降水量・日射量である。それぞれについて最高値または平均値を算出した。平均風向は角度の平均から方位の平均を算出し16方位に区分した。また、飛散期間の飛散開始時と飛散終了時では最高気温・日射量などの平均値に違いが生ずるので、傾向線による補正を加えるため、気象月報から平年値と各時間帯毎の気象データの平年偏差を算出した。

C. 発生源

今回発生源として対象としたのは、秋田市周辺（当所から半径約30km）のスギ林である。スギ林の植生は、5万分の1の地図と植生分布図を基にして1kmのメッシュを作成し、メッシュ毎にスギ林の平均標高・平均植生率・植生分布位置（測定点までの距離および方角）を求めデータベースに登録し、後の花粉拡散モデルに導入できるようにファイル変換した。ここで平均植生率とは、1kmあたりに占めるスギ林の植生面積を百分率で示したものである。

図1に秋田市周辺のスギ植生分布図を示した。この植生分布から分かるように、秋田市は日本海に面しているため西風の時には飛散量が少ないことなどの特性がある。

精度よく予測するためには、発生源からの花粉飛散現

象と空中での拡散現象を如何に忠実にモデル化するかが課題である。大気は一樣には移動せず乱気流現象を伴う。乱気流現象および地形を考慮した予測には様々な手法があるが、一般的には膨大な測定点と測定データを要する。スギ花粉について現在の1カ所のみの測定データでは作成するモデルにも制限が生じる。また、スギ花粉の場合に問題をさらに複雑にする原因として、先に述べたように発生源の変化が一樣でなく、この分についての予測を別に考えなければならない点がある。発生源の予測については、これを単独に扱う方法も考えられるが、正確には気象条件の違いによる飛散についてのスギ花粉飛散実験を行なう必要があり非常に困難を要する。今回はこの発生源の予測については、モデル全体の中で扱い一定の条件で補正する方法とした。

III 結果及び考察

A. 花粉測定結果

1987年から1990年までの9時から翌日9時まで（9-9*）の日飛散観測数のデータを図2に示した。

総飛散観測数の最も多かったのは1990年の約2300個であった。また飛散期間も3月2日から4月16日までの46日で最も長かった。

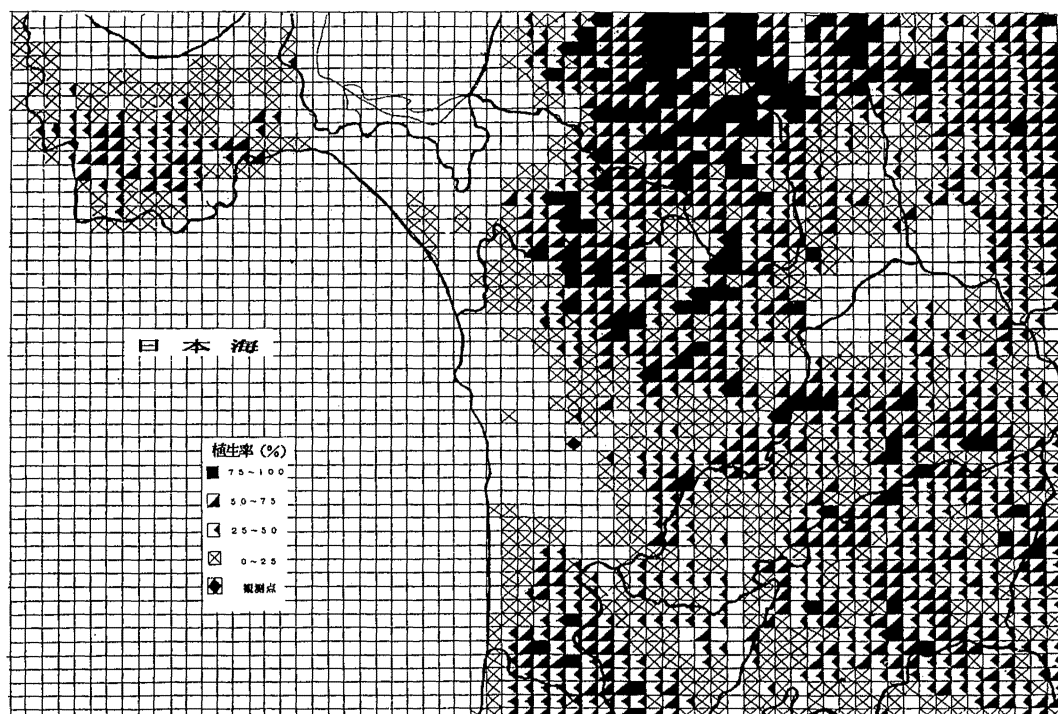


図1 スギ植生分布図（秋田市周辺）

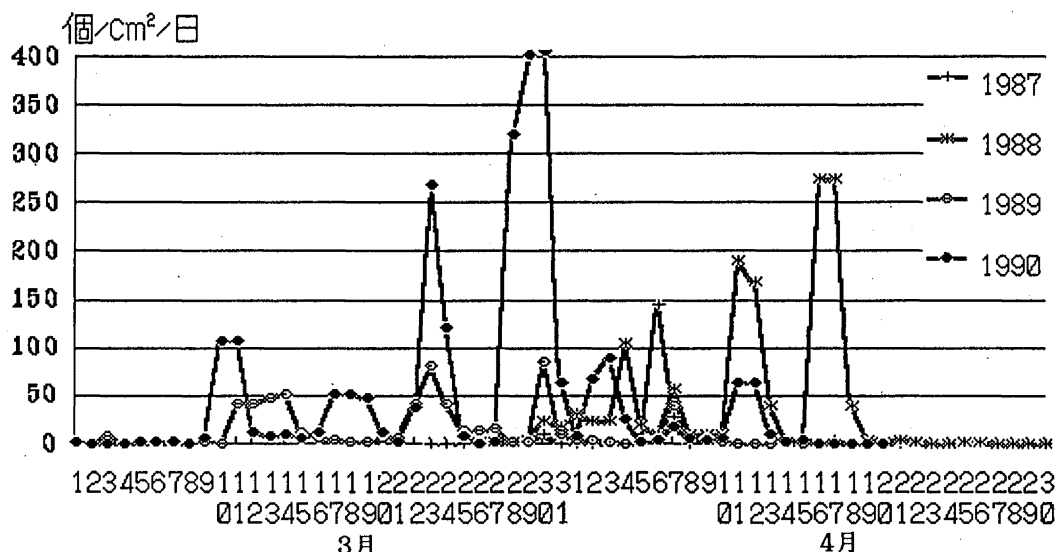


図2 スギ花粉飛散状況

総飛散観測数は年毎に異なるが、花粉飛散分布は概ね中央部にピークをもち両端に向かって減少するパターンを示した。

B. 潜在飛散量と拡散過程

1) 潜在飛散量

一般に、スギ花粉の観測点はスギ林から相当離れた場所（建物の屋上など）にあり、スギ林の中で直接花粉の飛散状況を観測していない。したがって、通常の観測点

における値には、スギ林（発生源）の情報と飛散時の大気中の情報（気象・拡散等）が含まれている。

このことは、発生源においてスギの着花量が多いにもかかわらず、飛散期間に降水量が非常に多い年には、あたかもスギの着花量が少なかったような結果が得られることになる。たとえば、表1に示したように、1989年のデータでは前年の気象データからすれば総飛散量は例年より多いと推定されたが、総降水量は例年の倍にも達し

表1 測定値と発生源の推定潜在値

<実側値>		1987	1988	1989	1990
	測定値	198	934	466	2337
	飛散日数	22	32	39	46
	総降水量	535	785	1279	149
<潜在値>	飛散後指数	1987	1988	1989	1990
	1	1	3	0.4	1
	2	2	7	1.8	2
	3	20	15	32	33
	4	50	112	53	32
	5	146	150	175	100
	6	27	300	50	196
	7	15	150	3	100
	8	10	122	3.6	5
	9	5	30	2	33
	10	1	3	0	1
	計	277	892	320.8	503
	単位日数	3	3	5	5
	潜在飛散量	831	2676	1604	2515

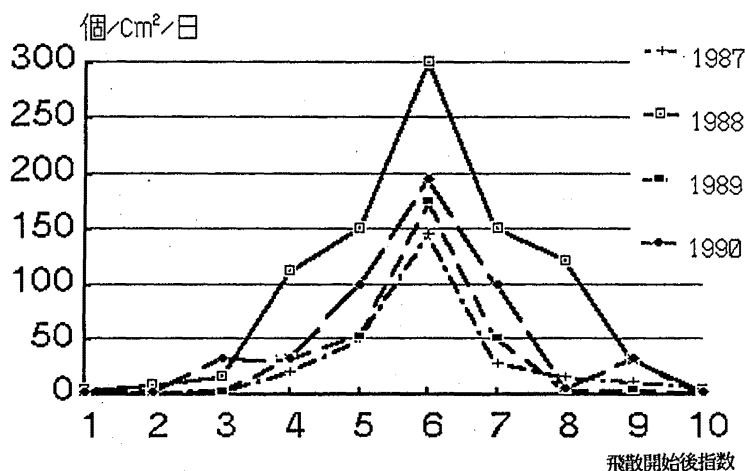


図3 推定潜在飛散量

$$\chi(x) = \frac{2 Q_0 \cdot \exp\left(-\frac{h}{2 \sigma_z^2}\right)}{2 \pi (\pi/8) \sigma_z u x} \cdot F(x) \cdot \exp(G(x))$$

$$F(x) = \cosh\left[\frac{h(V_s/u)x}{\sigma_z^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(V_s x/u)}{2 \sigma_z^2}\right]$$

$$G(x) = -\frac{2 V_s}{2 \pi \sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{h}{2 \sigma_z^2}\right) \cdot \int_0^x F(x) dx$$

χ : 距離 x (m) における地表濃度
 h : 発生源の高さ (m)
 V_s : 花粉落下速度 (m/s)
 Q_0 : 発生源からの排出量 (/s)
 σ_z : 鉛直方向の拡散幅
 u : 風速 (m/s)

図4 スギ拡散方程式

ていたため、実際に測定された総飛散量は例年より少なく経過した。いずれにしても、花粉の飛散観測値（測定値）は、発生源であるスギ林とそこからの飛散過程が関与したデータであることを考慮しなければならない。

2) 発生源データの標準化

日飛散数の予測のための手段としては測定値を標準化する必要がある。このためには、各年の変動の要因を解析しなければならない。そこで、花粉飛散にとって都合のよい気象条件（高温・低湿度・風等）の場合に飛散可能と予測される量を「潜在飛散量」と定義し、各年の毎日の気象条件の、特に最高気温、降水量、そして風向の気象条件毎に測定値を飛散パターンに基づいて補正し、潜在飛散パターンを求めた成績が表1および図3である。このパターンを曲線近似する際には飛散期間を統一する必要があるため、各年毎に10に区分し単位日数を設定した。

3) 花粉拡散モデル

スギ花粉は粒径が20~30 μ 程度あるので重力の影響

をうけ沈降現象が加わり、発成源からの距離による濃度減衰が生じる。われわれは、汚染物質の大気拡散の基本モデルの解析解のうち、沈着現象を考慮し沈着速度を1~10cm/sとした場合のChamberlainの沈着拡散モデル⁵⁾を参考とし、水平方向の拡散幅が均一と仮定した場合の単一風向拡散モデルを作成した。図4に拡散モデル式、図5には計算過程のフローチャートを示した。

この拡散モデルで用いる気象データは、平均風速・平均日射量・平均風向である。計算に必要な大気安定度は、日射量と風速によって分類するPasquill安定度階級分類⁶⁾を用いた。風向は16方位を用い、風向の出現率はその風向内に一様に分布するものとし、測定時間単位の平均風向別理論飛散数をメッシュ単位で計算し風向毎に合計した。図6に大気安定度別の花粉の飛散距離による大気中の濃度減衰について示した。これによれば、花粉の地上濃度は発生源のごく近傍ではむしろ低く、数100mの地点においてピークを示した後距離とともに減衰することがわかる。

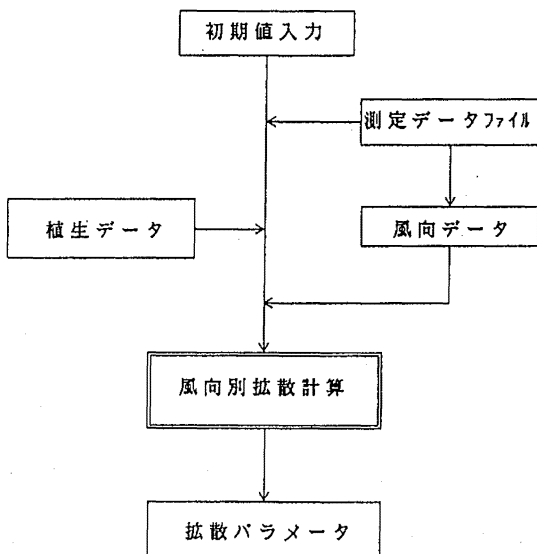


図5 拡散計算チャート

最近、発生源の標高による飛散開始日の違いについて報告されている⁷⁾が、この点については拡散濃度を計算する際、メッシュ単位の発生源の高さを開始日からの日数とともに変えればこのモデルでも対応できることになる。

また、今回の解析において、発生源の潜在パターンからの変動の原因はマイナス要因が主流であり、先に述べたように、降水量・気温の低下・植生のない方位からの風などがあげられる。拡散モデルにおいて降水量を考慮する手法はある程度確立されているが、それは今のところ、純然たる大気中での粒子の洗浄に関するモデルである。これらの影響度を定量的にモデルに当てはめる方法（予想降水量による係数補正・気温の上昇率からの係数補正等）については、今後の検討課題としたい。

4) 拡散パラメータ

理論的には、1時間値の測定データを用いることで、このモデルの計算値により、時間変化に対応した花粉の流れ（分布）を表現することが可能である。しかし、今回対象とした測定データは一般に採用されているダークラム法24時間値であること、また、発生源と拡散現象の双方に気象要因が複雑に影響する（たとえば風向はスギ花粉の飛散現象そのものには関係はなく、拡散現象に大き

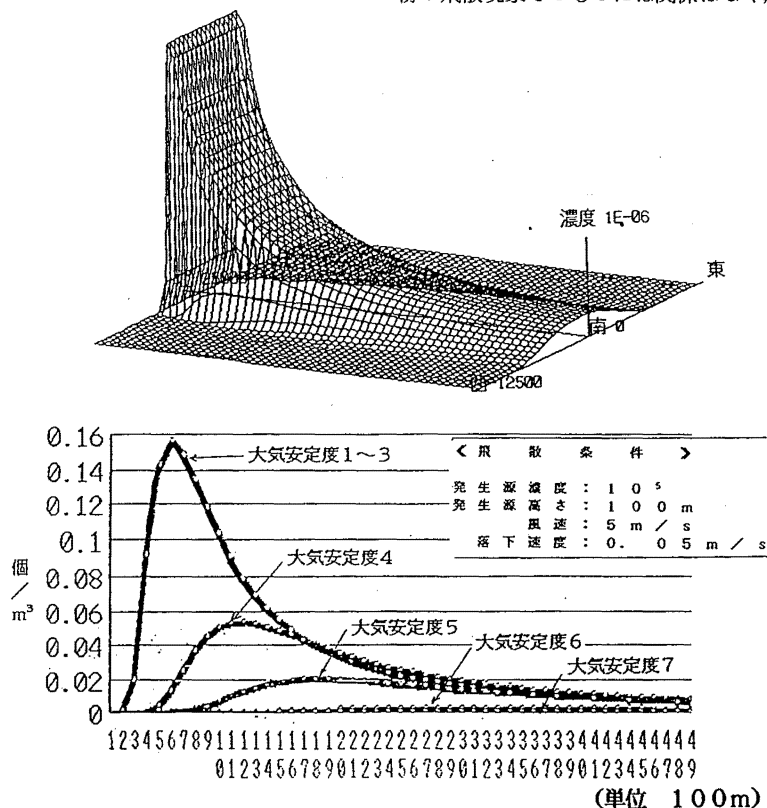


図6 花粉濃度減衰曲線

く関与する) こと, さらに強風時や降水量の影響などを的確に補正する手段がまだ確立されていないことなどから, 今回の日飛散数の予測のための手段としては拡散モデルから求めた値を, 「拡散パラメータ」として, 後で述べる時系列回帰モデルの独立変数の一変数として使用した。

C. 時系列分析

1) 傾向線近似と日潜在飛散量

傾向線近似は, 時系列解析を行なう際の測定データの定常化処理の一つである。今回のデータのうち, 上記の発生源の潜在飛散量については, 推定潜在パターンに最も近似し, 変曲点を一つだけもつ Logistic 曲線 (成長曲線) を採用した。この曲線の漸近線はシーズンの総飛散量に相当する。Logistic 曲線から求めた日毎の増加量と予測総飛散量のデータにより, 飛散開始日からの日毎の潜在的飛散量が容易に求められる。これを “日潜在飛散量” と定義した。

日潜在飛散量とは, これまでの飛散パターンから推定される飛散開始日からの日毎の予測飛散数であり, 気象条件・拡散現象等を考慮しない発生源のみに関する予測データである。なお, Logistic 曲線の一般式は以下のと

おりである。

$$Y = \frac{K}{1 + \exp(\phi(t))}, \quad K: Y \text{ の極限值 (総飛散量)}$$

$$\phi(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_m t^m$$

$\phi(t) = a_0 + a_1 t$ の場合は変曲点が一つとなる。この曲線は非線型モデルであるが, Hotelling 法により, a_0, a_1 の係数を決定した。潜在パターンにピークが複数認められるような場合には, ϕ における t の次数を 2 以上とすればよい。

この曲線の値と実際の観測値との誤差を時系列解析の対象とした。

2) モデルの同定

花粉の発生源の変化による飛散期間および総飛散量の変化に対応するため 2) で述べた Logistic 曲線から求めた日毎の増加数と, シーズン中の毎日の日潜在飛散数の差を従属変数とした。また, 通常重回帰分析を行う場合は残差の独立性をクリアできないので, 従属変数と予測値の残差のつみに自己相関部分をモデルに組み込んだ多変量時系列自己回帰モデルとした。

$$F_{n+1} = \text{Reg}_{n+1} + (\text{AR1})(F_n - \text{Reg}_n) + \varepsilon_{n+1}$$

$$\text{Reg}_n = \sum m_{in} x_{in}$$

F_{n+1} : $n+1$ 期のモデルの予測値

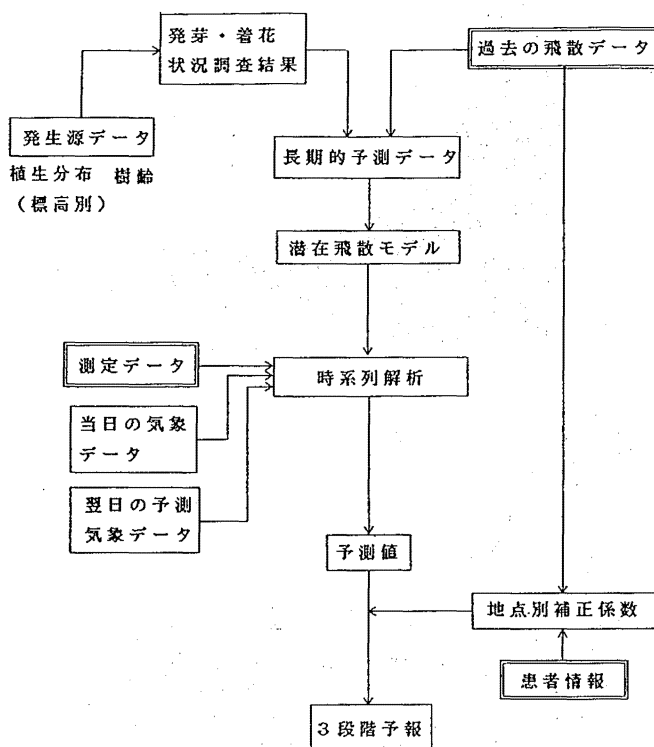


図7 予測式作成フローシート

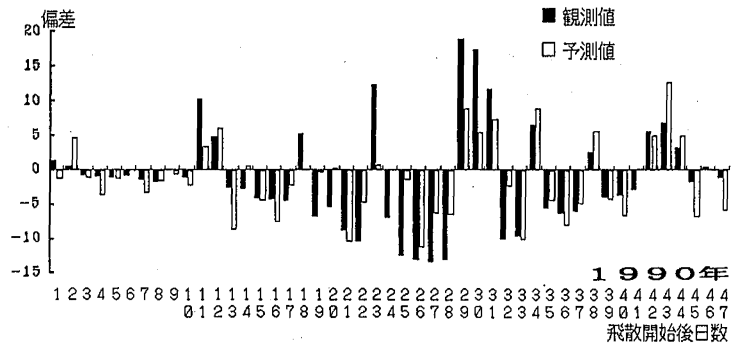


図8 観測値と予測値のプロット

Reg_{n+1} : $n+1$ 期の重回帰からの値

S_n : n 期の F の観測値

Reg_n : n 期の重回帰からの値

AR1: 1 次の自己回帰係数

X_1 : 平均気温偏差, X_2 : 総降水量

X_3 : 拡散パラメータ, X_4 : 日射量

ε_{n+1} : 誤差値 (平均値 0, 分散 σ^2)

なお, 事前に自己回帰係数を求め, 自己回帰の次数を確認する必要がある。

また, 図 7 には, これまで述べた要因を用いて予測式を作成するまでの流れを示した。

3) 解析結果

図 8 には花粉測定値と自己回帰モデルからの予測値との残差のプロットを示した。

解析の対象とした観測データは, 総飛散量が最も多かった 1990 年のものである。その理由は, 総飛散数の多い年の測定値は, 気象要因や発生源および拡散について多くの情報量があり解析に適していることによる。

潜在飛散値は実際の測定値より大きく設定されているため, Logistic 曲線との誤差は負の方に傾くとともに, 全体的な変動は最高値を示すシーズン半ばを中心として変動幅が大きい。ここでは, モデルの残差分散を一定にする目的で測定値とモデルから得られた予測値の差の平方変換値を従属変数として採用した。負の分に対する補正は Z 変換等の手段を検討する余地がある。ただし, 実際の飛散予報はこの結果を元のモデルに戻して 3~4 段階の区分で行なうのであるから実用上の適合度はさらに向上する。

D. 日飛散数予報と患者発生情報

花粉の観測は, 全国の様々な場所で実施されているが, 発生源であるスギ林からの距離や地形もまた様々である。今回は, これらの地域の特性に関連した要因について分解しながら解析することで, 結果的にはどの地域でも適用可能なモデルの作成を検討した。

スギ花粉情報は, 当該年の潜在総飛散量と飛散開始日

の予測が第一義的であり, 日飛散数の予測情報はそれを補完するものとわれわれは解釈している。なお, 予想総飛散量とは, 潜在飛散量に当該飛散年の予想気象データを加味して決定すべき情報である。

今回はこの日飛散数の予測に関して, 発生源の状態及び拡散現象を考慮した多変量時系列モデルを用いて予測が可能であることを示したが, 潜在総飛散量や予想総飛散量および飛散開始日についての予測方法は別の機会に述べる予定である。

一般的に, スギ花粉の測定値とは, 市街地での地上の大気中の花粉観測値を指すのであり, スギ林の情報つまり潜在的飛散情報を現すものではない。たとえば, 観測点において小さい値が得られたからといって, 必ずしもスギ林に潜在的にスギ花粉量が少なかったとは言えない。日飛散数のデータの他に年単位の飛散データについても同様であるが, この点に関しては, しばしば混同して解析されている場合がある。

花粉は地域の中のどの地点においても一様な濃度で存在するのではなく地点によって当然異なった値を示す。したがって, 対象とする地域の範囲にもよるが, 同一地域でも観測点の場所が異なれば測定値が異なることになる。さらに, 同一観測点でも高さが異なれば測定値が異なる。

これらのことは, 地域単位に予報活動を行なう際には, 観測点毎に測定値を標準化することが必要であり, そのためには, 観測点毎に重みをつけるなどの補正が必要であることを示唆している。測定方法が異なるときにも同様の事がいえる。われわれは, この標準化のための手段としては, やはり“地域の患者発生情報”との関連から行なうべきものと考えている。すなわち, 段階方式での予報の際の境界値は観測点毎に設定する必要があることになる。

地域単位の予報活動を行う場合, 外来患者数やモニターにより当該地域の患者発生状況を把握することが必要である。

最近、観測点において花粉が確認される前に患者発生が確認される場合があるが、この原因には観測点がスギ林（発生源）から離れすぎていることが一因としてあげられる。この点については観測点をスギ林の中に設けるなどの方法が考えられる。いずれにしても患者発生情報と当該地域の観測点での測定値を相互に比較検討して、それぞれの観測点での予測値に基づいて予報を提供する方式が望ましい。今回検討した予測方法はこのような地域単位の観測点での数値予測において役立つものと思われる。

最後に、気象データの提供を受けた日本気象協会秋田県支部、拡散資料の提供を受けた秋田県生活センターの佐藤信也氏に深謝いたします。

なお、この内容は、第4回日本アレルギー学会春期臨床集会（横浜市）において発表した。

文 献

- 1) 宗信夫たち：スギ花粉飛散予報と予測式について，JOHNS, 4, 197～200 (1988)
- 2) 柴原義博たち：スギ花粉飛散予報（仙台地方の現状），アレルギーの臨床, 10, 102～104 (1990)
- 3) 竹中洋：スギ花粉指数予報（京都地方の現況），アレルギーの臨床, 10, 99～101 (1990)
- 4) 川島茂人：スギ花粉飛散量分布の即時推定，気象, 34, 10762～10765 (1990)
- 5) 原子力気象調査会：拡散沈着に関する総合調査報告書, 118, 299 (1961)
- 6) 環境庁大気保全局大気規制課：窒素酸化物総量規制マニュアル，公害対策研究センター
- 7) 平英影たち：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，アレルギー, 40, 1200～1209 (1991)