

# 気象予報を用いたスギ花粉の日飛散量予測

図子光太郎\*, 平 英彰\*\*, 寺西 秀豊\*\*\*, 劔田 幸子\*\*\*

## The prediction of daily amount of pollen dispersal of *Cryptomeria japonica* using weather forecast

Kotaro ZUSHI\*, Hideaki TAIRA\*\*, Hidetoyo TERANISHI\*\*\*, Sachiko KENDA\*\*\*

日花粉飛散量の予測を目的に、シーズンを通じた花粉飛散量の推移パターンについて、積算気温を説明変数にモデル化を行った。解析に用いた花粉飛散量のデータは、1991年から2000年までの間に、富山県の常願寺川沿いの山間部3箇所(M-1, M-2, M-3)と平野部3箇所(P-1, P-2, P-3)のスギ花粉観測点における観測結果である。積算気温を変数に用いたモデル式はP-1, P-2, P-3およびM-1でほぼ一致した。モデル式から求めた日花粉飛量の推定値と実測値との差について、気温以外の気象因子を説明変数とする重回帰式を求めた。モデル式で求めた日花粉飛散量を重回帰式で補正することによって、比較的よい精度で、日花粉飛散量の推定が可能となった。

### 1. はじめに

スギ花粉症予防の第一は、抗原となるスギ花粉からの回避にある。花粉症は、スギ花粉が一定量以上飛散しないと発症しないといわれており(石崎1979, 堀口ら1965), 発症者数と毎日の花粉飛散量との間に高い相関があることが報告されている(平ら1995)。これらのことから、毎日の花粉飛散量がどの程度なのかをあらかじめ把握することは、予防対策を図る上で意義深い。

毎日の花粉飛散量の予測については、高橋ら(1996)によって、アメダス情報を利用したシミュレーション法が、森ら(1994)および柴原ら(1988)などによって、気象予報を利用した統計的手法によるものが報告されている。また、石津(1987)は日花粉飛散量といくつかの気象因子との関係について統計的に検証し、影響度の高い気象因子を明らかにしている。しかしこれらの報告の多くは、スギ林の開花状況の変化について、あまり考慮していない。花粉シーズン中のスギ林の開花の進捗は、花粉飛散

期全体を通じた飛散量の推移に影響する。たとえば、開花の初期や終息期では、花粉飛散に適した気象条件であっても、大量の花粉が飛散することはない。逆に開花の最盛期には、日照時間や風向などの条件にかかわらず、多量の花粉が飛散することがある。花粉飛散シーズン全体を通して、適正な予測を行うためには、スギ林の開花状況を予測に反映させる必要がある。

スギ雄花の開花現象については、気温の影響が顕著であることが明らかにされている(橋詰1973)。また我々は、スギ雄花の発育限界温度がほぼ0℃であり、休眠打破日からある一定の有効積算温度を受けると開花に達することを明らかにした(平ら1992-a)。これらのことから、気温を利用することによって花粉シーズンを通じた花粉飛散量の推移パターンを推定できると考えた。

そこで、積算気温とスギ花粉飛散量の推移パターンとの関係について検討し、この関係を取り入れ、気象予報値による日花粉飛散量の予測を試みたので

\* 林業試験場, \*\* 新潟大学大学院自然科学研究科, \*\*\* 富山医科薬科大学医学公衆衛生学教室

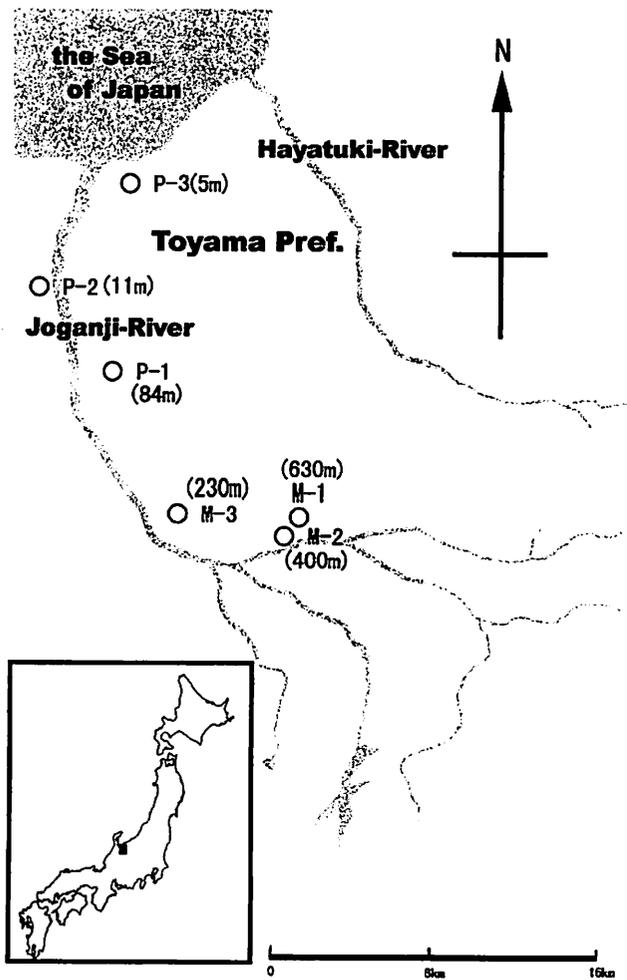


図-1 常願寺川沿いのスギ花粉飛散量の観測点  
 Fig-1 Observation points of atmospheric pollen count along Joganji-River.

○: Observation points of atmospheric pollen count.  
 Figures in parentheses are the altitude.

報告する。

## 2. 方法

### 2.1 花粉観測データ

我々は、1991年より富山平野の中央部を流れる常願寺川沿いの6箇所の観測点において、花粉観測を継続している。各観測点は図-1のように配置されており、山間部にあるM-1、M-2、M-3と平野部にあるP-1、P-2、P-3とに大別できる。山間部の観測点は、いずれも近傍に花粉発生源となりうるスギ林が存在する。一方、P-1は水田地帯に、P-2およびP-3は市街地に、それぞれ位置しており、周囲にまとまった面積のスギ林は存在しない。花粉の採取は、ダーラム型サンプラーにより、毎年2月15日

表-1 各観測点における1991年から2000年までの平均総花粉飛散量

Table-1 Average total pollen counts of sugi from 1991 to 2000 at each observation point.

(/ cm <sup>3</sup> )					
M-1	M-2	M-3	P-1	P-2	P-3
1399	4419	2715	2807	1624	1292

から5月15日まで毎日行なわれている。サンプラーのスライドグラスは毎朝9時に設置し、9時から24時間内に採取されたスギ花粉数を設置日の日飛散量とした(劔田ら1991)。このようにして得られたデータのうち1991年から2000年までの10年間分を本研究の解析に供した。なお、各観測点における過去10年間の年平均花粉飛散量は表-1に示したとおりである。

### 2.2 データの解析

スギ花粉は明確な飛散シーズンを有するが、微量なレベルでは年間を通じて観測される(平ら1992-b)。このため、花粉飛散の開始日や終了日を厳密に定義することは困難である。そこで、観測期間中の花粉飛散量の合計に対し、日花粉飛散量の積算値が1%を超えた日を花粉飛散開始日とし、同じく99%を超えた日の前日を花粉飛散終了日とした。これにより定義された飛散開始日は、開花を確認するために設けた標高別定点スギ林分において、最も開花の早い林分(標高8m)のスギ林開花日(開花個体本数割合15%以上)と概ね一致する(平ら1991)。さらに、飛散開始日から飛散終了日までに観測された花粉飛散量の合計を総花粉飛散量とした。また、日花粉飛散量の積算値が3%を超えた日から97%を越えた日の前日までを飛散最盛期とした。常願寺川流域では、標高100m未満のスギ林面積は全体の1%以下であり、大部分のスギ林は標高100mから標高800mに集中する(富山県農林水産部2000)。飛散最盛期は、標高100mから800m付近の開花期に概ね相当することが確認されている(平ら1991)。

解析に供した気象データは富山地方気象台(富山市石坂)における観測値である。このうち、解析に用いる気象因子は、飛散量予測を目的とすることから、予報として容易に入手できるものが望ましい。そこで、それぞれ毎日の平均気温、降水量、日照時間、相対湿度、風向および風速の6因子を検討気象因子として選択した。なお、飛散量予測値の精度の

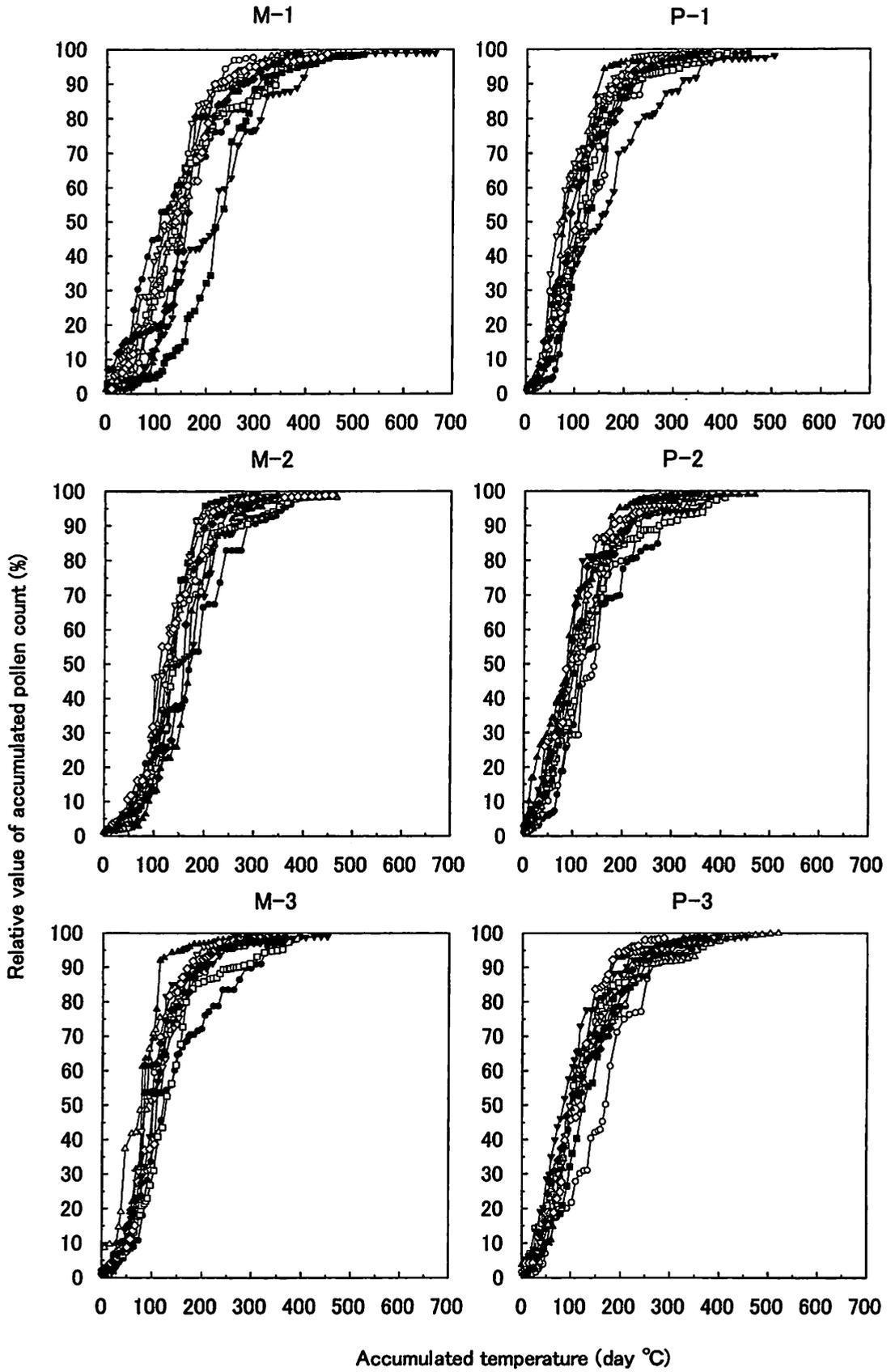


図-2 積算気温に対する相対花粉飛散量の積算値の変化

Fig.-2 Changes in the relative values of cummulative pollen counts with accumulated temperatures from first day of pollen scattering.

○ : 1991, ● : 1992, □ : 1993, ■ : 1994, △ : 1995, ▲ : 1996, ▽ : 1997, ▼ : 1998, ◇ : 1999, ◆ : 2000

検証には、日本気象協会より前日の正午に発表された6気象因子についての予報値を使用した。

相対積算花粉飛散量と積算気温の関係の回帰に際しては統計解析ソフト SPSS (SPSS Japan Inc) の Levenberg-Marquard 法による非線形回帰分析を用いた。また、スギ花粉飛散に対する気象因子の影響解析は、飛散最盛期を対象に、同ソフトの重回帰分析によって行った。気象因子の中で類別データ(風向)についてはダミー変数に変換し、その他のデータについては実数をそのまま用いた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 相対積算花粉飛散量と気温との関係

気温と花粉飛散量との関係を明らかにするため、積算気温に対する日花粉飛散量の積算値の推移について検討した。この際、観測点や観測年の違いにかかわらず、積算気温に対する積算花粉飛散量の推移を比較できるようにするため、総花粉飛散量を100とする相対値を用いた。図-2は、相対日花粉飛散量の積算値と積算気温との関係を示したものである。総飛散量、花粉飛散期間および気象条件などは年によって大きく異なるにもかかわらず、相対積算花粉飛散量の推移は、積算気温に対し毎年ほぼ同様のシグモイド曲線を示すことが明らかとなった。これは、スギ雄花の開花の進捗が主に積算気温によって支配され(平ら1992-a)、そのようなスギ林の開花状況を反映して、相対積算花粉飛散量の推移パターンが概ね決定されるためと考えられる。

各観測点の相対積算花粉飛散量の推移パターンが、年度の違いを通して概ね同様であることから、積算気温を説明変数とすることで、標準的な相対積算花粉飛散量の推移モデルを作成できると考えた。そこで、比較的自由度の高いシグモイド型非線形式をモデル式として採用し、図-2に示した各観測点における積算気温と相対積算花粉飛散量との関係を(1)式について非線形回帰分析することにより、定数を決定した。

$$Y_t = 100 \times \exp \{ a \times \exp ( b \times X_t ) \} \dots\dots (1)$$

$Y_t$  : t日までの花粉飛散量の相対積算値 (%)  
 $X_t$  : t日までの積算気温 (日℃)  
 $a, b$  : 定数

図-3に各観測点の回帰式および回帰曲線を示した。各回帰式の決定係数は0.9以上であることから、

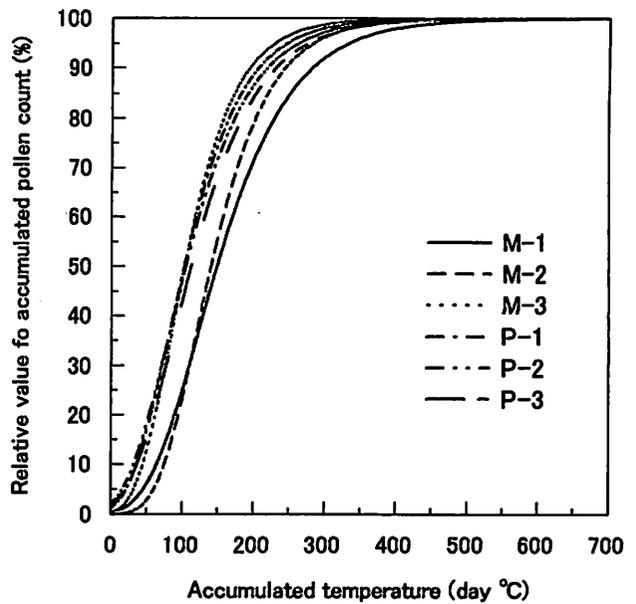


図-3 各観測点における積算気温と花粉飛散量の積算値との間の回帰曲線

Fig.-3 Fitting curves in relationship between accumulated temperatures and relative values of cumulative pollen counts at each observation point.

$$M-1 : Y_t = 100 \exp \{ -5.713 \times \exp(-0.0143X_t) \}, R^2 = 0.906$$

$$M-2 : Y_t = 100 \exp \{ -9.041 \times \exp(-0.0184X_t) \}, R^2 = 0.966$$

$$M-3 : Y_t = 100 \exp \{ -5.811 \times \exp(-0.0208X_t) \}, R^2 = 0.953$$

$$P-1 : Y_t = 100 \exp \{ -4.411 \times \exp(-0.0182X_t) \}, R^2 = 0.954$$

$$P-2 : Y_t = 100 \exp \{ -3.902 \times \exp(-0.0167X_t) \}, R^2 = 0.962$$

$$P-3 : Y_t = 100 \exp \{ -4.118 \times \exp(-0.0160X_t) \}, R^2 = 0.964$$

これらの回帰式は積算気温に対する相対積算花粉飛散量との関係を表す実用的なモデルとして採用できると考えられた。

山間部の M-1, M-2 および M-3 のモデル曲線の推移は、それぞれ異なるパターンを示した。平(1991)は、気温に対するスギの開花特性が標高によって異なることを指摘した。山間部のモデル曲線が異なるのも、最も影響を受けやすい観測点近傍のスギ林の開花特性が、標高の違いを受け、それぞれ異なるためと考えられる。

一方、平野部の P-1, P-2 および P-3 のモデル曲線は、ほぼ同様な推移を示した。これは、これらの点で観測される花粉の主な発生源となるスギ林がほぼ同様な開花特性を有しているためと考えられる。また、これらのモデル曲線は M-3 のモデル曲線とも概ね一致することから、標高100~300m 付近の比較的低い標高のスギ林が主な発生源となっている可

能性がある。

平野部の各観測点における積算気温に対する積算花粉飛散量の推移は、概ね一致しており、1つのモデル曲線で代表させることは実用上問題ないと考えられる。

### 3.2 その他の気象因子の影響

日花粉飛散量と気象因子との関係を調べたいいくつかの報告(石津1987, 高坂1987, 柴原ら1988)からも明らかなように、日花粉飛散量には、気温だけでなく、日照時間、降水量および風速などの影響が指摘されている。気温以外のこれらの気象因子は、花粉の発生源から落下地点までの運搬に深く関与していると考えられる。

そこでモデル式によって計算された花粉飛散量と実測値との差は、気温以外の気象因子によって説明できると考えた。そして、この差とモデル式より求めた相対日花粉飛散量の計算値に対する比を相対残差量として(2)式のように定義し、

$$RREL = \frac{V_o - V_c}{V_c} \dots\dots\dots (2)$$

$RREL$  : 相対残差量

$V_o$  : 相対日花粉飛散量の実測値

$V_c$  : モデル式より求めた相対日花粉飛散量の計算値

これに対し、降水量、相対湿度、日照時間、風向および風速について、重回帰分析を行った。その際、変数投入のためのFの確率を0.05以上および変数除去のためのFの確率を0.10以下とするステップワイズ法を採用した。その結果、M-1, M-2, M-3, P-1, P-2 および P-3 について、それぞれ(3),

(4), (5), (6), (7)および(8)の重回帰式が導かれた。

$$RREL = 0.010 + 0.065X_1 - 0.022X_2 - 0.32X_4 \dots\dots\dots (3)$$

$$RREL = -0.045 + 0.080X_1 - 0.021X_2 - 0.36X_4 \dots\dots\dots (4)$$

$$RREL = -0.15 + 0.057X_1 - 0.020X_2 \dots\dots\dots (5)$$

$$RREL = -0.35 + 0.070X_1 - 0.021X_2 + 0.30X_3 \dots\dots\dots (6)$$

$$RREL = -0.26 + 0.065X_1 - 0.015X_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$RREL = -0.27 + 0.088X_1 - 0.014X_2 - 0.37X_4 \dots\dots\dots (8)$$

$RREL$  : 相対残差量

$X_1$  : 日照時間 (hour/day)

$X_2$  : 降水量 (mm/day)

$X_3$  : 風向 (南)

$X_4$  : 風向 (西)

それぞれの重回帰式の有意確率は全て0.1%以下となり、相対残差量が気温以外の気象因子の影響を受けることが判明した。よって、モデル式より求めた相対日花粉飛散量の計算値を、これらの重回帰式により気温以外の気象因子の影響として補正することは、妥当と考えられた。

表-2に、この重回帰分析の結果得られた標準化偏回帰係数を示した。いずれの観測点においても、解析に用いた気象因子の中で、日照時間の影響量が最も大きく、日照時間が長いほど相対残差量が増加する傾向にあった。また、全ての観測点で降水量が多いと相対残差量が減少する傾向にあり、P-3をのぞいて、その影響量は日照時間に次いで大きかった。一方、相対残差量に対する風の影響は観測点によって異なった。M-1, M-2 および P-3 では、西風により相対残差量が減少し、とくにP-3ではその影響量が降水量のそれを上回った。P-1では、南風により相対残差量が増加し、M-3 および P-2 では、風

表-2 相対残差量と気象因子との間の重回帰分析によって得られた標準化係数

Table-2 Standardized partial regression coefficients obtained by the multiple regression analysis between the relative residuals and meteorological factors.

	Insolation duration	Precipitation	Relative humidity	Wind direction (West)	Wind direction (South)	Wind direction (North)	Mean wind speed	R <sup>2</sup>
M-1	0.172**	-0.129*	-	-0.102*	-	-	-	0.079
M-2	0.229***	-0.136*	-	-0.115*	-	-	-	0.118
M-3	0.180**	-0.135*	-	-	-	-	-	0.077
P-1	0.281***	-0.172**	-	-	0.120*	-	-	0.171
P-2	0.232**	-0.121*	-	-	-	-	-	0.099
P-3	0.327***	-0.117*	-	-0.164***	-	-	-	0.192

\*, \*\*, \*\*\* Significant at the 0.05, 0.01, 0.001 probability levels, respectively

M-1 : n = 403, M-2 : n = 313, M-3 : n = 313, P-1 : n = 352, P-2 : n = 362, P-3 : n = 393

向について有意な影響は認められなかった。相対湿度および平均風速については、いずれの観測点においても、有意な影響は認められなかった。

以上のように、日照時間および降水量については、観測点の違いにかかわらず、影響量に多少の違いがあるにせよ、相対残差量に対し、同様な傾向を示した。しかし、風向については、観測点に応じて、大きく異なる傾向を示した。

### 3.3. 相対日花粉飛散量の予測と精度

観測点 P-1, P-2 および P-3 について、1998年から2000年の気象予報値を用いて、日花粉飛散量の予測を行った。予測値は、まず標高 8 m におけるスギ林の開花日を起算日に積算気温を算出し、図-3に示した式より日平均気温の予測値から相対日花粉飛散量を算出した。そして(6), (7)および(8)式の変数にそれぞれの予報値を投入し、気温以外の気象因子による補正を行った。図-4は、その一例として、2000

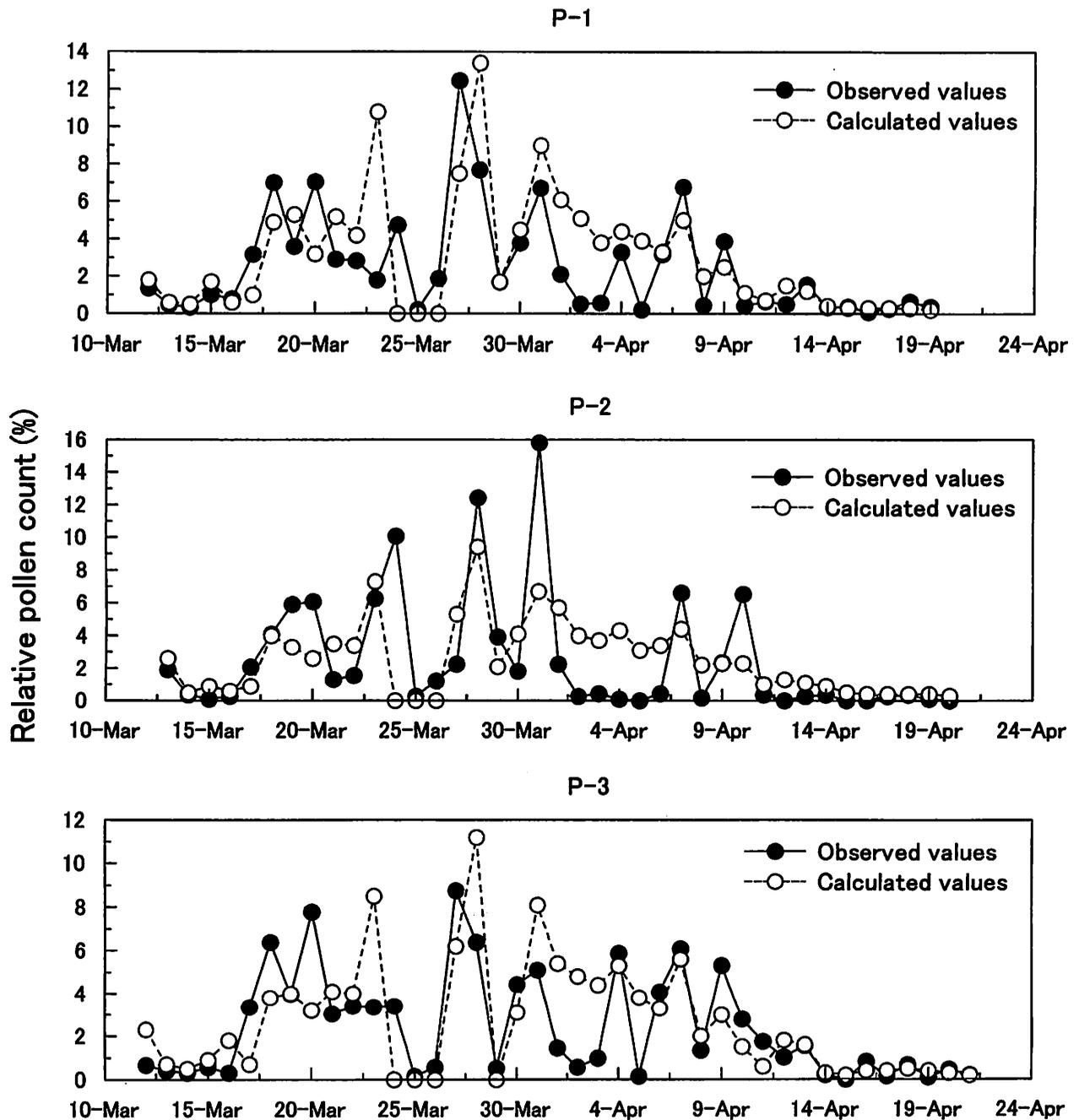


図-4 P-1, P-2 および P-3 における相対日花粉飛散量の推定値と実測値との比較 (2000年)

Fig.-4 Comparison of calculated values and observed values in relative values of daily pollen count at P-1, P-2 and P-3 in 2000.

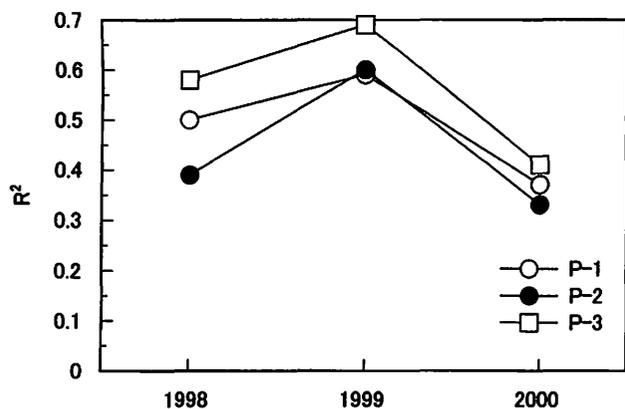


図-5 1998年から2000年までのP-1、P-2およびP-3における相対日花粉飛散量の予測値と実測値との間の決定係数

Fig.-5 Coefficients of determination between calculated values and observed values in relative values of daily pollen count of P-1, P-2 and P-3 from 1998 to 2000.

年のP-1、P-2およびP-3の相対日花粉飛散量の予測値と実測値を比較したものである。なお、実際の花粉飛散量の予測に際しては、この相対日花粉飛散量と花粉シーズン前に予測しておいたシーズン中の総花粉飛散量との積を求め(平ら1997)、単位面積あたりの個数として発表される。

実測で得られた多くの飛散ピークは、計算によっても概ね再現され、実用的な精度が得られた。しかし、ピークの出現日が予測値と実測地との間で、1日程度ずれる場合が見受けられた。これは、予報による気象の変化と現実の気象の変化との間で時間的なずれがしばしば発生することや、花粉観測が9時を基準に24時間としているのに対し、気象データは0時を基準に24時間としていることなどが影響していると考えられる。

図-5に1998年から2000年までの観測点P-1、P-2およびP-3における相対日花粉飛散量の予測値と実測値との間の決定係数を示した。決定係数は0.3から0.7の範囲で、観測点や年によって大きく異なったが、概ねP-3、P-2およびP-1の順で高かった。

#### 4. おわりに

富山県の常願寺川沿いのスギ花粉観測点における1991年から2000年までの10年間のスギ花粉飛散量データを基に、シーズンを通した花粉飛散量の推移パ

ターンについて、積算気温を変数にモデル化を行った。そして、このモデル式を、その他の気象因子の影響について、補正することによって、気象予報値を基にした日花粉飛散量の予測が可能となった。

本報では、日単位で発表される気象観測値を基に日花粉飛散量の解析を行った。しかし、気象条件は時々刻々変化しており、空中花粉量もそれに伴い変化する。今後、さらに予測精度を高めるためには、このような時間的な変化にも対応した観測を行い、それと気象との関係を解析していく必要がある。

#### 引用文献

橋詰隼人: 林木の交配に関する基礎的研究 (V), 鳥取大農演報, 25, 81-96 (1973).

堀口申作, 齊藤洋三: 空中飛散花粉の検索とその臨床的意義, 日耳鼻, 68, 974-981 (1965).

石崎 達: 花粉アレルギー, p19-70, 北隆館, 東京 (1979).

石津吉彦: 山陰地方におけるスギ花粉飛散状況とスギ花粉症, アレルギー, 36, 61-71 (1987).

劔田幸子, 寺西秀豊: 空中花粉検索法 (2), 花粉症研究会会報, 2, 19-22 (1991).

森繁人, 斎藤 等, 五十嵐充, 他: 数量化理論II類による毎日のスギ花粉飛散予報, 耳鼻臨床, 87, 767-772 (1994).

高坂知節: スギ花粉症と気象条件, 日本医事新報, 3275, 121 (1987).

柴原義博, 高坂知節: スギ花粉予報の方法と検討, JOHNS, 4, 61-65 (1988).

高橋裕一, 川島繁人, 相川勝悟: 空中スギ花粉シミュレーション法を用いた花粉情報, アレルギー, 45, 371-377 (1996).

平英彰, 他: 平均気温, 全天日射量および着花指数を用いたスギ空中総花粉飛散数の予測方法に関する比較検討—富山県における事例—, アレルギー, 46, 489-495 (1997).

平英彰, 庄司俊雄, 寺西秀豊, 劔田幸子, 槻陽一郎: スギ雄花の花粉飛散特性とスギ花粉症患者の発症との関連性について, アレルギー, 14, 467-473 (1995).

平英彰, 寺西秀豊, 劔田幸子: スギの花粉飛散開始日の予測について—植物生理の観点から—, アレルギー, 41, 86-92 (1992-a).

平英彰, 寺西秀豊, 劔田幸子: 季節はずれのスギ花粉飛散について, アレルギー, 41, 1466-1471 (1992-b).

平英彰, 寺西秀豊, 劔田幸子, 槻陽一郎, 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年における富山県の例—, アレルギー, 40, 1200-1209 (1991).  
富山県農林水産部: 平成10年度版富山県林業統計書, 145pp, 富山県農林水産部, 富山 (2000).

### Summary

To forecast the daily amount of pollen dispersion of *Cryptomeria japonica*, the changes in cumulative values of pollen dispersal counts were modeled using accumulated temperatures. The data used were observed at three points (M-1, M-2, M-3) of mountainous parts and three points (P-1, P-2, P-3) of plains along Joganji-River from 1991 to 2000. The models of P-1, P-2, P-3 and M-3 almost corresponded to each other. The relative values of the difference between calculated values by the model and observed values were defined as the relative residuals. And the regression equations were obtained by multiple regression analysis of the relation between the relative residuals and the meteorological factors. The estimations of good accuracy became possible by correcting the model by the regression equation.