

スギの地理情報に基づくスギ花粉飛散量の予測手法について

佐藤信也 原田誠三郎 高山憲男*¹ 笹嶋肇*² 高階光榮

当センターでは、県内3ブロックの翌日のスギ花粉飛散予報を提供してきたが、予報の地理的・時間的な精度を向上させるため、地理情報をベースにしたメッシュ単位のスギ花粉飛散量予測を試みた。スギの森林情報、気象情報を5Kmメッシュで整理し、スギ雄花の開花、スギ花粉放出、拡散、沈着をモデル化し、各メッシュにおけるスギ花粉濃度を3時間刻みで予測することとした。計算作業及び表示画面作成は、パソコン上で動作するプログラムにより自動化した。予測精度は、2005年～2008年における再現性で評価したところ、飛散開始や終了時期の見極めについては改善の余地があるが、4段階濃度区分で評価した実測値との一致率は約70%で、従来の予報の一致率と同程度であった。

1. 背景と目的

日本におけるスギ花粉症罹患者数は、人口の約16%と考えられている。¹⁾本県では、スギ林の面積が全国1位で県の総面積の三分の一を占めており、県民のスギ花粉の飛散に対する関心も高いことから、当センターでは、血清中の抗体保有状況や大気中の花粉濃度などの調査・研究²⁾を行うとともに、秋田県のスギ花粉症予防対策事業の一環として、県民にスギ花粉予報³⁾を提供してきた。しかし、この観測や予報については、地理的な精度や時間的な精度、代表性の問題や観測に要する労力などの課題が認識されていた。そこで、当センターでは、平成16年度から平成19年度まで政策研究「スギ花粉症におけるスギ花粉飛散量と患者の症状発現の関係及び予防に関する研究」を行った。本報告では、この研究の中から、スギ花粉予報の地理的・時間的な精度向上に関する研究結果について報告する。

当センターの従来の予報は、飛散シーズン前の11月に県内15カ所でスギ雄花芽調査を行い、これを基に飛散開始日と終了日、総飛散数に関する長期予報と、シーズン中の毎日、県内3カ所(大館保健所、当センター、横手保健所)でスギ花粉観測を行い県内3ブロックの翌日の飛散予測数を提供する短期予報であった。そこで、スギ花粉予報の地理的な精度向上のためには、主要河川流域や盆地などの地形の影響を反映できるよう、従来の3ブロックを少なくとも15～25ブロックに細分化する必要があると考えた。また、時間的な

精度向上については、従来の15時～翌日15時の予報時間帯を生活時間に合わせて18時～翌日18時とし、さらに、朝・昼・夕程度の時間帯区分が必要と考えた。しかし、スギ花粉観測結果に基づいて統計的な手法で予報を提供する従来の方法ではスギ花粉観測地点を増やさなければならぬため現時点では現実的ではなく、他の方法が必要であった。

スギ花粉の飛散予測に関する既存の研究は、次のとおりである。川島⁴⁾は、リモートセンシングにより得られたスギ林情報を用いて開花日・飛散開始日を予測し、アメダスによる気象情報を用いた移流拡散モデルによりスギ花粉濃度を算出する方法を提案した。神田⁵⁾は、大規模気象モデルを用いた四次元拡散モデルをスーパーコンピュータを利用して計算する方法を提案した。また、Delaunay⁶⁾は、森林情報を用いて拡散シミュレーションを行うとともに、対象地域内に設置された多数のセンサーにより観測した大気中のスギ花粉濃度を用いて予測の校正を行う方法を提案した。

そこで、当センターでは、スギ花粉観測を必要としない予測方法として、モデル化による飛散予測の手法を基本とし、当センターが利用可能な資源と技術を用いたスギ花粉濃度の予測方法を検討することとした。基本構想としては、県全域をメッシュ化しスギ花粉の発生源であるスギ林の情報を各メッシュに設定するとともに、スギ花粉の放出・拡散をモデル化して各メッシュにおける

*¹: 現 秋田地域振興局福祉環境部, *²: 現 由利地域振興局福祉環境部

スギ花粉濃度を予測することとした。計算や作図などの作業はパソコン上で処理するとともに、過去のスギ花粉観測結果と気象実況値を用いて再現性を高めることとした。

2. 方法

地理情報は、国土地理院の3次メッシュ(5 Km 四方)を基本として整理することとし、気象情報には20 Km メッシュを用いることとした。2種のメッシュの関連は、図1のとおりである。また、時間帯区分は、3時間刻みとした。

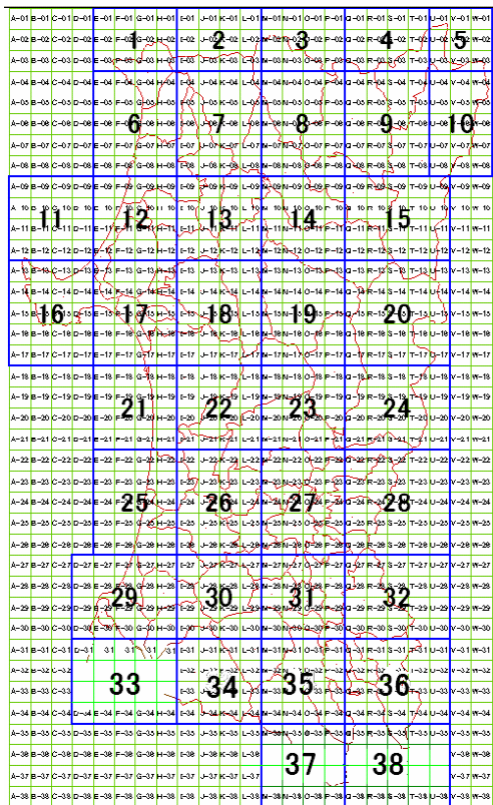


図1 基本メッシュと気象メッシュ

※小さなメッシュが基本メッシュ、大きなメッシュが気象メッシュである。

スギ花粉濃度の予測方法は、「スギ花粉放出」と「飛散」の2ブロックとし、「スギ花粉放出」ブロックは、さらに4要素(①スギ林の位置と樹齢に関する情報、②雄花の着花状況の推定、③スギ花粉放出が可能になる時期と放出可能量の推定、④スギ花粉の放出時期と放出強度の推定)に分け、スギ林からスギ花粉が放出される時期と強度を予測することとした。「飛散」ブロックでは、自由落下と沈着を考慮した拡散式によりスギ花粉濃度を計算することとした。以下に、各ブロッ

クの詳細を説明する。

「スギ花粉放出」ブロックの4要素については、次式のように各要素の積で表すこととした。

$$Q = K \cdot A \cdot B \cdot P \cdot O \quad (2.1)$$

ここに、Kは定数であり、A、B、P、Oは次のように定義される関数である。

$$\left. \begin{aligned} A &= S \cdot I, \\ B &= 2\ell, \\ P &= F_o \cdot L, \\ L &= \frac{1}{1 + \varepsilon \cdot \text{Exp}(-\beta \cdot t)}, \\ O &= \zeta \cdot \Delta T + \eta \cdot \Delta W + \omega \end{aligned} \right\} (2.2)$$

関数Aにおいて、S:スギ林面積(ha)、I:林齢指数(スギ林の林齢10年未満のとき0.02, 20年未満のとき0.1, 30年未満のとき0.41, 80年未満のとき0.95, 80年以上1.0とした。)である。スギ林の位置、樹種、樹齢、面積などの森林情報は、国と県から500 mメッシュで入手したものを5 Kmメッシュに統合することとした。

関数Bは、着花状況を表す指数で、平均雄花芽長 ℓ (cm)の2倍とした。県内15地点の前年の結果を基にして、県内3ブロックの指数平均値を求め、これを各ブロック内の各メッシュの指数として用いることとした。

関数Pは、スギ花粉の放出能を表す。 F_o は開花期間関数で、開花予測日の前日までは0、開花予測日以降は1の値を持ち、開花が終了した時点で0となる。開花の終了時期は、各メッシュに時計を持たせ、開花期間 d (日)から経過時間を差し引いていき、残り時間がゼロになったときに開花が終了したと判定することにした。ただし、ある時間帯の気温が5度未満又は降水量が3 mm以上のときには、その時間帯におけるスギ花粉放出が延期されると考え、残り時間を次の時間帯に繰り越すこととした。

関数Lは、開花後にスギ花粉の放出が徐々に始まりピークを迎えた後は徐々に減少して終息する様子を再現するため、開花中のスギ花粉放出能の変化をロジスティック曲線⁷⁾を用いて表現したもので、 ε, β は定数、 t は経過日数である。開花日は、川島らの予測式⁸⁾を県内の実態に合わせて補正し、次式により予測することとした。

$$D_f = k(a_0 \cdot H + b_0 \cdot T) + c. \quad (2.3)$$

ここに、 H ：標高(m)、 T ：1月の平均気温のメッシュ内最大値、川島らが定めた定数 $a_0=0.0466$ 及び $b_0=-5.23$ を用いた。定数 k 及び c は、開花期間 d (日) と併せて次の方法で決定することとした。1月の平均気温は、「秋田県農業気象情報」で提供されている1kmメッシュの実況値を用いることとした。

式(2.3)による開花予測日の d 日後を開花終了予測日とし、この開花から終了までの予測期間がスギ花粉が実際に観測されている期間を含むこと、及び、開花から終了までの予測期間の中間日と実測スギ花粉濃度のピーク時期が±10日で一致することを条件として、2001年～2008年の大館市と横手市の観測地点2地点に適用して、これらの定数の最適値を検索することとした。秋田市の観測地点を用いなかったのは、大館市と横手市の観測地点は周囲をスギ林に囲まれており、同一メッシュのスギの開花がスギ花粉観測結果に反映されやすいが、秋田市の観測地点は、近傍にスギ林がないことから、同一メッシュのスギの開花がスギ花粉観測濃度に反映しにくいと考えたからであった。

関数 O は、川島らの理論⁹⁾に基づくスギ花粉の放出強度であり、 $\zeta=1.3$, $\eta=1.2$, $\omega=0.63$, ΔT ：当日の最高気温と前19日間の日最高気温の平均値との差、 ΔW ：当日の最大風速と前19日間の日最大風速の平均値との差である。ただし、 ΔT や ΔW が負となる場合は、ゼロとして取り扱うこととした。

「飛散」ブロックでは、発生源強度 Q の発生源から放出され拡散したスギ花粉の濃度は、自由落下と沈着を考慮した拡散式¹⁰⁾を用いて(2.4)式により計算することとした。

ここに、 $C(x,y,z)$ は、観測地点 (x,y,z) におけるスギ花粉濃度で、座標系は、発生源を原点とし、風下方向を+x軸、これと直角に水平方向にy軸をとり、垂直方向にz軸をとった。 u ：風速(m/sec)、 Λ ：大気中のスギ花粉の降雨による洗浄率、 h ：発生源の高さ(m)、 V_s ：スギ花粉の重力沈降の最終速度(m/sec)、 $\sigma_y, \sigma_z, \alpha_y, \gamma_y, \alpha_z, \gamma_z$ ：Pasquill-Giffordの拡散パラメータ、である。

式(2.4)により、各発生源から各観測メッシュまでの拡散計算を行い、すべての発生源の影響を

積算して、スギ花粉濃度を求めることとした。この濃度が、スギ花粉観測結果をよく再現するように式(2.1)の定数 K を決定することとした。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{\Lambda x}{u}\right) \cdot \text{Exp}\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\text{Exp}\left\{-\frac{(z-h+V_s \cdot x/u)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \text{Exp}\left\{-\frac{(z+h+V_s \cdot x/u)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \cdot \text{Exp}\left\{-\frac{V_s}{(2\pi)^{1/2}u}\right. \\ \left. \int_0^x \frac{-\alpha_z(t)}{\gamma_z(t)} \cdot \left[\text{Exp}\left\{-\frac{(h-V_s \cdot t/u)^2}{2\gamma_z(t)^2 \cdot t \cdot 2\alpha_z(t)}\right\} + \text{Exp}\left\{-\frac{(h+V_s \cdot t/u)^2}{2\gamma_z(t)^2 \cdot t \cdot 2\alpha_z(t)}\right\} \right] dt \right\}. \quad (2.4)$$

予測の結果は、全県の地図上のメッシュに各メッシュの数値を級別に色分けして分かりやすく表示することとした。各メッシュについて表示する情報としては、気象情報、地理情報、森林情報、スギ花粉発生源情報、スギ花粉飛散濃度情報とした。

以上の予測方法を一つのシステムとして機能させるとともに、各定数を決定するための計算作業を効率よく行うため、パソコン上で動作するアプリケーションを製作することとした。

予測の精度としては、予測手法の精度と気象予報の精度の影響を受けるものと考えられた。しかし、気象予報の精度については、用いる予報によって異なることから、その精度評価については実際に予報を入手した際に行うこととし、本研究では、予測手法の精度を再現性の観点から評価することとした。つまり、気象情報として2005年～2008年の気象実況値をシステムに入力して計算を行い、その結果を実測と比較して飛散開始時期、飛散終了時期及びスギ花粉濃度の再現性を評価することとした。

3. 結果

(1) 秋田県 GIS 花粉情報システム

平成 16 年度に表 1 の仕様でパソコン用アプリケーション「秋田県 GIS 花粉情報システム」（以下、単に「システム」という。）を委託製作した。図 2～図 4 に情報提供画面を例示した。図 2 は、開花状況で、開花したと予測されたメッシュを色分けして表示している。図は 2008 年 3 月 9 日であり、既に 8 日前に沿岸南部から開花が始まっており、これが徐々に北上して秋田市でもスギ花粉の飛散が初めて観測された様子をほぼ正確に再現していた。図 3 は、スギ花粉の予測濃度の表示例（2008 年 3 月 21 日）で、濃度段階に応じてメッシュを色分けしたものである。図 4 は、スギ花粉残率の表示例である。スギ花粉の残率の段階に応じてメッシュを色分けしたものである。

このシステムを利用して必要な定数を決定した。開花日予測式 (2.3) の定数を決定するため、システムにおける低気温、降水による開花日数の延長の実態を調べたところ、開花期間が設定した期間の約 3 倍まで延長されていることが分かったので、「方法」の節において規定した開花終了予測日の定義「式 (2.3) による開花予測日の d 日後」の d を「 $3d$ 」に修正することにした。その結果、最適定数は、 $k=0.8$ 、 $c=60$ 、 $d=15$ と求められた。そこで、2005 年～2008 年の気象実況値 (20Km メッシュ 3 時間毎) を用いてスギ花粉飛散濃度を推計し、県内 3 地点のスギ花粉観測結果との誤差が最小となるような定数 K を求めたところ 3.0×10^{-6} が得られた。

(3) 花粉情報システムの再現精度

システムに気象実況値を用いて 2005 年～2008 年のスギ花粉濃度を推計し、再現性を評価した。森林情報は原則として前年度のものを使用した。（前年度の情報が無い場合は、さらに年度を遡って使用した。）飛散開始時期及び終了時期の再現誤差については、表 2 のとおりであった。再現飛散開始（終了）日と実測飛散開始（終了）日との日数の差を、各年の飛散開始（終了）日の再現誤差とし、表には、観測地点毎に誤差の平均値を示した。飛散開始日の再現については、秋田市と横手市の観測地点では 4 日早めであったが、大館市の観測地点では約 11 日遅れた。3 地点の平均では、約 1 日の遅れであった。また、飛散終了日の再現については、4 日～9 日早目であった。

システムによるスギ花粉濃度の再現精度は、次のとおりであった。各地点の 2005 年～2008 年の

再現値を従来の 4 段階の濃度区分で評価して実測値との一致率を求め地点毎の平均をとると表 3 のとおりで、一致率は各地点及び 3 地点平均ともに約 70% であった。なお、従来の 4 段階予測の濃度区分は、9 個 / cm^2 以下、10 以上 29 個 / cm^2 以下、30 以上 49 個 / cm^2 以下、50 個 / cm^2 以上である。

表 1 秋田県 GIS 花粉情報システムの仕様概要

対応 OS	Microsoft Windows2000 又は XP
入力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国有林, 民有林のスギ林の林齢, 面積(500 m メッシュ)
情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気温, 風向, 風速, 降水量, 日照時間(20 Km メッシュ, 3 時間毎) ・ 雄花芽指数 (県内 3 ブロック)
出力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 森林情報 (面積, 標高, 林齢) ・ スギ花粉発生源情報 (開花の有無, 放出強度) ・ スギ花粉飛散濃度情報 (スギ花粉飛散量, 残率)
情報	<p>※表示は 5,10,15,20 Km メッシュが可能。濃度などの数値を級別に色分け表示。内部の数値を表又はデータベースとして取り出し可能。</p>

表 2 飛散開始日と終了日の再現誤差 (2005 年～2008 年の 1 月 1 日を基点とする日数の再現誤差の平均値※)

観測地点	飛散開始日の誤差 (日)	飛散終了日の誤差 (日)
大館市	10.8	-8.8
秋田市	-4.0	-3.8
横手市	-4.0	-7.8
3地点平均	0.9	-6.8

※正の誤差は、再現日が実測より遅れたことを示し、負の誤差は、再現日が実測より早かったことを示す。

表 3 スギ花粉濃度の再現精度 (2005 年～2008 年の 4 段階濃度区分による推計と実測の一致率の平均値)

観測地点	一致率(%)
大館市	71.5
秋田市	67.4
横手市	70.2
3地点平均	69.7

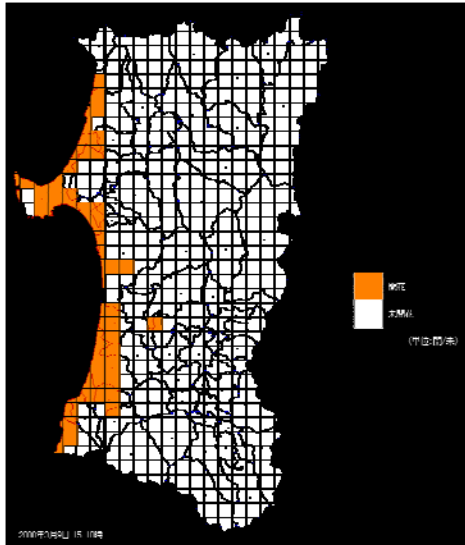


図2 開花状況の表示例(2008年3月9日)

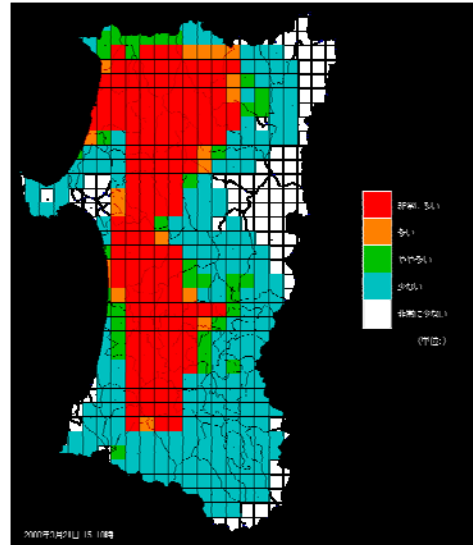


図3 飛散濃度表示例(2008年3月21日)

4. 考察

本研究でスギ花粉の飛散予測に用いた方法は、スギ花粉の観測を必要としない点で観測のコストを低減できるだけでなく、観測地点の制約を受けずに任意の地点の予測が可能となるメリットがある。さらに、一連の予測と画像化をパソコンで自動化できるようになったことにより、この方法を簡便に利用できる環境が整ったといえる。

スギ花粉の飛散予測の結果は、本システムにより、画像として目に見える形で提供されるので、県民は、時々刻々と近づいてくる開花の状況やスギ花粉濃度の予測を見て、心の準備をすることができると共に居住地や旅行先において適切な予防措置を取ることができる。花粉残率の予測も提供されるので、スギ花粉の飛散が時間経過とともに東から西へ終了していく様子は、県民に安心を与えることになる。

予測の精度については、飛散開始時期及び終了時期の再現精度は十分とはいえず、推計手法をさらに改良する余地があると考えられたが、スギ花粉濃度については、従来の予測方法とほぼ同程度と考えられた。予測精度は、再現精度とは異なるので、予測を行う場合には、用いる気象予報の精度を評価するとともに、システムによる予測結果の精度を改めて評価する必要がある。

予測に必要な気象予報は一般に高価であり、雄花芽調査のコストも運用コスト増の要因であり、これらの低減については今後の検討課題と考えている。

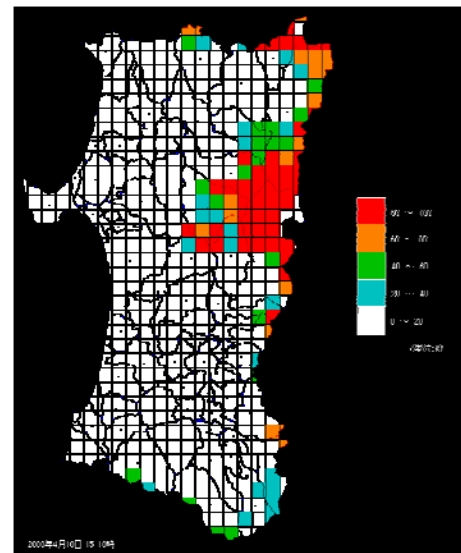


図4 残量分布表示例(2008年4月10日)

5. まとめ

スギ花粉の生産から拡散までの各過程をモデル化することにより、メッシュ単位3時間刻みでスギ花粉濃度を予測するシステムを制作した。このシステムはパソコンで運用することが可能であり、スギ花粉の飛散開始時期、飛散濃度、残量分布などの情報を、時間的・地理的にきめ細かく、目に見える形で提供することにより、県民の予防行動や安心へ貢献することが期待される。このシステムでは、スギ花粉観測を必要としないので、そのコストを低減できるが、メッシュ気象予報の利用によるコスト増や精度確認などの課題がある。

参考文献

- 1) 鼻アレルギー診療ガイドライン作成委員会
:2005年度版鼻アレルギー診療ガイドラインダイジェスト, (株)ライフ・サイエンス, 2005.
- 2) 原田誠三郎, 笹島肇, 圓子隆信, 森田盛大:
秋田県内一般住民の花粉特異IgE抗体保有状況とスギ花粉の空中飛散状況について, 秋田県衛生科学研究所報, **31**,91-93,1987.
- 3) 秋田県のホームページ:美の国あきたネット
→組織別案内→学術国際部→健康環境センター→保健衛生関係→花粉飛散情報
- 4) 川島茂人:スギ花粉拡散過程のモデル化, 環境技術, **32**,No.3,2-9,2003.
- 5) 神田 学:地域気象モデルを用いた花粉飛散シミュレーション, 環境技術,
32,No.3,11-16,2003.
- 6) Jean-Jacques Delaunay, Kurt Fedra, Milan Kubat: Cedar Pollen Forecasting in the Kanto Region, Archives of Complex Environmental Studies, Vol.14,59-64,2002.
- 7) 笹嶋肇, 原田誠三郎, 赤川仁子, 森田盛大:
スギ花粉日飛散予測方法の検討—拡散パラメータを用いた多変量時系列モデルの試み, 秋田県衛生科学研究所報, **36**,57-64,1992.
- 8) 川島茂人, 高橋裕一:広域的なスギ開花日分布の推定手法—スギ花粉の拡散過程に関する研究(IV), 日本花粉学会誌, **39**(2),121-128,1993.
- 9) 川島茂人, 高橋裕一:開花日を考慮したスギ花粉拡散シミュレーション—スギ花粉の拡散過程に関する研究(III), 日本花粉学会誌,
37(2),137-144,1991.
- 10) 浮遊粒子状物質対策検討会:浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル, 東洋出版社, 1997.