

スギ花粉飛散量予測モデルの構築における観測期間長の影響

渥美幸大・矢田 豊

要旨: 1998年～2022年の、スギ空中花粉観測値およびスギ林分における雄花着花状況調査結果を用い、予測モデル作成に使用する観測期間の長さ（サンプルサイズ）が予測モデルの妥当性に与える影響を評価した。5年、10年、15年、20年、25年のデータセットを用いて統計解析を実施した結果、RMSE や情報量基準は期間が短いほど小さくなったが、5年のデータセットを用いた場合、予測値の年次変動が大きくなり、また決定係数が低下する場合があった。以上のことから、直近10年間の観測データセットの採用が妥当であると考えられた。

キーワード: スギ, 花粉症, 空中花粉, 雄花着花量, 飛散量予測

I. はじめに

スギ花粉は花粉症のアレルゲンであり、国内の花粉症の主要な原因である。国民の約4割がスギ花粉症に罹患し、国民病ともいわれ、国をあげての対策が進められている¹⁾。石川県林業試験場（現・石川県農林総合研究センター林業試験場）では、1991年からスギ等空中花粉の観測を²⁾、また1994年からスギ林分における雄花の着花状況調査（以下、着花状況調査）を開始しており、その結果から空中花粉飛散量予測値を得るための推定モデルの検討などを行い³⁾、それらを基にして、毎年空中花粉飛散量の予測や石川県医師会花粉症対策委員会の花粉観測定点としての観測値の報告・公表を実施している。

着花状況調査は、樹冠表面の雄花着生量を目視判定により相対的な指数値にて記録するものであり⁴⁾、樹冠サイズの違いによる絶対的な雄花着生量の違いを判定するものではない。したがって、その指数値と実際の着花量の関係は、調査林分の成長段階やその他要因により変動する可能性がある。この影響を抑えるため、従来は便宜的に、直近の10年間のデータを使用した一次回帰モデルにより、空中花粉飛散量の推定を行ってきた。

2024年の夏季は全国153の气象台等のうち80地点で平均気温が歴代1位の高温となるなど⁵⁾、近年気候の変動が顕著となる傾向にあり、このことがスギ雄花の着生量（および着花度）と実際の花粉生産量（および空中花粉観測値）の関係に影響を及ぼしつつあることが推察される。

しかし、推定に使用する観測期間の長さ（サンプルサイズ）が予測モデルの妥当性に及ぼす影響についての詳細な検討はこれまで行っておらず、またこのことについて検討された事例も確認できない。

以上のことから、予測モデルに使用する観測期間の長さと予測モデルの妥当性についての検討等を行ったので、報告する。

II. 材料と方法

1. 着花状況調査

着花状況調査は、1994年より毎年、石川県加賀地方中部から北部に位置する金沢市、小松市、能美市のスギ人工林を対象として実施している（小松市での調査は、2012年以降は実施していない）。空中花粉観測値の調査時期によっては最大35林分にて調査を実施したが、道路線形変更工事に伴う調査林分の伐採等による調査林分の変更や、調査労務負担軽減のための調査林分の整理等により、2012年以降は、21地点を中心に調査地を実施している（図-1、表-1）。今回の解析には、上述の21地点（もしくは新設調査地点とほぼ同等の旧調査地点による、20地点）を対象とした。毎年の調査は、雄花芽が十分に成長し、効率的な目視判定が可能となる12月に実施した。

着花状況の調査方法は、橋詰⁴⁾の5段階の目視判定基準（着花度）を採用し、調査対象林分の林縁部のスギ立木30本について調査者の目視により着花度を判定した。推定モデル最適化のための検討結果³⁾を踏まえ、30本の着花度の単純平均を求め、当該林分の着花度とし、上記全対象林分の単純平均を、翌年の予測モデルに使用する着花度とした。

2. 空中花粉観測

石川県においては1996年より、石川県医師会花粉症対策委員会の空中花粉観測定点にて、空中花粉の観測が実施されている⁶⁾。観測方法はDurham型花粉捕集器による観測⁷⁾であり、原則として毎年2月1日～4月30日の3ヶ月



図-1 各調査地の位置

間、観測を実施している（観測年・定点により、それ以外の期間も実施）。観測定点は輪島市から加賀市までの6～14機関であり、本研究では、観測定点数が12に達した1998年以降を解析対象とし、その後については観測定点の入れ替わり等にかかわらず、各観測年の全観測定点観測値の平均値（観測定点ごとに2月1日～4月30日の観測値を集計し、全観測定点の平均値を算出）を解析対象とした。

また、2024年は令和6年能登半島地震の影響で、例年空中花粉観測値が県内最多となる2定点において観測が行われず、平均値への影響が大きくなるものと考えられたため、解析対象から除外した。

3. 統計解析

着花度と空中花粉観測値の年次変動の有無を確認するため、両者と観測年の間の一次回帰モデル式を求めた。また、観測値のトレンドを検出するために広く使われ、データの分布に特定の仮定を必要とせず、外れ値の影響を受けにくいとされるKendallの順位相関係数による相関性の検定を実施した。着花度から空中花粉観測値を予測するためのモデル式としては、既往の検討結果³⁾から、一次回帰モデルを採用することとした。

回帰モデル作成に使用する観測期間の長さの妥当性を検討するために、以下のデータセットにより一次回帰モデルを作成した。

表-1 各調査地の標高と斜面方位

	地名	番号	方位	標高
金沢市	野田町		北東	170 m
	上辰巳町		南南西	150 m
	俵町		南西	400 m
	清水町	1	南南東	180 m
		2	北西	170 m
	二俣町		南東	110 m
	直江野町		南南西	40 m
能美市	深谷町		北西	20 m
	仏大寺町		南東	100 m
	館町		北西	90 m
	金剛寺町		南	140 m
	大口町		北	170 m
	岩本町		北東	110 m
白山市	八幡町		西	200 m
	三坂町		西南西	180 m
	若原町		東	180 m
	河合町		南東	170 m
	坂尻町		西	80 m
	三宮町	1	東	170 m
		2	西	170 m
		3	南西	170 m

- 1) 2022年までの5, 10, 15, 20, 25年間
- 2) 1998～2002年, 1999～2003年, …2018～2022年の、各5年間
- 3) 1998～2007年, 1999～2008年, …2018～2022年の、各10年間

以上のデータセットに対し単回帰分析を実行し、一次回帰直線の傾き、切片、決定係数 (R^2)、RMSE（二乗平均平方根誤差）、AIC（赤池の情報量基準）、BIC（ベイズ情報量基準）を計算した。また、導かれた各モデルの予測の傾向を確認するために、着花度を（おおよそ第3四分位数に相当する）1.5とした場合の空中花粉観測値の推定結果（以下、予測指標値）を算出した。

以上の統計解析には、R Ver. 4.3.2⁸⁾およびR-Commander Ver. 2.9-1⁹⁾を使用した。

III. 結果および考察

1. 観測期間全体を通した着花度および空中花粉観測値の変動傾向

1998年から2023年までの空中花粉観測値および着花度の推移を図-2に、着花度と空中花粉観測値の関係を図-3に示す。空中花粉観測値および着花度について、Kendallの順位相関係数を用いた検定を行った結果、着花度には有意な年次変動は認められなかったが、空中花粉観測値には、有意な年次変動が認められた（危険率5% 両者のp値はそれぞれ0.54, 0.01）。

また、2023年は県医師会としての観測開始以

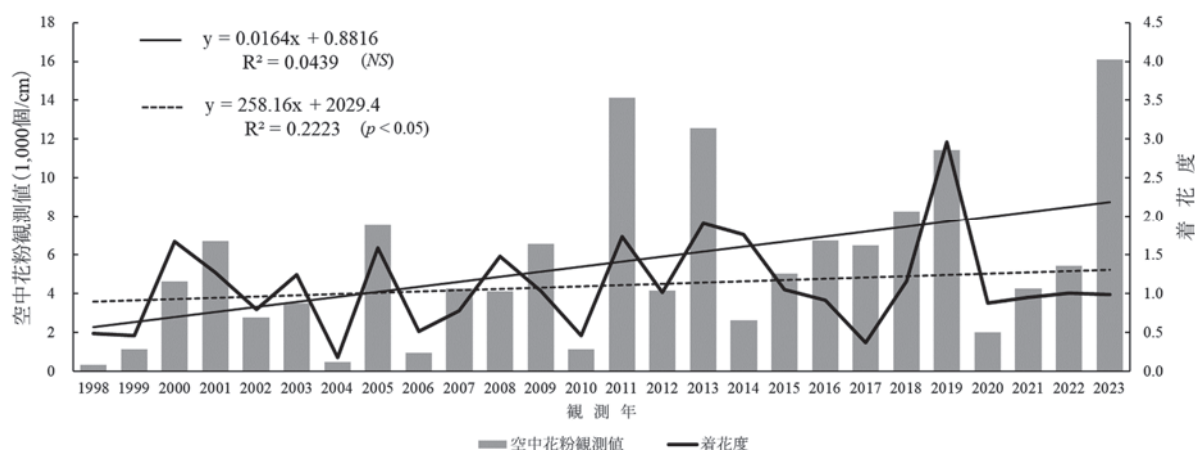


図-2 空中花粉観測値と着花度の年次変動

来最多となる 16,086 個/cm² の観測値が得られたが、着花度はほぼ平均的な 0.99 となり、明らかにこれまでの傾向から外れた値となったため、今回の解析対象からは除外することとし、以降の解析対象としては、1998 年～2022 年の 25 年間のデータを使用することとした。なお、2022 年までの空中花粉観測値を用いた年次変動に関する検定の結果でも p 値は 0.046 となり、危険率 5% で有意な年次変動が認められた。

2. 異なる観測期間による予測モデルの妥当性の検証

2022 年までの 5 年間、10 年間、15 年間、20 年間、25 年間のデータセットを用いて回帰分析等を実施した結果を表-2 に示す。5 年間のデータセットを用いて予測モデルを作成した場合に RMSE、AIC、BIC は最小となり、また、決定係数は最大となった。なお、AIC と BIC の変動傾向は 5 件のデータセットでほぼ同様となった。以上の結果からは、観測期間が 5 年間の場合の予測モデルがもっとも妥当であると考えられた。

3. 観測期間を 5 年間とした場合の、観測時期による予測モデルの検証

上記の結果を踏まえ、観測期間を 5 年間とし、1998～2002 年、1999～2003 年…と 1 年ずつシ

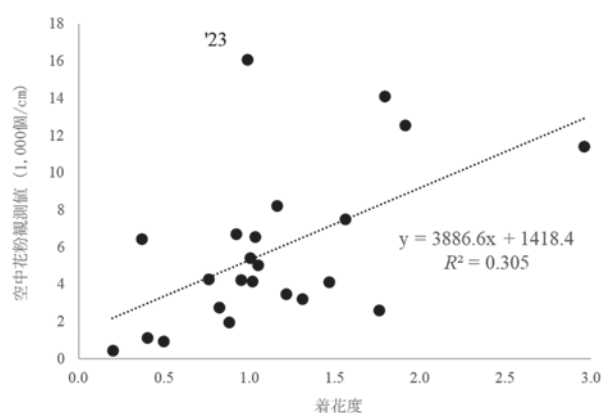


図-3 着花度と空中花粉観測値の関係

フトして、計 21 のデータセットで回帰分析等を実行した結果を表-3 に示す。その結果、決定計数は 0.06～0.93、RMSE は 834～3,855 (個/cm²) と、大きく変動していた。一方 AIC および BIC については 86～103 の範囲の値となり、比較的安定していた。

これらのことは、5 年間という比較的短期間のうちに大きな誤差要因が発生した観測年が複数回あった場合、予測値が大きくぶれる可能性を示しているものと考えられる。以上のことから、観測期間を 10 年とした場合の検討も行うこととした。

表-2 2022 年までの異なる観測期間の着花度と空中花粉観測値データセットの回帰分析結果

観測期間(年)			一次回帰直線		予測 指標値	決定係数 (R ²)	RMSE (個/cm ²)	情報量基準		F検定 p 値
開始	終了	期間	傾き	切片				AIC	BIC	
2018	2022	5	3,533	1,361	6,661	0.73	1,709	95	93	0.066
2013	2022	10	2,731	2,942	7,038	0.33	2,683	192	193	0.081
2008	2022	15	3,603	1,837	7,241	0.37	2,936	288	290	0.016
2003	2022	20	4,067	905	7,005	0.47	2,684	379	382	0.001
1998	2022	25	4,229	405	6,748	0.50	2,546	469	473	0.000

表-3 予測モデルの観測期間を5年間とした場合の回帰分析結果

観測期間(年)			一次回帰直線		予測	決定係数	RMSE	情報量基準		F検定
開始	終了	期間	傾き	切片	指標値	(R^2)	(個/cm ²)	AIC	BIC	p 値
1998	2002	5	4,157	-784	5,452	0.71	1,261	92	90	0.075
1999	2003	5	3,380	74	5,144	0.58	1,210	91	90	0.136
2000	2004	5	3,310	199	5,164	0.67	1,193	91	90	0.092
2001	2005	5	4,891	-780	6,557	0.85	1,022	89	88	0.027
2002	2006	5	4,706	-1,028	6,032	0.89	834	87	86	0.016
2003	2007	5	4,602	-618	6,285	0.83	1,062	90	89	0.033
2004	2008	5	4,164	-315	5,931	0.79	1,187	91	90	0.045
2005	2009	5	4,071	289	6,396	0.53	1,568	94	93	0.165
2006	2010	5	3,850	120	5,895	0.46	1,554	94	93	0.207
2007	2011	5	7,584	-2,296	9,080	0.64	2,635	99	98	0.104
2008	2012	5	8,007	-3,169	8,842	0.64	2,645	99	98	0.105
2009	2013	5	9,028	-3,428	10,113	0.93	1,268	92	90	0.007
2010	2014	5	6,708	-2,320	7,743	0.48	3,855	103	102	0.194
2011	2015	5	7,040	-2,826	7,734	0.33	3,852	103	102	0.314
2012	2016	5	3,357	1,756	6,792	0.16	3,144	101	100	0.498
2013	2017	5	1,444	4,954	7,120	0.06	3,179	101	100	0.686
2014	2018	5	-2,572	8,531	4,673	0.37	1,508	93	92	0.279
2015	2019	5	2,153	4,804	8,033	0.75	1,079	90	89	0.056
2016	2020	5	2,497	3,834	7,579	0.53	2,097	97	95	0.164
2017	2021	5	2,705	3,061	7,118	0.55	2,189	97	96	0.154
2018	2022	5	3,533	1,361	6,661	0.73	1,709	95	93	0.066

表-4 予測モデルの観測期間を10年間とした場合の回帰分析結果

観測期間(年)			一次回帰直線		予測	決定係数	RMSE	情報量基準		F検定
開始	終了	期間	傾き	切片	指標値	(R^2)	(個/cm ²)	AIC	BIC	p 値
1998	2007	10	4,348	-681	5,841	0.76	1,204	176	177	0.001
1999	2008	10	3,798	-182	5,515	0.70	1,229	177	178	0.003
2000	2009	10	3,658	288	5,774	0.57	1,473	180	181	0.012
2001	2010	10	4,518	-426	6,351	0.69	1,334	178	179	0.003
2002	2011	10	6,405	-1,749	7,859	0.67	2,212	188	189	0.004
2003	2012	10	6,351	-1,697	7,830	0.67	2,213	188	189	0.004
2004	2013	10	7,064	-1,980	8,616	0.79	2,061	187	188	0.001
2005	2014	10	5,934	-1,489	7,411	0.50	3,016	195	196	0.022
2006	2015	10	5,989	-1,482	7,501	0.49	3,013	195	196	0.024
2007	2016	10	5,376	-399	7,664	0.38	3,094	195	196	0.056
2008	2017	10	3,925	1,744	7,632	0.26	3,346	197	198	0.131
2009	2018	10	4,405	1,734	8,341	0.32	3,172	196	197	0.087
2010	2019	10	3,412	2,700	7,818	0.37	3,242	196	197	0.060
2011	2020	10	3,198	2,936	7,733	0.31	3,299	196	197	0.093
2012	2021	10	2,807	2,711	6,921	0.34	2,723	193	193	0.078
2013	2022	10	2,731	2,942	7,038	0.33	2,683	192	193	0.081

4. 観測期間を10年間とした場合の、観測時期による予測モデルの検証

回帰モデル作成に使用するデータセットの観測期間を10年間とし、1998～2007年、1999～

2008年…と1年ずつシフトして、計16のデータセットで回帰分析等を実行した結果を、表-4に示す。先の、5年間の観測期間を採用した場合と比較すると、決定係数が0.26～0.79、RMSE

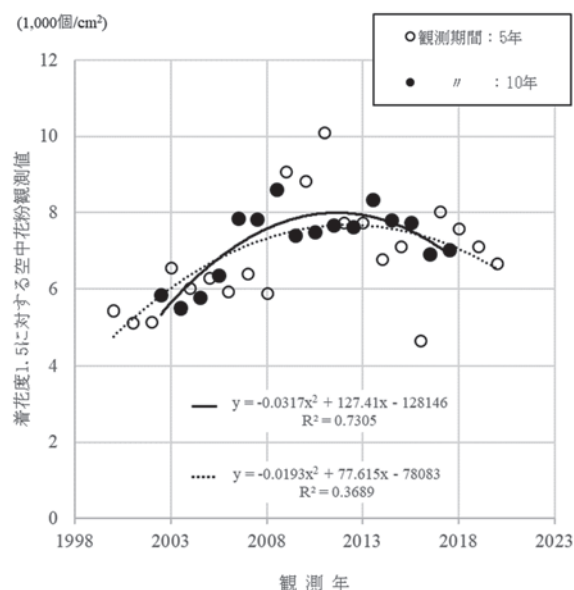


図-4 各予測モデルの予測指標値の年次変動
(観測年は、観測開始年と終了年の中間値にプロットした)

が 1, 204～3, 346 (個/cm²) の範囲となり、変動幅は小さくなった。また、AIC および BIC の値については 176～198 の範囲となり、比較的安定していた。

5. 予測値の年次変動の検証

上記 3 節および 4 節にて検討した各予測モデルの予測指標値の年次変動について、図-4 に示す。観測期間 5 年および 10 年ともに、ほぼ同様な二次多項式回帰モデルにより近似できたが、5 年の方ではばらつきが大きくなった（決定係数はそれぞれ、観測期間 5 年：0.37 および同 10 年：0.73）。以上のことから、散発的な誤差要因の影響を受けにくく、かつ長期的傾向も反映できる、観測期間を 10 年とした予測モデルを採用すべきと考える。また、予測指標値が 2010 年頃をピークとした増減傾向を示した理由については、スギ林の成長に伴う陽樹冠表面積の変化に対応したものである可能性等が考えられるが、詳細は不明である。

なお、今回は解析対象から外した 2023 年の調査結果（空中花粉観測値が極大であったにもかかわらず着花度は中庸だった）については、スギ林分の予備的観察の結果から、雄花芽形成後に好適な気象条件の影響を受け、枝葉の二次伸長が促され雄花芽を覆う事例が認められ、着花度の目視判定に影響を与えた可能性が考えられるが、これについても定量的調査・分析等は

行っておらず、詳細は不明である。近年の気候変動の影響により、今後も同様な現象が起こる可能性もあり、注意が必要である。

謝辞

本研究にて観測値を使用させていただいた、石川県医師会花粉症対策委員会空中花粉観測定点のご担当各位の永年のご尽力に敬意を表し、厚く御礼申し上げる。また、石川県農林総合研究センター林業試験場の着花状況調査及び空中花粉観測業務に携わった職員各位に、御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 内閣官房：花粉症に関する関係閣僚会議, <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kafun/index.html> 2025年3月14日参照.
- 2) 矢田 豊：1995年春期の空中花粉観測. 石川県林業試験場研究報告27, 1-10(1996)
- 3) 矢田 豊：スギ着花量の目視調査による花粉飛散量予測—準ニュートン法による予測モデルの最適化—. 中部森林研究54, 53-54(2006)
- 4) 橋詰隼人：日本列島におけるスギ林の着花状況 (I), 第100回日本林学会論文集, 457-459 (1989)
- 5) 気象庁：2024年夏（6月～8月）の天候, <https://www.data.jma.go.jp/cpd/longfcst/seasonal/202408/202408s.html> 2025年3月14日参照.
- 6) 石川県医師会：スギ・ヒノキ花粉, <https://www.ishikawa.med.or.jp/kafun/sugi.html> 2025年3月14日参照.
- 7) 釼田幸子：ダーラム型花粉捕集器, “花粉学事典”, 日本花粉学会編, 朝倉書店, 東京, 1994, pp228-229.
- 8) R Core Team : R:A Language and Environment for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/> 2025年3月14日参照.
- 9) Fox, J. : Using the R Commander:A Point-and-Click Interface for R. Journal of Statistical Software. 75(3) , 1-4(2016).