生物季節，体感温度を指標としたスギ花粉飛散量の予測

芦田恒雄*・井手　武**・田端司郎**・衞藤幸男***・吉川恒男***・松永　喬***

*　芦田耳鼻咽喉科医院　〒577　東大阪市小阪3－4－51
**　奈良県立医科大学化学教室　〒634　奈良県橿原市四条町840
***　奈良県立医科大学耳鼻咽喉科学教室　〒634　奈良県橿原市四条町840

The Forecast of the Annual Total Airborne *Sugi* Pollen Count Using Biophenology and Sensible Temperature as Parameters

Tsuneo ASHIDA*, Takeshi IDE**, Shiro TABATA**, Yukio ETOH***, Tsuneo YOSHIKAWA*** and Takashi MATSUNAGA***

* *ASHIDA ENT Clinic, 3-4-51, Kosaka, Higashiosaka 577, Japan*
** *The Department of Chemistry, Nara Medical University, 840, Shijo, Kashihara, Nara 634, Japan*
*** *The Department of Otorhinolaryngology, Nara Medical University, 840, Shijo, Kashihara, Nara 634, Japan*

（1989年10月2日受理）

Spearman's rank correlation coefficients were calculated between the rank of *Sugi* pollen counts and that of meteological factors such as mean air temperature, maximum air temperature, sunshine duration, mean relative humidity, rainfall amount, discomfort index, Missenard's effective temperature and Linke's sensible temperature from the first voicing day of cicada (*Graptopsaltria nigrofuscata*) of the preceding summer.

The strongest correlation was observed between the annual total airborne *Sugi* pollen count and average of 12 days duration of discomfort index from the first voicing day of cicada.

The application of biophenology and sensible temperature as parameters to forecast the annual total airborne *Sugi* pollen count is biologically reasonable and useful.

Key words：Forecast, *Sugi* pollen, Biophenology, Sensible temperature.

はじめに

スギ花粉生産量，飛散量に影響するものとして，気象，大気汚染などの外的因子，樹令，植生，前年度花粉生産量，栄養状態などの内的因子があげられる．このうち，重要な役割を演じているのは前年夏の気象であり，これをもとに翌年のスギ花粉飛散総数を予測する場合，起算日，起算日からの期間，気象因子が指標となる．これらの指標として従来暦の日と最高気温や

平均湿度などの単一気象因子が用いられてきたが，例数が増えるにしたがい，強い相関を示す起算日，期間にばらつきがみられるようになった．夏の気象を的確に表現しているのは暦の日よりも生物季節と考えられることからこれを起算日とし，寒暑の感覚は単に気温だけによるのではなく，気温，湿度，風速，日射量などを総合した温度感覚であることから，気象因子として単一気象因子以外に体感温度を加え，スギ花粉飛散総数の予測について従来の方法と比較，検討した．

方 法

(1) スギ花粉飛散数の測定

東大阪市下小阪にあるマンション二階のベランダ（高さ 4.6 m）に Durham 標準花粉捕集器を設置し，1981 年から毎年，1 月からヒノキ科花粉の飛散が終わるまでの間毎日，午後 8 時半前後にワセリンを塗布したスライドグラスを交換した．ゲンチアナバイオレットで染色後 24 × 60 mmのカバーグラスをかけて全視野のスギ花粉数を数え，14.4 で除し，小数点以下を切り上げて 1 日，1 cm²当たりのスギ花粉数とし，スギ花粉飛散期間中の 1 日量の総和をその年のスギ花粉飛散総数とした．

(2) 生物季節

生物季節には大阪でのアブラゼミ（*Graptopsaltria nigrofuscata*）の初鳴日を用いた（表 1）．この資料は日本気象協会関西本部から提供されたものである．

表 1 大阪におけるアブラゼミの初鳴日

1980. 7. 25
1981. 7. 12
1982. 7. 15
1983. 7. 22
1984. 7. 10
1985. 7. 15
1986. 7. 27
1987. 7. 17
1988. 7. 26

(3) 気象資料

東大阪市には気象庁の測候所がないため，大阪管区気象台の気象表を利用した．

(4) 体感温度

体感温度として不快指数，[1] Missenard の実効温度，[1] Linke の体感温度[1]を用いた．これらの近似式あるいはもとめ方を表 2 に示した．体感温度の算出にあたっては平均気温と平均湿度，最高気温と最小湿度の組み合わせとし，風速は平均風速とした．

表 2 体感温度のもとめ方

1 ）不快指数

$0.81T+0.01H(0.99T-14.3)+46.3$

［T：気温（℃），H：湿度］

2 ）Missenardの実効温度

$37-(37-T)/[0.68-0.0014H+1/(1.76+1.4V^{0.75})]-0.29T(1-H/100)$

［T：気温（℃），H：湿度，V：風速（m／sec）］

3 ）Linkeの体感温度

$T-4\sqrt{V}+0.2J$

［T：気温（℃），V：風速（m／sec），J：全天日射量（MJ／m²）］

(5) 各気象因子と翌年のスギ花粉飛散総数との順位相関係数

1980 年から 7 年間，8 年間，9 年間について検討した．まず暦上夏期の各日を起算日とし，この日から任意の期間について最高気温，平均気温，日照時間，平均湿度，降水量，不快指数，Missenard の実効温度，Linke の体感温度の平均値を算出した．次に，この平均値の順位と，翌年のスギ花粉飛散総数順位との間の Spearman の順位相関係数[2]をもとめ，その値が最大となる組み合わせを選出した．さらに，アブラゼミの初鳴を起算日として同じ処理をおこなった．

結 果

(1) スギ花粉飛散総数

1981 年から 1989 年までの年度別スギ花粉飛散総数

と1981年から7年間，8年間，9年間の順位を表3に示した．

表3　年度別スギ花粉飛散数とその期間別順位

年度	花粉数（n／cm²）	期間 7年間	8年間	9年間
1981	181	6	7	7
1982	2,856	2	2	2
1983	138	7	8	8
1984	3,062	1	1	1
1985	424	4	5	5
1986	1,364	3	3	3
1987	332	5	6	6
1988	1,208		4	4
1989	115			9

(2)　各気象因子と翌年のスギ花粉飛散総数との順位相関係数

起算日を暦にもとめた場合ならびに生物季節とした場合について，各気象因子を指標としたときの上記7－9年間における順位相関係数最大値を表4に示した．この表の体感温度において，Ⅰは温度に平均気温，湿度に平均湿度を，Ⅱは最高気温と最小湿度を表2の式に代入して得られたものである．起算日を暦にもとめた場合，順位相関係数最大値が最大となる気象因子は，例数7がMissenard Ⅱ，8がMissenard Ⅰ，9が平均気温，日照時間，Missenard Ⅰと一定していなかった．一方，生物季節を起算日にとると，いずれの例数でも不快指数Ⅱの順位相関係数が最大であった．

(3)　起算日を暦にもとめた場合に順位相関係数が最大値を示す起算日ならびに起算日からの期間

表4で暦の日を起算日とした気象因子のうち，順位相関係数最大値が各例数とも0.900以上のものについて，その起算日ならびに起算日からの期間を表5に示した．不快指数Ⅰのように，順位相関係数が最大値を示す起算日と，起算日からの期間が各例数とも同じものもあれば，平均気温のようにこれらがすべて異なるものもみられた．

(4)　生物季節を起算日とした場合に順位相関係数が最大値を示す起算日からの期間

表4　順位相関係数最大値

気象因子	7年間 暦	7年間 生物季節	8年間 暦	8年間 生物季節	9年間 暦	9年間 生物季節
平均気温	0.964	0.964	0.946	0.976	0.954*	0.904
最高気温	0.893	0.929	0.923	0.899	0.896	0.879
日照時間	0.964	0.857	0.935	0.881	0.954*	0.883
平均湿度	−0.938	−0.893	−0.940	−0.893	−0.921	−0.813
降水量	−0.893	−0.893	−0.929	−0.929	−0.933	−0.900
不快指数Ⅰ	0.964	0.982	0.940	0.970	0.929	0.929
不快指数Ⅱ	0.929	0.991*	0.929	0.982*	0.938	0.938*
Missenard Ⅰ	0.964	0.964	0.958*	0.976	0.954*	0.933
Missenard Ⅱ	0.991*	0.964	0.929	0.976	0.929	0.904
Linke Ⅰ	0.893	0.964	0.929	0.929	0.933	0.900
Linke Ⅱ	0.893	0.857	0.905	0.857	0.917	0.850

表2の式に，Ⅰは気温に平均気温，湿度に平均湿度を，Ⅱは最高気温と最小湿度を代入
*は各列の最大値

表５　順位相関数が最大値を示す起算日と期間

気象因子	例　数	起 算 日	期　間
平均気温	７年間	７月21日	16日間
		７月22日	14日間
		７月23日	13日間
		７月24日	12日間
	８年間	７月26日	10日間
	９年間	７月19日	18日間
不快指数Ｉ	７年間	７月15日	21日間，22日間
		７月16日	20日間，21日間
	８年間	７月15日	21日間，22日間
		７月16日	20日間，21日間
	９年間	７月15日	21日間，22日間
		７月16日	20日間，21日間
不快指数Ⅱ	７年間	７月29日	7日間
		７月30日	6日間
		７月31日	5日間
		８月 1日	4日間
	８年間	７月29日	3日間
	９年間	７月29日	3日間
Missenard Ｉ	７年間	７月21日	15日間
	８年間	７月18日	19日間
	９年間	７月18日	19日間
MissenardⅡ	７年間	８月 1日	3日間
	８年間	８月 1日	4日間
	９年間	７月22日	13日間

アブラゼミの初鳴から(3)と同じ気象因子について順位相関係数が最大となる期間は，不快指数Ｉが７－９の例数で同じであり，平均気温，Missenard　Ｉ，Ⅱでは共通する日数が存在していた．不快指数Ⅱにおいてのみ，７年間と８，９年間で相異がみられた（表６）．

考　　察

スギ花粉が空中に飛散するまでには，雄花芽分化期，花粉形成期，開花期の過程を経ている．倒木，枯死など特別の事情がないかぎり，花粉形成量は雄花芽形成量とほぼ比例すると考えられるが，空中飛散量と比例するわけではない．したがって，飛散量の予測にあたっては，夏の気象のように花粉生産量に影響する因子と，開花期の気象のように飛散に影響する因子の二

表6 アブラゼミの初鳴を起算日としたときに順位相関係数が最大値を示す期間

気象因子	例 数	期 間 (日)
平均気温	7年間	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
	8年間	13, 14, 15, 16, 17, 18
	9年間	18, 29, 30
不快指数Ⅰ	7年間	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
	8年間	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
	9年間	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
不快指数Ⅱ	7年間	16, 17
	8年間	12, 13
	9年間	12
Missenard Ⅰ	7年間	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
	8年間	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
	9年間	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
Missenard Ⅱ	7年間	14, 15, 18, 19
	8年間	14
	9年間	14

つについて検討する必要がある．しかし，花粉生産量の把握が困難なため，花粉生産量，飛散に影響する因子は，夏の気象をインプット，飛散量をアウトプットとするブラックボックスの中に包括されているのが現状である．この問題は，標準木の設定，雄花のでき具合などからいずれ解決されるであろうが，今回はこれまで通り，夏の気象から飛散量を予測するという手法にしたがった．

今日までに報告されたスギ花粉飛散総量予測方法[3-8]の起算日は暦上の日になっており，起算日がもつ生物学的な意味が明らかでない．同じ季節に活動する動植物の活動開始日は，その時期の気象の影響をうけて互いに関連がある．この理由に基き，スギ雄花芽が分化を始める頃に活動を開始する生物のうち，過去にわたってデータが保存されているのはアブラゼミだけであることから，その初鳴と翌年のスギ花粉飛散総数との関係を，順位相関により検討した．すなわち，順位相関係数の絶対値が1に近いほど相関は強い，つまり，予測値と実測値の差がすくないことから，各気象因子ごとにその最大値をもとめ，比較，検討した．

気象因子には平均気温，最高気温，日照時間，平均湿度，降水量の他，寒暑の感覚を表わす体感温度を追加した．ヒトの温度感覚は単に気温のみならず，湿度，風速，日射量の影響をうける．植物がヒトと同じような温度感覚を有するかどうかは別として，植物には各因子を総合した気象が影響することは充分考えられることである．不快指数は気温と湿度を，Missenardの実効温度は気温，湿度，風速を，Linkeの体感温度は気温，風速，日射量を考慮したものである．なお，Linkeの体感温度において，全天日射量の単位が原法ではcal / min / cm²であるのに対し，1981年以降の気象台の気象表ではMJ / m² / dayになっているので気象表の数値をそのまま代入できるように係数を変換した．

翌年のスギ花粉飛散総数との順位相関係数最大値がもっとも大きい気象因子は，従来通り暦の日を起算日とした場合，例数が7から9と増えるにしたがって変化した．このことは，7年間の統計でもっとも相関が強いMissenard　Ⅱをもって8年目の予測をたてると実測値との差が大きくなることを示している．一方，生物季節を起算日とすると，不快指数Ⅱが各例数とも最大であった．

次に，暦の日を起算日とした場合，順位相関係数が最大となる起算日とそれからの期間は，気象因子によって相異がみられた．平均気温において例数7で相関係数が最大値0.964となるのは起算日がすべて異なる4通りであった．例数8，9で最大値を示すのはこの4通りの中になかった．すなわち，例数7のうちの一つを例数8，9にあてはめると，相関係数は最大値を示さないことになり，やはり実測値との差が大きくなる．生物季節を起算日とすると，このような問題は生じない．

また，暦の日を起算日とした平均気温を例にとると，9年間の成績で順位相関係数が最大となるのは7月19日から18日間であったが，なぜ7月19日であるかというと，統計処理をすると単にそうなったといえるにすぎない．一方，アブラゼミの初鳴は，冷夏の年は遅く，これと翌年のスギ花粉飛散量との相関性が高いことは，スギ雄花芽の分化開始時期が毎年同じ日から始まるのではなく，冷夏という条件下では遅くなり，かつ，生産量もすくなくなることを示唆している．ここに，生物季節を起算日とする意味がある．

以上のように，大阪においてはアブラゼミの初鳴から12日間の不快指数（近似式の気温に最高気温，湿度に最小湿度を代入）積算値の平均値と翌年のスギ花粉飛散総数との相関が高いことが明らかになった．植物は一般に悪条件の下では種保存のため花を咲かせるといわれているので，ヒトが不快と感じる気象がスギにとっても良い環境とはいえない可能性がある．

なお，8年間の統計で，アブラゼミの初鳴から不快指数Ⅱの順位相関係数が最大値を示した期間に1988年のデータを代入すると，1989年のスギ花粉飛散総数は1988年の1／6程度と予想されたが，実測値はそれよりもすくなかった．これは1989年の開花期に雨が多かった影響が考えられる．過去8年間のスギ花粉飛散期間中，降水日の占める割合が59%であったのに対し，1989年のそれは67%であった．今後の予測にあたっては，花粉飛散期の天候，特に雨を考慮する必要があろう．

大阪以外の地域においても，アブラゼミが適切かどうかはともかく，夏に活動を始める生物の活動開始日と体感温度を指標として用いることにより，より精度の高いスギ花粉飛散総数の予測ができるのではないかと推察される．

スギ花粉の飛散開始日の予測についても，生物季節と体感温度を指標とするのがよいと考えられるので現在検討中である．

ま　と　め

スギ花粉飛散総数予測のための指標として生物季節，体感温度を用いることにより，以下の結果が得られた．

1）　例数とは無関係に起算日が定まる．

2）　起算日に生物学的な意味がある．

3）　検討した範囲で相関係数が最大となる気象因子は，例数に関係なく同じであった．

体感温度についてご教示いただいた日本気象協会関西本部解説予報部大藤明克氏，小谷純久氏に謝意を表します．

本論文の要旨は，第39回日本アレルギー学会総会（平成元年9月29日，東京）において発表したものである．

引　用　文　献

(1)　日本生気象学会編：生気象学，紀伊國屋書店 pp. 348－371（1968）.

(2)　杉田暉道，津田忠美：統計学入門，医学書院 pp. 117－122（1976）.

(3) 宇佐神 篤，降矢和夫，遠藤久子：スギ花粉空中飛散総数の予測．アレルギー **29**，780－785（1980）．

(4) 芦田恒雄，井手 武，田端司郎：東大阪市におけるスギ花粉飛散量と気象．花粉 第**20**号，29－35（1987）．

(5) 王 主栄：スギ花粉産生量および飛散開始日と気象の関係．JOHNS **4**，185－190（1988）．

(6) 宗 信夫，岸川禮子：スギ花粉飛散予報と予測式について．JOHNS **4**，197－200（1988）．

(7) 斎藤洋三，竹田英子：東京都文京区湯島における1988年のスギ・ヒノキ科空中花粉調査．花粉誌．**34**，149－152（1988）．

(8) 村山貢司：関東におけるスギ花粉情報．花粉誌．**34**，153－156（1988）．

要　約

起算日に生物季節としてアブラゼミの初鳴，気象因子として平均気温，最高気温，日照時間，平均湿度，降水量，不快指数，Missenardの実効温度，Linkeの体感温度を指標とし，スギ花粉飛散量との順位相関係数をもとめた．

アブラゼミの初鳴から12日間の不快指数積算値の平均は翌年のスギ花粉飛散総数ともっとも強い相関を示した．

スギ花粉飛散量の予測に，生物季節と体感温度を用いる方法は生物学的に意味があり，有用である．