

(原著論文)

神戸市における空中スギ花粉飛散数と風向との関連性の解析

後藤 操¹⁾・小笠原 寛²⁾・南 利幸³⁾・喜多 博子¹⁾

¹⁾ 兵庫県立衛生研究所 〒652-0032 神戸市兵庫区荒田町 2-1-29

²⁾ 兵庫医科大学耳鼻咽喉科 〒663-8501 西宮市武庫川町 1-1

³⁾ (財)日本気象協会 〒542-0081 大阪市中央区南船場 2-3-2

(2000年9月25日受付, 2000年11月30日受理)

An Analysis of the Relationship between Number of Airborne
Pollen Grains of Sugi (*Cryptomeria japonica*)
and the Wind Direction in Kobe City

Misao GOTO¹⁾, Hiroshi OGASAWARA²⁾, Toshiyuki MINAMI³⁾
and Hiroko KITA¹⁾

¹⁾ Hyogo Prefectural Institute of Public Health,
2-1-29 Aratacho, Hyogoku, Kobe, 652-0032 Japan

²⁾ Department of Otolaryngology, Hyogo College of Medicine,
1-1 Mukogawacho, Nishinomiya, 663-8501 Japan

³⁾ Japan Weather Association,
2-3-2 Minamisenba, Chuouku, Osaka, 542-0081 Japan

We investigated the relationship between the number of airborne pollen grains of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and the wind direction in Kobe city in the mature dispersion stage, in which the pollen scattered more than 10 grains per square centimeter by Durham sampler, in 1999.

The relationship between the amount of pollen by Burkard trap and wind direction was analyzed using nonparametric statistical technique every hour.

When the wind direction was classified into 8 patterns, and the amount of pollen was expressed as the median in each wind direction, highly accurate results were obtained. The amount of pollen in the north wind, the direction of the cedar forest and Rokko mountains, was significantly greater than the amount of pollen in the west wind, the direction of the Sea of Harima. However, when the wind blew from the Chugoku mountains to the Sea of Setouchi, the amount of pollen in the west wind increased sharply. There was no difference in the amount of pollen in the south wind, the direction of Osaka Bay, compared with other wind directions. One reason for the superscription was speculated to be that pollen that had been carried towards Osaka Bay had been pushed back by the south wind.

Key Words : *Cryptomeria japonica*, wind direction, pollen counts, Burkard, kruskal-Wallis test

緒 言

スギ花粉症は、花粉飛散シーズン中多くの人々にその症状により著しいQOLの低下を引き起こすことから社会的にも問題となっている。有効な発症予防手段は、飛散している花粉との接触を避けることであり、適切な予防法を講じるためにも飛散予報の果たす役割は大きい^(1, 2)。このうち、飛散期における日々の予報や週間予報は、スギ花粉の飛散する約2ヶ月の間毎日、生活の上で欠かすことのできない情報となっている⁽³⁾。これら短期の予報には、飛散状況調査やスギ林の雄花生育状況調査が基盤として重要であるが^(4, 5)、さらに花粉の飛散と生理的あるいは物理的にも密接にかかわる気象因子を加えた飛散予測をすることが予報の精度を一層高めると考えられる。予測のために用いる気象因子は、予測の種類により異なる

が⁽⁶⁾、短期間、特に花粉飛散最盛期においては、気温、日射量といった花粉飛散源の状態、すなわち開花・花粉飛散に向けての植物生理学的な変化を捉えようとする因子に加え、花粉飛散源から生活圏まで花粉を運ぶ風の因子の影響が大きくなると考えられる^(7, 8, 9)。

そこで今回我々は、よりの確な飛散予測を行っていくための基礎調査の一つとして、風の因子のうち風向について、神戸市の風向と Burkard 型花粉捕集器により採集したスギ花粉の飛散最盛期における時間別飛散数との関連性について検討を行った。

方 法

1) スギ花粉の観測

空中スギ花粉は、兵庫県立衛生研究所（地上高約27m、神戸市）屋上に設置した Burkard 型花粉捕集器

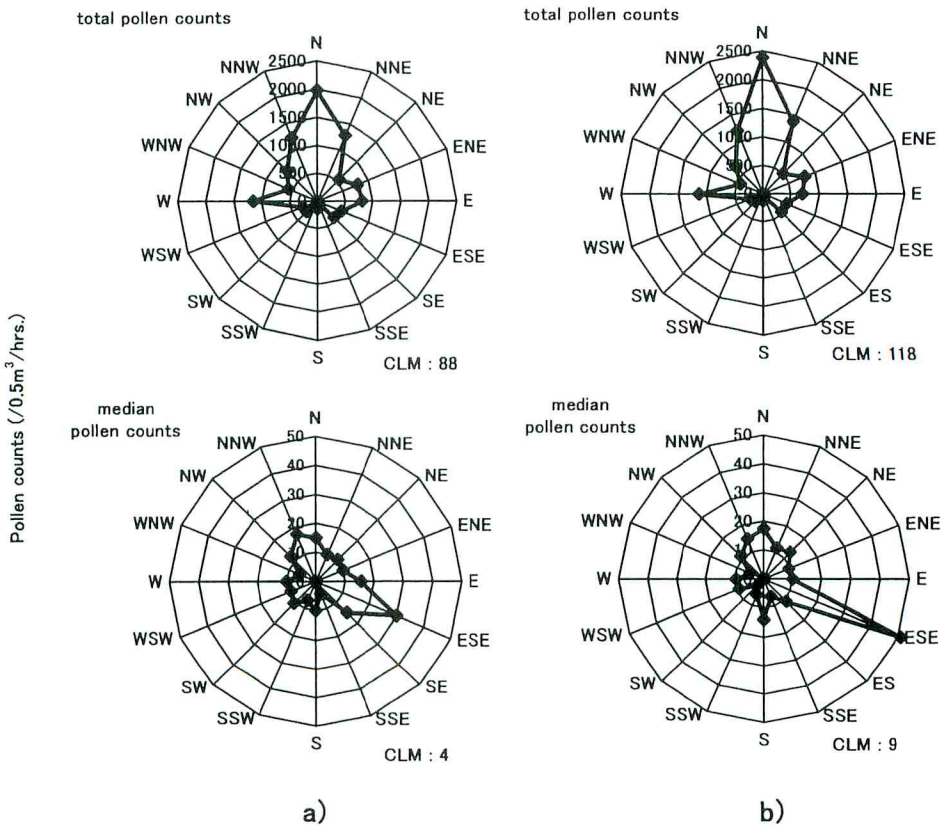


Fig. 1. Total and median pollen counts at 16 wind directions
 a) wind direction of "sampling" start time
 b) wind direction of "sampling" end time
 CLM = Calm

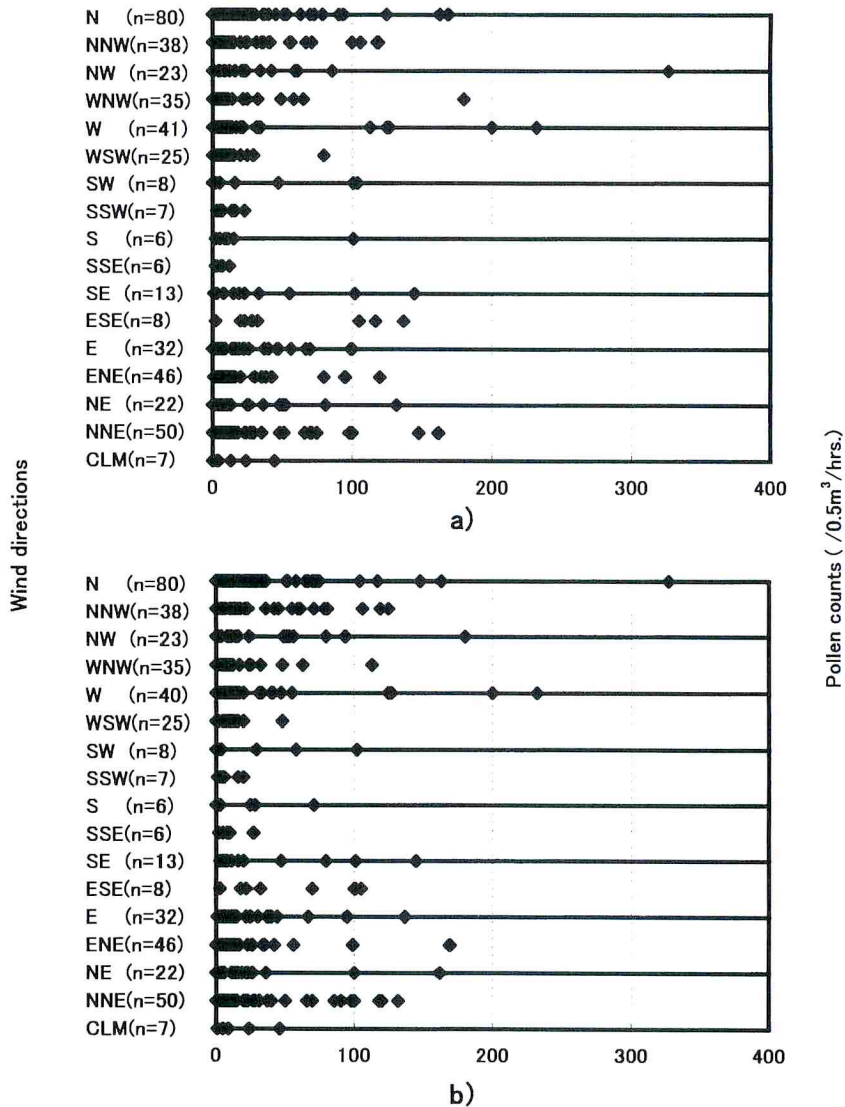


Fig. 2. A distribution of pollen counts at 16 wind directions
 a) wind direction of “sampling” start time
 b) wind direction of “sampling” end time
 CLM = Calm

器（吸引流量 $0.5m^3/h$ ，以下 Burkard 型）を用い、ワセリンを薄く塗布したメリネックステープ上に捕集した。捕集を終えたメリネックステープは、幅 20mm の中央部分から 2 分割し、その一方について 1 日単位（ $10mm \times 48mm$ ）に切断後^(10, 11)、Carberla 液で染色し、光学顕微鏡下で 1 時間区分毎にスギ花粉を判別・カウントした。

2) 検討期間

スギ花粉飛散最盛期は、同所屋上に設置した Durham 型花粉捕集器（以下 Durham 型）で、午前 9 時から翌朝 9 時までを 1 日単位とする連日 10 個（ $/cm^2/day$ ）以上の飛散数となった初日から、降雨の影響がなく連日 10 個（ $/cm^2/day$ ）未満の飛散数となった日の前日までの期間とした。すなわち、

Table 1. The group patterns of wind direction

	group 1	group 2	group 3	group 4	group 5
pattern A	NNW, N, NNE, NE (n = 190)	ENE, E, ESE, SE (n = 99)	SSE, S, SSW, SW (n = 27)	WSW, W, WNW, NW (n = 124, 123)*	CLM (n = 7)
pattern B	N, NNE, NE, ENE (n = 198)	E, ESE, SE, SSE (n = 59)	S, SSW, SW, WSW (n = 46)	W, WNW, NW, NNW (n = 137, 136)*	CLM (n = 7)
pattern C	NNE, NE, ENE, E (n = 150)	ESE, SE, SSE, S (n = 33)	SSW, SW, WSW, W (n = 81, 80)*	WNW, NW, NNW, N (n = 176)	CLM (n = 7)
pattern D	NE, ENE, E, ESE (n = 108)	SE, SSE, S, SSW (n = 32)	SW, WSW, W, WNW (n = 109, 108)*	NW, NNW, N, NNE (n = 191)	CLM (n = 7)

CLM = Calm

* (n = wind direction of "sampling" start time, wind direction of "sampling" end time)

1999年は2月27日から3月18日までの期間が該当し、この期間内で、Burkard型により捕集した花粉の時間別飛散量を1mm以上の降雨を観測した時間帯を除外した447時間分について検討を行った。ここで、Burkard型によるスギ花粉量は、Durham型との間に相関係数0.910 ($p < 0.01$)と高い相関を認めた。

3) 気象データ・解析

風向データは、(財)日本気象協会関西本部から供与され、衛生研究所より約1.1km北東にある神戸海洋気象台のアメダスデータを用いた。

ところで風向データは、正時の前10分間の測定データから計算されている。一方、ここで用いる飛散量データは、ある時刻(以下、捕集開始時)とその次の時刻(以下、捕集終了時)の間に捕集した花粉量である。そこで、風向との関連性についてより多くの情報を得るため、捕集した花粉量に対し、捕集開始時の風向データと捕集終了時の風向データの2通りについてそれぞれ関連性を解析した。解析ソフトには主にSTATISTICA Release 5.1Jを使用した。

結 果

Fig.1に捕集開始時(a)、捕集終了時(b)それぞれ2通りの風向データについて、風向別の総飛散量及び飛散量中央値を、また、Fig.2に同じく両時刻について風向別飛散量の分布を示した。総飛散量(Fig.1上段)について検討すると、捕集開始時での風向ではN, NNE, NNW, W, E, ENEの順に、また捕集終了時での風向ではN, NNE, NNW, W, ENE, Eの順に多く、上位を占める風向は捕集両時刻でほとんど変

わらず、花粉飛散最盛期には北寄りの風で最も多くの花粉が神戸に飛散した。

一方Fig.2から風向毎に飛散量の分布をみると、多くの風向で偏りが認められるため、飛散量中央値を風向毎の飛散量への影響度として風向間を比較した。Fig.1の下段に示したように捕集開始時でESE, NNW, E, SE, N(SEと同値)の順に、また捕集終了時ではESE, N, NNW, S, NEの順に高く、捕集両時刻とも風向による差がみられ、総飛散量の場合とは一部異なる風向における中央値が高くなった。

しかしFig.2に示すように各風向の頻出度はかなり異なり、多くの風向で飛散量データが正規分布ではないことが明らかであるため、風向間における飛散量の差についてKruskal-Wallisの順位和検定を行った。Kruskal-Wallisの順位和検定は、特定の分布型を仮定しないノンパラメトリック検定法の一つで、対応のない3群以上を比較する場合に用いられる⁽¹²⁾。風は連続的でありその方向も常に変動することから、今回、1方向に限定せず隣り合った風向を統合し、さらに詳細な情報を得るため風向をTable1に示すように組み合わせさせた。すなわち、16方位の風向について隣り合う4方向を統合し、新たに大きく4つの方向の風向きとし、1方位ずつずらすことにより4パターンの組み合わせを作った。各パターンに静穏状態(CLM)を併せた5群・4パターンについて検定を行い、Table2に結果を示した。捕集開始時、捕集終了時ともにパターンA及びDの風向間に飛散量の有意差が認められた(捕集開始時： $p < 0.05$ 、捕集終了時： $p < 0.01$)。

以上のことから、パターンA及びDの組み合わせの中でいずれの群間に有意差があるかをみるため、棄却条件の異なるBonferroni及びScheffeによる多重

Table 2. A comparison of group rank means of pollen counts by Kruskal-Wallis test

		rank mean					χ^2	df	P value
		group 1	group 2	group 3	group 4	group 5			
a)	pattern A	238.4	242.8	199.2	195.2	173.1	12.734	4	0.013
	pattern B	230.3	252.8	197.8	213.9	173.1	7.260	4	0.123
	pattern C	227.6	247.4	198.5	230.3	173.1	5.857	4	0.210
	pattern D	239.8	215.5	189.9	237.8	173.1	12.636	4	0.013
b)	pattern A	244.5	234.0	188.2	190.0	230.3	16.104	4	0.003
	pattern B	232.8	246.1	186.4	212.3	230.3	7.732	4	0.102
	pattern C	222.0	252.9	193.2	232.8	230.3	7.103	4	0.131
	pattern D	228.5	216.4	182.4	244.8	230.3	16.514	4	0.002

a) wind direction of "sampling" start time

b) wind direction of "sampling" end time

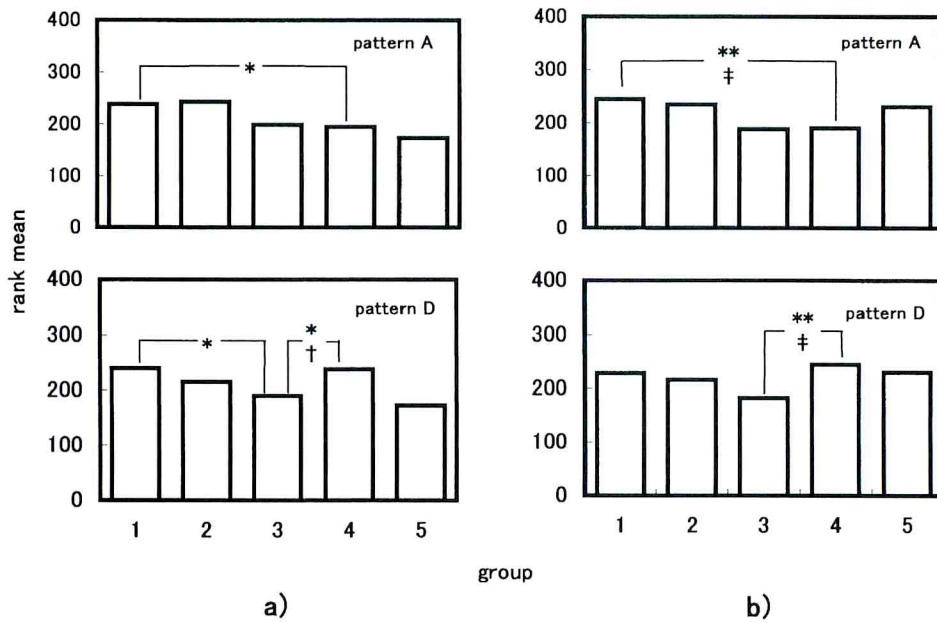


Fig. 3. Comparison between groups with pattern A and pattern D by the Bonferroni test and the Scheffe's test

a) wind direction of "sampling" start time

b) wind direction of "sampling" end time

* Bonferroni test ($p < 0.05$)

** Bonferroni test ($p < 0.01$)

† Scheffe's test ($p < 0.05$)

‡ Scheffe's test ($p < 0.01$)

比較を行った。Fig. 3 に示すように、捕集開始時のパターン A では第 1 群 (NNW, N, NNE, NE) が第 4 群 (WSW, W, WNW, NW) に比して Bonferroni のみ有意 ($p < 0.05$) に高く、パターン D では第 4 群 (NW, NNW, N, NNE) が第 3 群 (SW, WSW, W, WNW) に比して Bonferroni, Scheffe とともに有意 ($p < 0.05$) に高く、第 1 群 (NE, ENE, E, ESE) が第 3 群 (SW, WSW, W, WNW) に比して Bonferroni のみ有意 ($p < 0.05$) に高かった。この結果を重ね合わせると、北北西から北東方向の風の際には西南西から西方向の風のときに比して飛散量が多く、特に北寄りの風と西寄りの風との差は明瞭であった。その他の風向間では飛散量の有意な差は認められなかった。

一方、捕集終了時においてはパターン A で第 1 群 (NNW, N, NNE, NE) が第 4 群 (WSW, W, WNW, NW) に比して Bonferroni, Scheffe とともに有意 ($p < 0.01$) に高く、パターン D では第 4 群 (NW, NNW, N, NNE) が第 3 群 (SW, WSW, W, WNW) に比して Bonferroni, Scheffe とともに有意 ($p < 0.01$) に高かった。捕集開始時風向の分析結果と重複する組み合わせ風向間で、より明瞭な差が認められた。つまり北北西から北北東の風の際に西南西から西北西の風のときに比して飛散量が多かった。またその他の風向間では、捕集開始時の風向と同様有意な差は認められなかった。検定結果から、北寄りの風の時間帯と西寄りの風の時間帯では飛散する花粉量に明瞭な差が認められた。

考 察

観測点である衛生研究所は、北方に六甲山地、南方に瀬戸内海に挟まれた幅約 5 km の平野部に位置し、東方には大阪平野、大阪湾が広がり西方には小高い丘、さらに播磨平野、播磨灘と続いている。スギ・ヒノキ林は、六甲山地に部分的とその背後の丹波山地に在り、観測点からは北・北東間の方向に広がっているが、他の方向の近郊にはまとまった林は無い。今回、北寄りの風で他の風向に比して総飛散量及び飛散量中央値ともに多くなったことは、季節的に北寄りの風が多いことに加え、比較的距離の近い六甲山地やその背後の林から飛来する花粉を反映したものと推測される。

大阪湾側である東南東あるいは南からの風では、頻度は少ないものの飛散量中央値でみると、比較的多くの花粉を神戸に運んでいる。小笠原⁽⁷⁾らは西宮にお

ける調査で沿岸海上に滞留していた花粉が海からの風で沿岸部に飛散することがあるとしている。ここには示していないが、1999 年に同じ様な南風による吹き戻し現象がみられた。3月6日の午前4時から9時(捕集開始時、以下同様)までは北方向の風で飛散数が 364 個 ($/0.5\text{m}^3/\text{h}$)、南風に変った 10時から17時に 1484 個 ($/0.5\text{m}^3/\text{h}$) と激増し、再び北風に変った 17時から 21 時は 190 個 ($/0.5\text{m}^3/\text{h}$) と減少した。しかし、北風から南風に変わっても増加せず、逆に減少することもあり、地上の水平成分の風向だけではなく、垂直成分や上空の気流を把握する必要があると考えられる⁽⁹⁾。

西方向の風では、総飛散量は北寄りの風に次いで多かったが、飛散量中央値は、北方向の風より有意に低かった。これは、Fig. 2 の西風における飛散量分布をみると、100 個 ($/0.5\text{m}^3/\text{h}$) 以上の飛散量を捕集開始時の場合では最多の 5 回、捕集終了時の場合では北の風向に次ぐ 4 回記録していることが影響していると推測される。つまり、西風の吹く時間帯の多くは運ばれる花粉の数は少ないが、時折一度に大量の花粉が運ばれてくることを示唆している。西方向には、播磨平野のさらに北西方向にスギの一大花粉飛散源である中国山地がある。1998 年の調査では、最大飛散日 (2月28日) に中国山地の兵庫県寄りから瀬戸内方向へ、また兵庫県の瀬戸内沿岸から東方向へ、強い風がアメダスデータで認められた⁽¹³⁾。すなわち風が中国山地から神戸方向に向けて一致して吹き、中国山地から大量の花粉が飛散したと考えられた。

これまで、気温をはじめ幾つかの因子が、飛散開始時期の予測、日々の飛散予測などに活用されてきている。一方風の因子は、花粉を運ぶという重要な役割を担っているにもかかわらず、報告例^(5-9, 11, 13-20)は他の気象因子に比して少ない。理由の一つとしては、風から得られる情報が気温などに比べ日内範囲でさえ激しく変動し⁽¹¹⁾、また風向の素データが定量的ではないため、1日における風向の頻出度^(17, 20)あるいは頻出時間⁽¹⁸⁾など定量データへの置換が時として必要であり、取り扱いが難しいことが挙げられる。

今回我々は、4象限1パターン⁽¹⁷⁻²⁰⁾に限定せずデータを重ね合わせて検討できるように分類することで、生活圏に運ばれる花粉がその地域の風向によってその数に差があることを、統計的にまたより詳細に見いだすことができた。ただし、風向の影響については植栽状況とあわせて周辺の地形が密接に関わっており⁽¹⁶⁻²⁰⁾、捕集地周辺の風の動きをはじめ花粉の飛散

に影響を及ぼすと考えられる情報の収集は重要である。また、風が常時変化することを考えると、かなり遠隔地の花粉源からの明確な飛散動態把握は難しく、例えば流跡線解析⁽²¹⁾の考え方の適用などを検討する必要があると考えられる。

近年インターネットの急速な発展に伴いホームページ上でも情報が提供されるようになるなど⁽²²⁾、花粉情報が年々充実し、また人々にとってより身近な情報となってきた。しかし、花粉症患者をはじめ花粉情報に関心の高い人々にとってはさらに精度高く細やかな情報、あるいは情報の活用が望まれる⁽³⁾。風の因子は扱いが難しいが、切望される局地的な短期予測には欠かせない因子であり、今後さらに多方面からの検討が必要である。

要 約

1999年にDurham型花粉捕集器により10個/cm²以上のスギ花粉を観測した期間を花粉飛散最盛期とし、この期間の神戸における空中スギ花粉飛散数と風向との関連性を検討した。

Burkard型花粉捕集器による時間別飛散数と風向との関連性は、ノン・パラメトリックな方法を用いて解析を行った。風向を計8パターンで分類し、また各風向の代表値として飛散数の中央値を用いて解析したことで、精度の高い結果を得ることができた。スギ林が在り、六甲山地が位置する北方からの風による飛散数は、播磨灘のある西方からの風による飛散数に比して有意に多かった。しかしながら、中国山地から瀬戸内海へ向けての風があった時には、西風における花粉量は顕著に増加した。また、大阪湾の広がる南方からの風による飛散数は、他の風向と比較し、差が認められなかった。大阪湾に吹き流された花粉が、南寄りの風に押し戻されたことが理由の一つとして考えられた。

引 用 文 献

- (1) 出島健司・竹中 洋・水越文和・斉藤憲治・河田 了・高木伸夫・斉藤祐子・昌子 均：スギ花粉症の発症と花粉飛散についての検討。アレルギー 41, 1405-1412 (1992)。
- (2) 伊藤博隆：スギ花粉症の予防と治療 発症予防－耳鼻咽喉科－。アレルギーの領域 4, 40-45 (1997)。
- (3) 高橋裕一・松浦 学・相川勝悟・菅野颯一：

「花粉情報に関するアンケート」の集計結果。山形衛生所報 29, 13-16 (1996)。

- (4) 小笠原寛・吉村史郎・後藤 操・栗花落昌和・藤谷哲造・中原 聡：スギ花粉飛散期の異常気象による飛散総数の増減。アレルギー 48, 691-699 (1999)。
- (5) 平 英影・寺西秀豊・剣田幸子・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)。
- (6) 宗 信夫・岸川禮子：花粉と気象－スギ花粉飛散予報と予測式について。JOHNS 4, 197-200 (1988)。
- (7) 小笠原寛：花粉飛散の特色。小笠原寛編、兵庫県の花粉症。神戸新聞総合出版センター pp.25-40 (1995)。
- (8) S. Kawashima, Y. Takahashi : Modelling and simulation of mesoscale dispersion processes for airborne cedar pollen. Grana 34, 142-150 (1995)。
- (9) 佐橋紀男・高橋裕一・村山貢司：スギ花粉のすべて。メディカル・ジャーナル社 pp.22-53 (1995)。
- (10) Y. Takahashi, M. Sakaguchi, S. Inoue, H. Yasueda, T. Shida and S. Katagiri : Airborne grass pollen antigens in a grassland as studied by immunoblotting with anti-Lol p 1 antibody. Grana 32, 302-307 (1993)。
- (11) 岩谷雅子・村上巧啓・松野正知・尾上洋一・高柳 幹・萱原昌子・足立陽子・足立雄一・岡田敏夫・寺西秀豊・剣田幸子：モノクローナル抗体を用いた空中Cry j 1の測定－スギ花粉飛散数との比較と気象条件、特に風向風速の影響－。アレルギー 44, 670-677 (1995)。
- (12) 丹後俊郎：臨床検査の統計学。朝倉書店 pp.43-53 (1986)。
- (13) 後藤 操・藤原月美・南 利幸・小笠原寛：平成10年の神戸におけるスギ科花粉飛散特性と気象因子の関連性。日本花粉学会第39回大会講演要旨 p.29 (1998)。
- (14) 高野雅子・村上巧啓・松野正知・尾上洋一・高柳 幹・萱原昌子・足立陽子・足立雄一・岡田敏夫・剣田幸子・寺西秀豊：空中スギ花粉抗原の定量的測定－重力法、イムノプロット法の比

- 較と気象因子の影響－. アレルギー 42, 803-808 (1993).
- (15) 福岡義隆・安田喜憲・高橋日出男・南 利幸・小林正興・井上智博：空中花粉の飛散状況からみた広島湾の海陸風と大気汚染の構造. 環境情報科学 20, 85-90 (1991).
- (16) 福岡義隆・陶山理香：地域環境における気象の動態と花粉の飛散. アレルギーの領域 5, 556-565 (1998).
- (17) Marta Recio, Baltasar Cabezudo, M. Mar Trigo and F. Javier Toro : *Olea europaea* pollen in the atmosphere of Málaga (S. Spain) and its relationship with meteorological parameters. *Grana* 35, 308-313(1996).
- (18) I. Silva Palacios, R. Tormo Molina, A. F. Muñoz Rodríguez : Influence of wind direction on pollen concentration in the atmosphere. *Int. J. Biometeorol.* 44, 128-133 (2000).
- (19) M. V. Jato, F. J. Rodríguez, M. C. Seijo : *Pinus* pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship. *Int. J. Biometeorol.* 43, 147-153 (2000).
- (20) F. J. Gonzáles Minero , J. Morales , P. Candau, M. C. Tomás and A. M. Pérez Tello : Aerobiological study of Chenopodiaceae and Amaranthaceae in the Mediterranean area of southwestern Spain. *Invest. Allergol. Clin. Immunol.* 8, 370-375 (1998).
- (21) 森 淳子・鶴野伊津志・若松伸司・村野健太郎：雲仙野岳で観測されたSO₂とエアロゾル組成. 大気環境学会誌 34, 176-191 (1999).
- (22) 今井 透・遠藤朝彦・小澤 仁・小野幹夫・永倉仁史・片山 昇・野原 修・実吉健策・大森剛哉・茂呂八千世・宇井直也・森山 寛：インターネットのWebサイトを用いた花粉症対策指導. アレルギー 49, 495-504 (2000).
-