

原 著

## 花粉の落下速度の研究

市倉賢樹\*・岩波洋造\*\*

## Studies on Fall-Velocity of Pollen Grains

Masaki ICHIKURA\* and Yozo IWANAMI\*\*

(受付：1980 年 9 月 20 日)

## ま え が き

風媒花が受粉し、受精して種子を作るとき、花粉は風によって花から花へと運ばれるが、花粉が風で運ばれるためには、空気中に浮びやすい形や性質をもっている必要がある。一般に風媒花の花粉は小型で軽く、空気の抵抗を増すために体の表面に付属物(例、気のう)をもつといわれているが、典型的な風媒花のトウモロコシの花粉は、直径が 100 ミクロン以上もあり、花粉の中では大型に属するものであるし、その形も球型で、付属物らしいものもない。したがって、風媒花の花粉が必ずしも小さいとはいえない。

花粉の形態はふつうグリセリン・ジェリーに封ずるなどして膨潤した状態で調べられているが、花から出た花粉はかなり脱水状態にあるから、空気中を飛んでいる時の花粉は、形態や分類の論文や本に書かれている形とはかなりちがっている。

花粉の落下速度の研究は Bodmer (1927)、Knoll (1932)、Dyakowska (1937)、Erdtman (1956)、Eisenhut (1961) らによって行われているが、それ

らは、ほとんど日本には産しない植物の花粉について調べられたもので、日本の植物の花粉についての研究は行われていないようである。また、同種の花粉が、同じ条件の下でも、同じ速度で落下するとはかぎらない。これは花粉の大きさや重量に個体差があるためばかりではなく、同種の花粉が乾燥時に少しづつちがった形に縮むことによって、空気の抵抗にちがいを生ずるからであろう。たとえば、前記の Bodmer (1927) は *Larix decidua* (欧州カラマツ) の花粉の落下速度が 12.5~22.0 (cm/sec)、*Pinus sylvestris* (欧州マツ) が 2.9~4.4 (cm/sec)、*Abies incana* (欧州モミ) の花粉が 1.7~2.2 (cm/sec) であると報告している。さらに *Larix decidua* の花粉の落下速度について、Knoll は 9.9 (cm/sec)、Dyakowska は 12.3 (cm/sec)、Eisenhut は 12.6 (cm/sec) という数字を出している。このように種によって落下速度にちがいがあるだけでなく、同種の花粉でも研究者によって異なる値が得られている。これは花粉の落下の仕方が、植物の生育状態はもちろん、外的条件(温度、湿度、天気の状態など)のちがいによって微妙に変わることを示唆している。

\* 横浜市立上白根中学校 〒 241 横浜市旭区上白根町 868

\* Kamishirane Junior High School, Asahi-ku, Yokohama 241, Japan

\*\* 横浜市立大学生物学教室 〒 236 横浜市金沢区瀬戸 22-2

\*\* Biological Institute, Yokohama City University, Kanazawa-ku, Yokohama 236, Japan

筆者らは以上のことを念頭におきながら、日本の植物について、温度、湿度などの条件をなるべく同じにしたときの花粉の形態を調べ、さらに実際に無風の筒の中に花粉を浮かべたときの花粉の落下状態について調査を行った。以下にその結果を報告する。

## 材 料 と 方 法

この実験に用いた材料は表1に示したイネ、ブナ、マツ、マキ、モクレン、オオバコ科などに属する31種の花粉と孢子である。これらは、主に風媒花であるが、一部に虫媒花も入っている。

## 1. 花粉の採取

自然に開花した花から花粉を採取し、それを恒温室(28°C、湿度65%)におき、適宜、落下速度の測定実験に用いた。イネ科の花粉は採取後1週間以内に使用し、その他の花粉は少なくとも1カ月以内に使用した。

## 2. 花粉の大きさ

グリセリン・ジェリーに封じたいろいろの花粉について、赤道部の直径(E)と極軸部の直径(P)を、接眼マイクロメーターを使用して測定した。マツ、マキ科については気のうを含めた外径の長径(a')と

表1 31種類の花粉と孢子の落下速度と花粉の大きさの比較

花 粉 の 種 類			落下速度 (cm/秒)	花粉の大きさ 長径の平均(μm)
イ ネ 科	<i>Zea mays</i>	トウモロコシ	20.0	114
	<i>Coix lachryma-jobi</i>	ジュズダマ	10.0	68
	<i>Triticum aestivum</i>	コムギ	8.0	66.5
	<i>Avena fatua</i>	カラスムギ	4.4	51.5
	<i>Oryza sativa</i>	イネ	5.0	43
	<i>Bromus catharticus</i>	イヌムギ	4.0	40.5
	<i>Agropyron kamohi</i>	カモジグサ	3.6	40.5
	<i>Agrostis clavata var. nukabo</i>	ヌカボ	3.8	37
	<i>Dactylis glomerata</i>	カモガヤ	4.0	34
	<i>Poa pratensis</i>	ナガハグサ	2.5	29.4
	ブ ナ 科	<i>Quercus acutissima</i>	クヌギ	5.0
<i>Quercus crispula</i>		ミズナラ	4.0	29
<i>Quercus serrata</i>		コナラ	3.3	26.5
<i>Quercus misinaefolia</i>		シラカシ	3.1	23.5
マ ツ 科	<i>Pinus Pumila</i>	ハイマツ	4.4	43
	<i>Pinus parviflora</i>	ゴヨウマツ	4.0	52.5
	<i>Pinus densiflora</i>	ヌカマツ	4.0	49
	<i>Pinus thunbergii</i>	クロマツ	3.6	48.5
マ キ 科	<i>Podocarpuss macrophylla</i>	イヌマキ	2.7	35.5
イグサ科	<i>Luzula capitata</i>	スズメノヤリ	4.0	46.5
ヒノキ科	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	3.2	34
イチイ科	<i>Torreya nucifera</i>	カヤ	3.3	29
オオバコ科	<i>Plantago lanceolata</i>	へらオオバコ	3.1	25
クワ科	<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	3.3	23.3
オオバコ科	<i>Plantago asiatica</i>	オオバコ	2.9	22.5
タデ科	<i>Rumex acetosa</i>	スイバ	1.9	21.5
キク科	<i>Ambrosia artemisiaefolia</i>	ブタクサ	2.5	19
モクレン科	<i>Magnolia grandiflora</i>	タイサンボク	8.0	85
	<i>Magnolia obovata</i>	ホウノキ	5.7	71.5
ミズキ科	<i>Aucuba japonica</i>	アオキ	5.7	46.5
ツバキ科	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ	5.7	41.5
ゼンマイ科	<i>Osmunda japonica</i> (Spore)	ゼンマイ	5.0	56.5

短径 (b') も求め、オオバコ科の花粉のように軸の不明のものは、長径 (A) と短径 (B) を、モクレン科の花粉については極軸部の直径 (P) と極観の長い方の直径 (A) を測定した。ただし、今回の実験では形態を調べることが主な目的ではなかったため、花粉の大きさについては長径の平均値だけを、表に書き添えることにした。

### 3. 落下速度の測定法

落下速度測定の実験はすべて 28°C、湿度 65% の恒温室中で行われた。

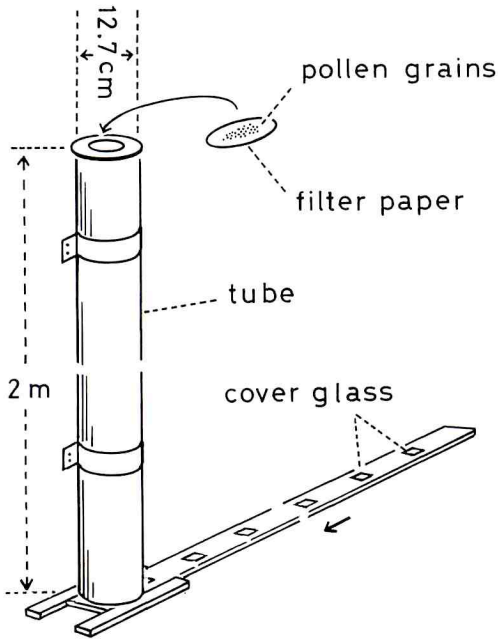


図1 落下速度測定装置 (測定方法は本文参照)

### 測定装置

図1に示されているように、内径 12.4 cm、長さ 2 m のアクリル樹脂の長い筒を用意し、それを垂直に立て固定した。円筒の最下部に幅 7.5 cm、厚さ 1.2 cm、長さ 130 cm の板がスライドできるようにして置き、その板の上にスライドガラスを等間隔 (13 cm おき) に 10 枚並べ、それぞれのスライドガラス上に白色ワセリンをうすくぬった 24×24 mm のカバーガラスを置いた。こうして落下してくる花粉を、板を

5 秒ごとにずらしてゆくことによってカバーガラス上にキャッチし、低倍率の顕微鏡を使って各カバーガラス上の花粉の数を数えた。

### 落下を一斉に開始させる方法

花粉を筒の最上部から一斉に落下を始めさせるために、次のような方法をとった。花粉をろ紙 (径 9 cm) の上にばらまき、ろ紙を垂直に傾けることによって、塊りになっている花粉をふり落とし、花粉がろ紙の表面にばらばらに付着しているようにする。このろ紙を円筒の上端にあげてある厚紙 (その中央には径 7 cm の穴があけてある) の穴の所に裏がえししておく (花粉はろ紙の下面についている形になる)。次に 21.3 g のおもりをろ紙の中央部に落とし、その衝撃によって花粉を円筒内に落下させる。このようにすると花粉をほぼ一斉に単粒の状態での落下を開始させることができる。

### 測定法

落下開始と同時に、電動式ストップウォッチを作動させ、5 秒おきにカバーガラスの並んでいる板をスライドさせ、落下してきた花粉をうけとめた。この作業に要した時間は、試料の種類によっても異なるが、約 100~175 秒であった。こうして、花粉を落下させてから、花粉の数をかぞえる時には、カバーガラスを 4 mm 目盛の方眼紙の上ののせ、投下光のもとで鏡検 (約 40 倍) にしながら、それぞれのカバーガラスに落下している花粉数をカウンターで数えた。落下開始後の短時間中に落下した花粉の中には、塊っているものがみられたが、このようなものは測定から徐き、一個体ずつはなれて落ちている花粉だけについて数えた。

なお、測定に使用したアクリル樹脂の筒は、実験ごとに水で洗うことによって、他種の花粉の混入をさけた。

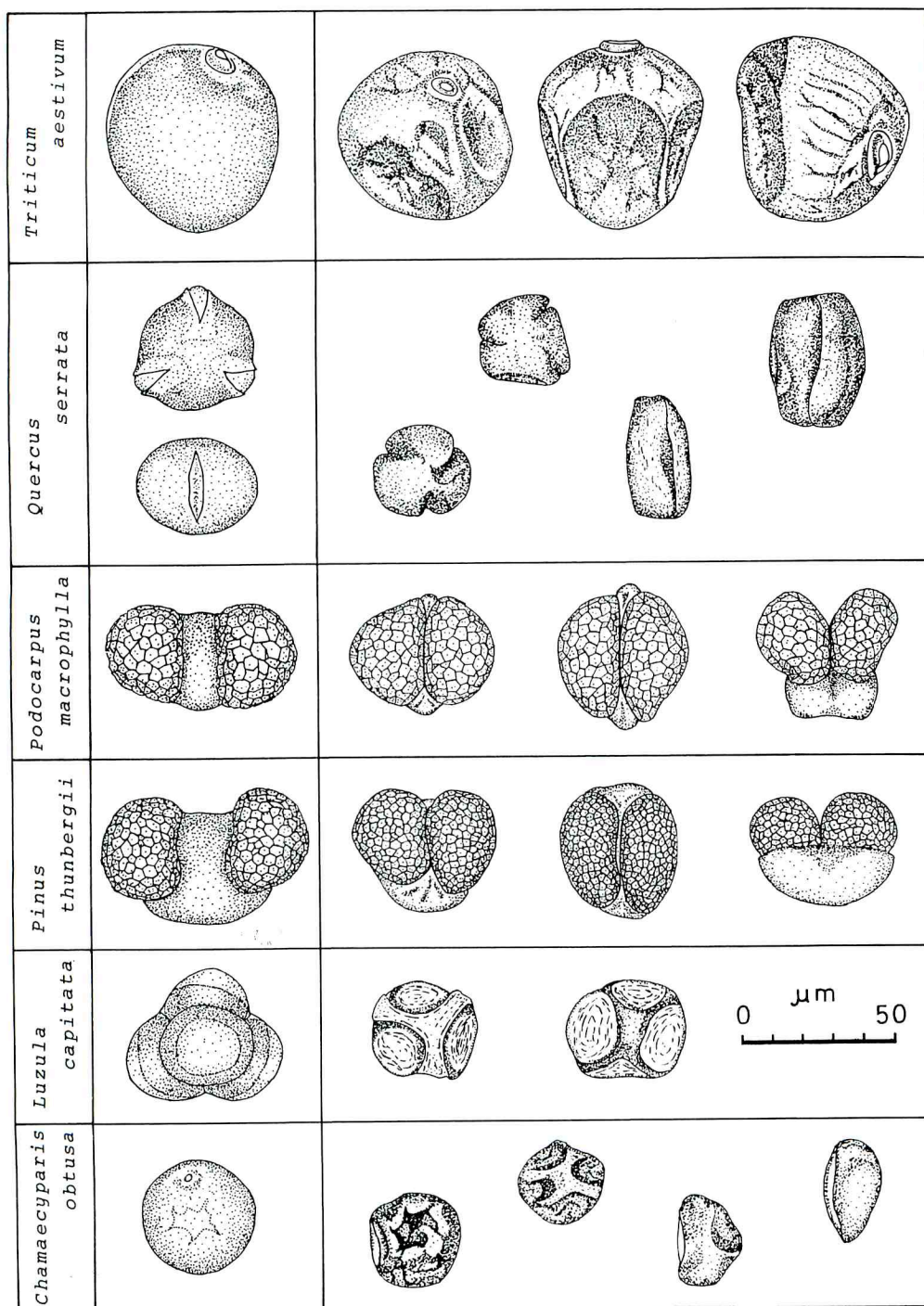


図2 6種類の花粉の膨潤型(左)と乾燥型(右)の形態の比較(膨潤型はグリセリン・ジェリー中、乾燥型は室内放置)

## 結果と考察

### 1. 花粉の形態変化

花粉の形態学や分類の研究においては、花粉をグリセリン・ジェリーなどに封じて観察を行うから、論文や専門書に書かれている花粉の図は、膨潤状態の花粉の形である。ところが自然の空气中を飛んでいる時の花粉は膨潤状態でない。つまり脱水することによって収縮し、さまざまな形に変形している。そこで筆者らは、まず花粉から採取した花粉を、自然の状態に 1 日以上放置した後、落射照明法によってそれぞれの花粉の形態を観察し、それをスケッチすることによって記録した。図 2 はその一部であるが、各花粉がいろいろの形に変形していることがわかる。この収縮による花粉の形の変形は、花粉の重さを減じ、空气中に放出されたときの空気抵抗を大にすることによって、空气中を浮遊するのに役立っていると考えられる。したがって変形すること自体が、生物的な意味をもっているといえる。

### 2. 落下速度

落下速度を調べる実験材料としての花粉を選ぶにあたって、筆者らは次の二つのことを考慮した。

- (1) 風媒花の花粉を中心に調べる。
- (2) 同タイプの花粉で、大きさの異なる花粉について調べる。

#### 1) 風媒花粉の大きさと落下状態

イネ科の 10 種類、ブナ科の 4 種類、マツ、マキ科の 5 種類の花粉の落下の状態を調べた結果と、各花粉の大きさが図 3 に示されている。

これら 3 つのグラフから、大型の花粉は早く落下し、小型の花粉ほどおそく落下する傾向が強いことがわかる。たとえば、直径 100 ミクロン以上もあるトウモロコシでは、落下させてから 25 秒以内にすべての花粉が筒の下部に到達したが、平均長径 27.4 ミクロンのナガハグサの花粉では、花粉が落下し終わるまでに 130 秒の時間を要した。ただ、イネ科のイネの花粉は、小型の割り合いには早く落下した。その理由については不明であるが、花粉の収縮の仕方

が他のものと多少ちがっているためかもしれない。

その他の風媒花のスズメノヤリ、ヒノキ、カヤ、オオバコ、ヘラオオバコ、カナムグラ、ブタクサ、スイバの花粉の落下の様子を調べた結果が図の 4 の左に示されている。これらの中には、いろいろのタイプの花粉が含まれているが、花粉の大きさと落下の速さとの間には、必ずしも比例的な関係がみられない。これは花粉の大きさだけでなく、変形による空気抵抗の大小や含水量などが落下速度をきめる要素となるからであろう。

#### 2) 虫媒花粉の落下状態

虫媒花の花粉は、突起や粘液や粘糸をもっているものが多い。そのため採取した花粉は塊りをなし、ばらばらの状態にはなりにくい。しかし、前記の方法でろ紙の表面にばらばらの状態に付着させたわずかの花粉について落下速度を調べた。その結果が図 4 の右に示されている。

グラフにみられるように、大型の花粉は一般に早く落下したが、ツバキ、アオキのように平均長径 41~47 ミクロンの花粉が、71~72 ミクロンのハウノキの花粉とほとんど同じ速さで落下してくるなど、花粉粒の大小と落下の速さとの比例関係は、風媒花粉の場合のように明瞭にあらわれなかった。これは、虫媒花の花粉の外壁が厚く、表面に油状の物質が付着していることによって、水分の含有料が花粉の種類ごとにちがっているためであろう。

#### 3) 落下速度の比較

図 3、4 のグラフは、2 m の円筒内を各種の花粉が落下する状態を、何秒後にいくつの花粉が落ちてくるかを調べ、測定数の最高値を 100 として示したものである。また、これらの測定結果を用いて、一番多くの花粉が落下したカバーグラスについての秒速を算出し、それを各花粉の落下速度として表に示したものが表 1 である。なお、参考のために各花粉の落下速度の横に花粉の大きさ（平均長径）を付記した。

表にみられるように、今回調べた花粉の中で落下速度が最大のもはトウモロコシの 20.0 (cm/sec)、

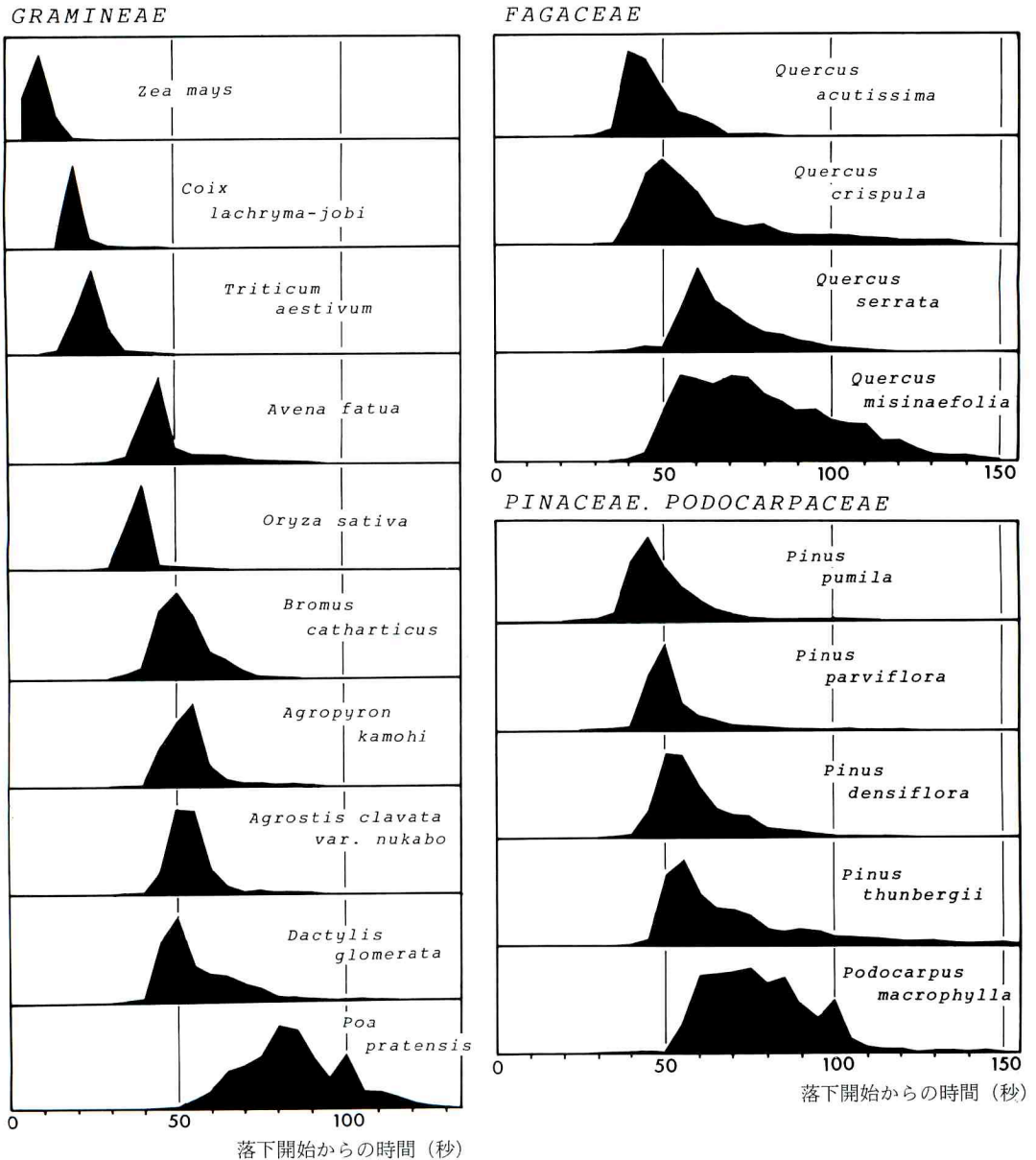


図3 イネ科、ブナ科、マツ、マキ科の花粉の落下状態の比較（花粉の種類ごとに落下花粉の最高値を100とした。各科の花粉は上から大きい順（表1参照）に並べてある）

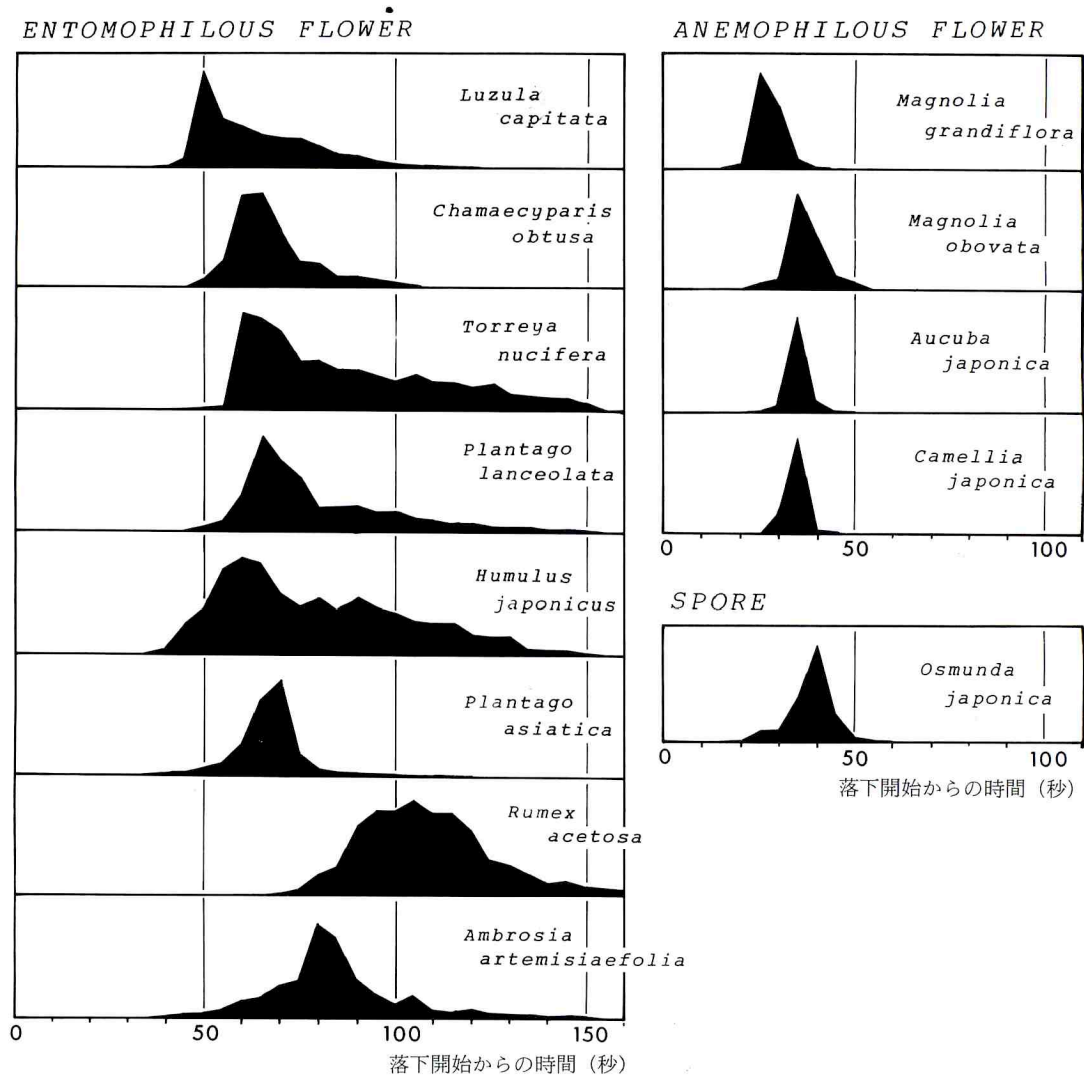


図4 8種類の風媒花(左)と4種類の虫媒花(右上)とゼンマイの孢子(右下)の落下状態の比較(種類ごとに落花粉の最高値を100とした。それぞれの群について上から大きい順に並べてある)

最小のものはスイバの花粉の 1.9 (cm/sec) であった。

虫媒花の花粉は一般に風媒花の花粉より落下速度が大であるが、風媒花のトウモロコシの花粉は今回調べた花粉の中で最大の落下速度を示したので、一概に虫媒花の花粉が風媒花の花粉より早く落下するとはいえない。

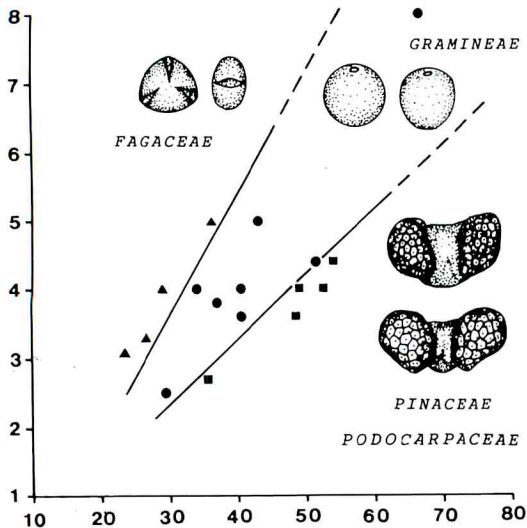


図5 イネ科、ブナ科、マツ、マキ科の花粉粒の大きさと落下速度との相関図（大きな花粉ほど落下速度が大になっている）

#### 4) 花粉の大きさと落下速度の相関

図5のグラフは、ブナ科、イネ科、マツ、マキ科について、花粉粒本体の大きさと落下速度の相関関係を示している。グラフから明らかのように、同一科の花粉は、それぞれ、ほぼ直線状に並び、正の相関関係を示している。このことから花粉粒の大きさ

と落下速度とは比例関係にあるといえる。なおFirbas and Rempe (1936) は *Pinus* と *Betula* の花粉について研究し、花粉粒の大きさが小さくなると落下速度も小さくなることを報告している。

次に、花粉本体の大きさを同じ位置にとり、科ごとに落下速度をくらべてみると、マツ、マキ科（有気の花粉）は、イネ科、ブナ科の同じ大きさの花粉より落下速度が小さい（落ち方がおそい）ことがわかる。このことは、明らかに気の有無が、落下速度に影響を与えていることを示している。また、ブナ科の花粉は、イネ科の花粉より落下速度が大きい（早く落ちる）こともわかる。なお、試みに Knoll (1932)、Dyakowska (1937)、Erdtman (1956)、Eisenhut (1961) のデータから、ブナ、マツ、イネ科のみの花粉の落下速度値をとりだし同様の相関図を書いてみたが、結果は前記の傾向と一致していた。

今回、筆者らは花粉の落下速度について以上のような結果を得たが、この種の研究にはいろいろの困難な問題が含まれていることがわかった。たとえば今回の調査では落下速度の大小と花粉の大小との比較において、各花粉の収縮状態のちがいを無視せざるを得なかった。それは、各花粉が個体ごとにちがった型に変形するため、厳密に落下時の状態や花粉の大きさの測定、記録ができなかったからである。さらに、落下させる花粉の含水量を記録することも必要であることがわかった。したがって、この実験で完全な結論は得られなかったが、自然の中で花粉がどのように落下しているかを考える時の目安を得ることができた。今後は、自然の分布との関係や、花粉分析との関係に、この研究を結びつけてゆきたいと考えている。



## 引用文献

1. Bodmer, H. (1927) : Flora.122, 306
2. Dyakowska, J. (1937) : Bull. Akad. Pol. Sci. Ser. B<sup>8</sup>/10, 155
3. Eisenhut, G. (1961) : Forstwiss. Forsch. 15
4. Erdtman, G. (1956) : Pollen morphology and plant taxonomy, II, Almqvist and Wiksell. Sweden
5. Firbas, F. and Rempe, H. (1936) ; Bioklimat. Beibl. Meteorol. Z. 3, 50
6. 岩波洋造 (1979) 「植物を考える」 出光書店, 177-179
7. Knoll, F. (1932) : Forsch. Fortschr. 8, 301
8. 徳永重元 (1972) 「花粉分析法入門」 ラテイス, 130-132

## Summary

Fall-velocity of pollen grains of 27 entomophilous species and 4 anemophilous species was studied in synthetic resins' pipe (Fig.1) under standard environmental condition (temperature 28°C, humidity 65%). In entomophilous species (Gramineae, Fagaceae, Pinaceae, podocarpaceae), distinct linear relationship between the size of pollen grains and fall-velocity was observed (Table 1, Fig.3, Fig.5), however, the such relationship was not observed in anemophilous species (Table 1, Fig.4) Air sacs of pollen grains may be useful for delaying the fall-velocity of pollen grains, because the fall-velocity of pollen grains having air sacs was lower than that of pollen grains having no air sac (Table 1, Fig.5).

## 新著紹介 雲仙・原生沼の研究 (1980)

長崎県環境部の出版物(非売品)で本文70ページ、18.5×26.2 cm。本書は長崎大学教養部植物生態学研究室の伊藤秀三教授の編集である。原生沼は長崎県島原半島の雲仙国立公園特別地域および国の天然記念物に指定されている、1.2ヘクタールの面積があり、標高670 mに位置する。

日本花粉学会会員の岡山理科大学・三好教夫教授が花粉分析の結果を報告された(pp. 19-28)。コアは400 cm。A層は400-320 cm、6,500-4,000 yr B. P. 本湿原の堆積開始を示し、Cyclobalanopsis アカガシ亜属・Castanopsis シイ属・Abies モミ属・Podocarpus マキ属の時代。B層はLepidobalanus・Symlocos サワフタギ属・Cyclobalanopsis アカガシ亜属・Pinus マツ属の時代。C層はPinus マツ属・Cryptomeria スギ・Cyclobalanopsis アカガシ亜属の時代としている。

長崎県の雲仙地域総合的研究の成果の一部で、昔から大乘院満明寺の庭地といわれてきたが、花粉分析により寺の存廃時代とも一致していることも判明した。

Studies on Gensei-numa Moor of Unzen. Edit. Syuzo ITOW (Plant Ecology Laboratory, Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University, 1980) (上野)。

## 新著紹介

**J. Sivak : Histoire du genre Tsuga en Europe d'après l'étude des grains de pollen actuels et fossiles. Paleobiologie continentales vol. IX. NO. 1 Montpellier 1978.**

「現生および化石花粉によるヨーロッパのツガ研究」である。2冊からなる大著で、第1冊は本文、20.6×29.4 cm p. 226、地図・図解などからなる。Tsugaの属名は1867年から採用され、Van Tieghem(1891)はTsugaとHesperopeuceに分け、さらにEutsuga(真正ツガ:ツガ、コメツガなど)とHesperopeuce(金毛ツガ)になった。HesperopeuceはM. Van CampoやH. GaussenによりTsuga×Piseaなどの雑属と考えられている(1948)。ツガの研究はToulouse大学Gaussen教授の愛弟子M. Van Campoの仕事で、今回はさらにSivakがその後をついだ成果をまとめた。日本の花粉形態学・分類学・花粉分析による参考となる。他日さらに解説を加えて紹介したい。第2冊は図版で159図のMph(光学顕微鏡)、MeB(走査電子顕微鏡)、MeT(透過電子顕微鏡)、スケッチなどからなる。上野はこの属の花粉をMphによりParisのM. Van Campo研究室で研究し、1957年に報告を出した。上野はTsugaのWingを外側気嚢Outside Air Sacとよび、その変化は興味がある。またTsugaのexine外皮は波状・小刺・長刺などの形態を示し、そのすべてがMph、MeB、スケッチにより図解されている。20.6×29.4 cm。発行所 L' Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France (上野)。