

熊谷市郊外における 5 年間 (2017–2021) の空中飛散花粉

米 林 伸*

キーワード：空中生物学, 空中花粉, 風媒, 季節変化, 年変化, 花粉学

1. はじめに

風媒による送受粉は裸子植物に加えて, 北方の落葉樹林やサバンナなどの被子植物でも主要な方法である (Whitehead 1969). 花粉媒介者の昆虫が他個体の柱頭に効率よく花粉を運んで付着させる虫媒植物などと異なり, 受粉効率の悪い風媒植物は, 繁殖成功のために大量の花粉を生産して空中に放出する必要がある. そのため, 空中飛散花粉の大部分は風媒植物の花粉が占めることになり, 風媒植物の繁殖過程で重要な送粉の実態を空中飛散花粉の調査から明らかにすることができる.

日本における空中飛散花粉の研究は, 花粉症の主要なアレルゲンとして関心が高いスギ, ヒノキ科花粉に偏っている. そのため年間を通してどのような種類の花粉がいつ飛散しているのかなどの基本的情報は少ない上に, 同定種類数や観測期間も様々で, 地域による違いや年変化の実態も明らかでない. 札幌市から屋久島までの全国で行われた2013年までの2~28年間の主要木本花粉のデータを検討した数少ない例である岸川ほか (2017) は, 次のことを明らかにした. 一部の地点を除いてスギ花粉が最も多く (全国平均で総木本花粉の44%), 次いでマツ科やヒノキ科, ブナ科 (ブナ属, コナラ属, シイ属など) の花粉が多かった. スギ花粉は植林を含めて, 母樹がほとんど生育しない北海道中部を除くと, ほとんどの地点で最も多かったが, 新潟ではマツ科花粉より少なかった. ブナ科花粉は地域による捕集数の違いは少なかった一方, マツ科花粉は東北や日本海側の新潟で多く, ヒノキ科花粉は西日本, カバノキ科 (ハンノキ属, カバノキ属, シデ属など) 花粉は北海道で多いなどの地域性が見られた. ただし, これらの観測は病院や大学で行われたものが大部分で, 都市部の空中飛散花粉であることに注意が必要である. この他の比較的長期間にわたる分類群網羅的な観測には, 苫小牧市 (Igarashi 1987), 新潟市 (藤崎 1988, 藤崎・藤崎 2003), 千葉市 (Yonebayashi 1997), 相模原市 (信太ほか 1998, 齊藤ほか 2017), 芦

屋市 (倉重ほか 1997), 松山市 (難波ほか 2022), 福岡市 (児塔ほか 1998) の研究がある.

本研究では, 森林が優占する山地と, 森林に乏しい平野部の間に位置する関東平野縁辺部の都市化が進んでいない熊谷市郊外における, 2017年から2021年の5年間の空中飛散花粉の実態を明らかにすることを目的とした.

2. 調査地と植生

花粉捕集器は埼玉県熊谷市南部の立正大学熊谷キャンパス3号館の屋上に設置した. 調査地は比企丘陵の北に隣接する江南台地の東端付近に位置し (36.11° N, 139.36° E, 標高49m), 北側から東側には荒川低地が広がる. キャンパス周辺の台地や丘陵地は人工地を除くと, 田畑と, あまり管理されていないコナラ林が多い. 若松ほか (2011) による2002年撮影の空中写真判読による調査地周辺の土地利用割合は, 台地では田畑47.9%, 人工地28.0%, 広葉樹林 (主にコナラ林) 19.6%, 丘陵地では広葉樹林46.1%, 田畑25.8%, 人工地8.1%であり, 主にスギ, ヒノキの植林地である針葉樹林は, いずれの地形でも10%未満であった.

キャンパス内に建物は少なく, 西側は陸上競技場や野球場などが広がり, 北東側の2か所には幅約50mの疎開したアカマツ林がある (米林・川西 2009). また, 3号館から建物や広場を挟んだ南側には樹高15~20mのコナラ林が広がる. 捕集器を設置した3号館の直近にはメタセコイア, ケヤキ, ソメイヨシノ, クスノキ, イロハモミジなどが植栽されている. その他の主要な風媒樹木の散布源としては, 約300m西に樹高20m以上のポプラと樹高約15mのイチヨウからなる並木, 約150m北西に樹高約15mのヒマラヤスギの植栽がある. 風媒の主な草本植物のうち, カナムグラは校地周辺の耕作放棄地や造成地などの刈取り管理が行われない場所に多く, オオブタクサ (クワモドキ) は道路沿いの林縁など, しばしば攪乱される明るい場所に群生する. イネ科植物には様々な

* 立正大学地球環境科学部

生態学的要求をもつ多くの種が含まれるが、キャンパス周辺で比較的個体数が多く、花粉生産力が高そうなものとしてナギナタガヤ、ネズミムギ、ホソムギ、カモジグサ類、エノコログサ類などが明るい環境に生育する。

約4.8km北にある熊谷気象台の平年値（1991-2020年）は平均気温15.4℃、年降水量1305.8mmであるが、調査期間（2017–2021年）の平均気温は16.0℃、平均年降水量は1273.2mmであった。

3. 方法

空中飛散花粉の捕集には自作した重力型の米国標準捕集器（Durham trap）を用いた。捕集器は地上約15mの3号館地球環境科学部棟の屋上に、長野ほか（1978）の条件を極力満たす場所に設置した。捕集期間は2017年1月9日から2021年12月31日までの5年間である。白色ワセリンを薄く塗布したスライドガラスを、原則として1～5月は1～3日間隔、6月以降は1～4日間隔で17：30頃に交換した。全調査期間で欠測が2回（2017年4月18-19日、2019年5月21-22日）、捕集間隔（曝露期間）が5日以上だった場合が2017年に2回、2018年に13回、2019年に1回あった。

回収したスライドガラス上の砂粒、小さな昆虫、植物片などのゴミを実体顕微鏡下で有柄針を用いてとり除いた後に、ゲンチアナバイオレットを含むグリセリンゼリーで封入した。プレパラートは生物顕微鏡で18×18mmのカバーガラス全体の範囲を走査し、その間に出現した全ての花粉とシダ胞子の種類と数を記録した。花粉・胞子型の名称は、同定可能な分類階級の名称を用いたが、「-型（type）」と「／」の使用法はBirks and Birks（1980）に従った。すなわち「-型」はその名前で示された分類群を含む3つ以上の分類群の可能性のある花粉型であるが、花粉形態からは区別できないものを示す。具体的にはヒノキ科型はヒノキ科、イヌガヤ科、イチイ科の、クリ属型はクリ属、シイ属、オニガシ属のいずれかであることを示す。「／」はその前後の名前で示されたどちらか一方の分類群であるが、花粉形態からは区別できないものを示す。花粉・胞子数の季節変化を示す際にはプレパラートごとの計測数をカバーガラスの面積と捕集日数で除すことにより、 $1\text{ cm}^2 \cdot 1\text{ 日}$ 当たりの花粉・胞子粒数に換算した。捕集日は、捕集間隔が2日以上の場合には、捕集期間の中央の時刻が属する日付で代表させた。

花粉暦（pollen calendar）の作成に当たっては、花粉

量を「出現」、「普通」、「多い」、「非常に多い」の4段階に分けて表現した。いずれも、当該花粉・胞子型の $1\text{ cm}^2 \cdot 1\text{ 日}$ 当たりの捕集数が5年間のうち3年以上にわたって、「出現」は出現するが1粒未満；「普通」は1粒以上10粒未満；「多い」は10粒以上100粒未満；「非常に多い」は100粒以上の日と定義した。また、花粉暦には各年の最大捕集日が記録された日付（表1）の範囲を両矢印で示した。

4. 結果

空中飛散花粉・胞子の季節変化と散布源

木本花粉の合計と草本花粉の合計の季節変化では、木本花粉の主要な散布期は2月下旬から5月下旬であり、草本花粉のそれは5月上旬から10月末であった（図1）。これらの散布期の年による変動は少なかった。また、草本花粉の散布は2山型で、5月と9月に増加し、後者の飛散量の方が多かった。

5年間の飛散状況に基づき、熊谷市における主要花粉・胞子の一般的な花粉暦を作成した（図2）。取り上げた花粉・胞子は、全ての年に捕集され、平均年間捕集数が20粒以上のものを原則とした。ただし、トクサ属、ギシギシ属、ヨモギ属、アカザ科／ヒユ科、ヒマラヤスギの花粉は20粒未満だったが、千葉市の結果（Yonebayashi 1997）と比較するため、花粉暦に含めた。季節変化の特徴と、散布源となった母植物の推定は、以下のとおりである。

ハンノキ属：散布は1月中旬から5月上旬まではほぼ連続してみられ、その後も5月下旬まで散発的に出現した。最大捕集日は、3月30日に見られた例外的な年（2021年）を除いて、1月中旬から2月上旬の間にあった。主な散布源は低湿地に多いハンノキと考えられるが、3月以降には山地性のヤシヤブシ類やケヤマハンノキ類も寄与していると考えられる。

スギ属／メタセコイア属：主な散布期間は2月中旬から4月上旬だが、それ以外の季節にも散発的に出現した（図3）。特に、10月中旬以降は1粒未満（ $1\text{ cm}^2 \cdot 1\text{ 日}$ 当たり、以下同じ）でかなり連続的に出現した。最大捕集日は2月23日から3月16日の間に見られ、2018年3月16日に1024.1粒を記録した。また、1日当たりの最大捕集数や年間捕集数は変動が大きく、年間捕集数は2020年の3893.8粒から2018年の13215.4粒の範囲であった。花粉形態からこの2属を確実に区別することはできないが、散布源は低地から山地まで多く植林されているスギ

表 1. 各年の年間捕集数と最大捕集日.

	年間捕集数 (grains cm ⁻² yr ⁻¹)					平均	最大飛散日				
	2017	2018	2019	2020	2021		2017	2018	2019	2020	2021
木本											
イチョウ	37.0	40.7	29.6	33.3	65.1	41.2	23/IV	10/IV	25/IV	19/IV	13/IV
ヒマラヤスギ	9.3	8.3	18.5	25.0	33.3	18.9	8/XI	17/XI	17/XI	9/XI	4/XI
マツ属／イヌマキ属	1201.2	1235.5	873.5	1221.0	940.7	1094.4	4/V	23/IV	5/V	3/V	24/IV
ツガ属	25.3	34.6	17.9	1.5	0.9	16.0	31/V	17/V	27/V	11/V	18/V
スギ属／メタセコイア属	4538.0	13215.4	8872.5	3893.8	5925.9	7289.1	7/III	16/III	13/III	23/II	23/II
ヒノキ科型	1391.4	7438.0	2349.1	917.0	2271.3	2873.3	31/III	4/IV	28/III	22/III	17/III
クルミ属／サワグルミ属	48.8	66.4	19.1	42.3	48.1	44.9	8/V	26/IV	10/V	13/V	10/V
ヤマナラシ属	13.6	66.0	86.7	82.4	47.8	59.3	7/IV	27/III	28/III	22/III	26/III
ヤチヤナギ属／ハシバミ属	17.9	49.1	28.1	15.4	26.5	27.4	18/IV	7/IV	20/IV	5, 12/IV	6/IV
カンバノキ属	96.0	262.0	119.8	172.5	140.4	158.1	5/II	17/I	4/II	28/I	30/III
カバノキ属	27.5	86.4	11.7	14.8	101.9	48.5	21/V	20/V	4, 10, 24/V	14/V	9/V
イヌシデ	41.7	114.2	127.5	51.2	167.3	100.4	6/IV	27/III	28/III	22/III	26/III
シデ属／アサダ属	135.8	322.2	171.0	45.4	124.7	159.8	14/IV	5/IV	28/III	3, 5/V	26/III
クリ属型	94.4	73.1	77.2	77.5	74.1	79.3	17, 23/V	30/IV	9/V	3/V	9/V
ブナ属	12.3	52.5	4.6	13.0	41.4	24.8	18, 21/V	13/IV	10/V	3/V	22/IV
アカガシ亜属	160.5	299.7	371.9	174.1	226.5	246.5	22/IV	10/IV	12/V	5/V	10/V
コナラ亜属	5032.4	6516.4	2750.9	3787.3	6341.7	4885.7	22/IV	10/IV	22/IV	19/IV	8/IV
エノキ属／ムクノキ属	560.5	578.1	451.9	358.3	738.0	537.3	1/V	21/IV	15/IV	2/V	22/IV
ケヤキ属／ニレ属	109.0	963.9	598.1	21.9	1037.3	546.0	16/IV	5/IV	15/IV	5/IV	31/III
クロ科／イラクサ科	70.1	65.4	161.7	220.4	249.4	153.4	27/IV	11/IV	23/IV	3/V	18/IV
バラ科	25.3	106.5	12.7	17.6	18.2	36.0	17/IV	21/IV	17/IV	5/IV	4/IV
アカメガシワ	17.0	34.0	20.7	20.1	26.5	23.6	27/VI	4/VI	20/VI	17/VI	21/VI
草本											
カラハナソウ属	192.3	67.3	136.4	139.8	227.5	152.7	18/IX	22/IX	4/X	6/X	24/IX
ギシギシ属	10.5	6.5	7.4	8.6	11.4	8.9	24/V	8/V	12/V	18/V	10/V
アカザ科／ヒユ科	19.1	17.3	17.6	9.9	13.3	15.4	14, 19/IX	11/IX	25/IX	14/IX, 2, 4/X	18/IX
ブタクサ属	150.3	91.7	133.6	373.5	284.0	206.6	6/IX	16/IX	7/IX	6/IX	10/IX
ヨモギ属	27.2	7.4	13.9	11.4	8.6	13.7	30/VIII	19/IX	19/IX	2/X	14, 20/IX
イネ科	214.2	197.8	201.2	245.1	233.0	218.3	21/V	20/V	23/V	28/V	24/V
シダ											
トクサ属	9.6	16.0	11.4	10.2	13.3	12.1	3, 5, 9, 15/IV	27/III	28/III	22/III	31/III
木本計	13694.8	31711.1	17216.4	11241.4	18736.1	18519.9	22/IV	5/IV	13/III	19/IV	8/IV
草本計	633.3	410.5	541.0	813.9	817.0	643.1	18/IX	19/IX	25/IX, 4/X	6/IX	24/IX
シダ計	18.8	27.5	17.6	19.1	22.5	21.1	9/IV	27/III	28/III	22/III	31/III, 8/IV
不明計	206.2	248.8	200.0	136.1	190.1	196.2	22/IV	10/IV	19/IV	16/IV	8/IV
総計	14553.1	32397.8	17975.0	12210.5	19765.7	19380.4	22/IV	5/IV	13/III	19/IV	8/IV

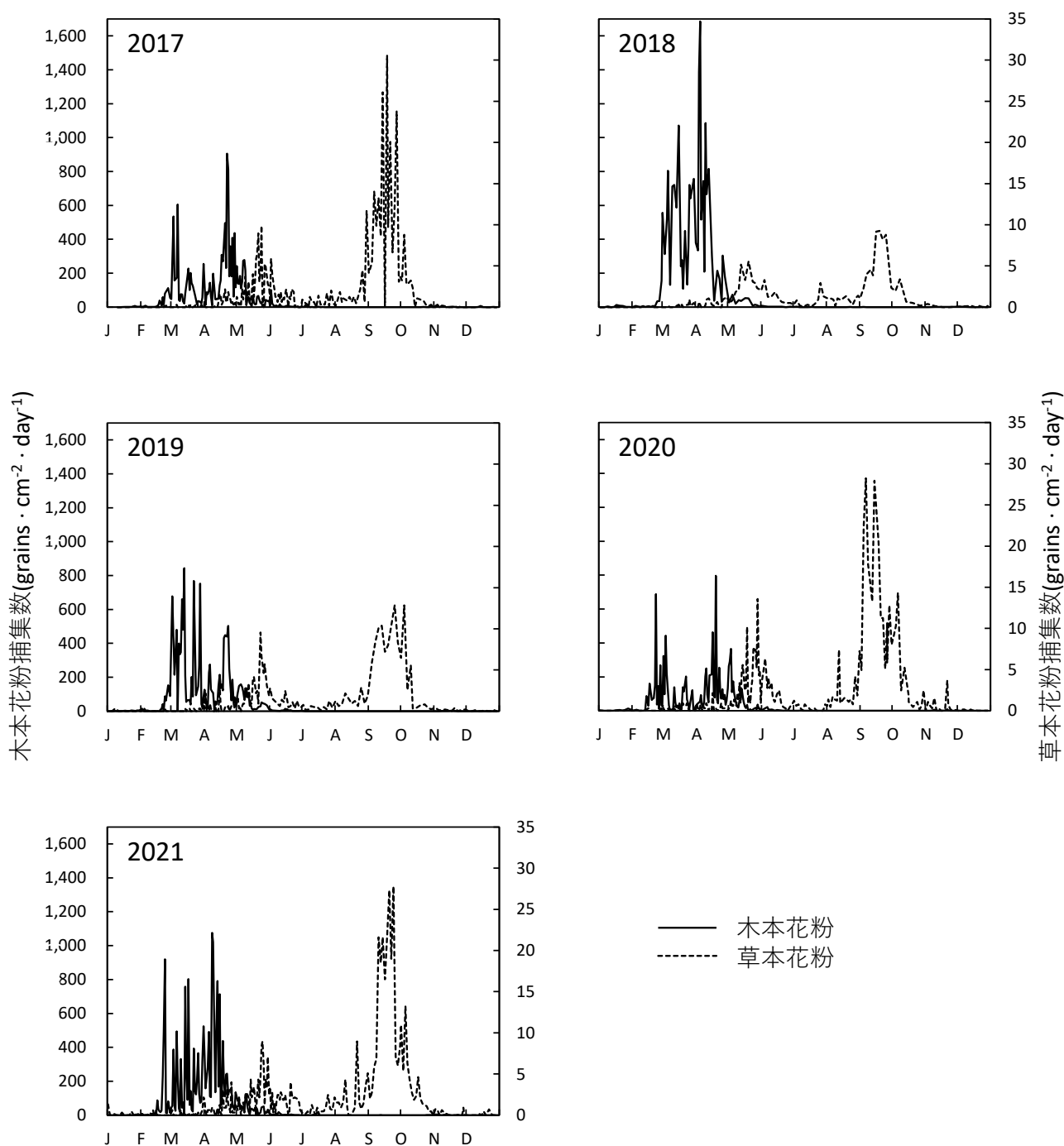


図1. 木本花粉合計と草本花粉合計の日捕集数の季節変化. 木本花粉と草本花粉の縦軸目盛が異なることに注意.

と、調査地の直近を含めキャンパス内にも植栽されているメタセコイアに限定される。

ヒノキ科型：主な散布期間は3月初めから5月中旬で、それ以外の季節にはほとんど見られなかった（図3）。最大捕集日は3月17日から4月4日の範囲で、1日当たり最大捕集数と年間捕集数の年変動は、スギ属／メタセコイア属よりも大きかった。花粉形態からはヒノキ科、イヌガヤ科、イチイ科を区別できないが、広く植栽されているヒノキとサワラが主要な散布源と考えられる。

ヤマナラシ属：3月中旬から4月中旬まで断続的に出

現したが、最大捕集日以外はほぼ10粒未満であった。最大捕集日は3月22日から4月7日の間だった。散布源はキャンパス内に植栽されているセイヨウハコヤナギ（ポプラ）にほぼ限定される。

イヌシデ：シデ属／アサダ属花粉のうち、発芽孔が4個以上のものをイヌシデ花粉に同定した。主な散布期間は3月中旬から5月上旬で、それ以外の季節にはほとんど飛散していなかった。最大捕集日は3月22日と4月6日の間だった。イヌシデは周辺の雑木林にも普通にみられるが、ラグビー場東側などに多い校内の植栽木が主要

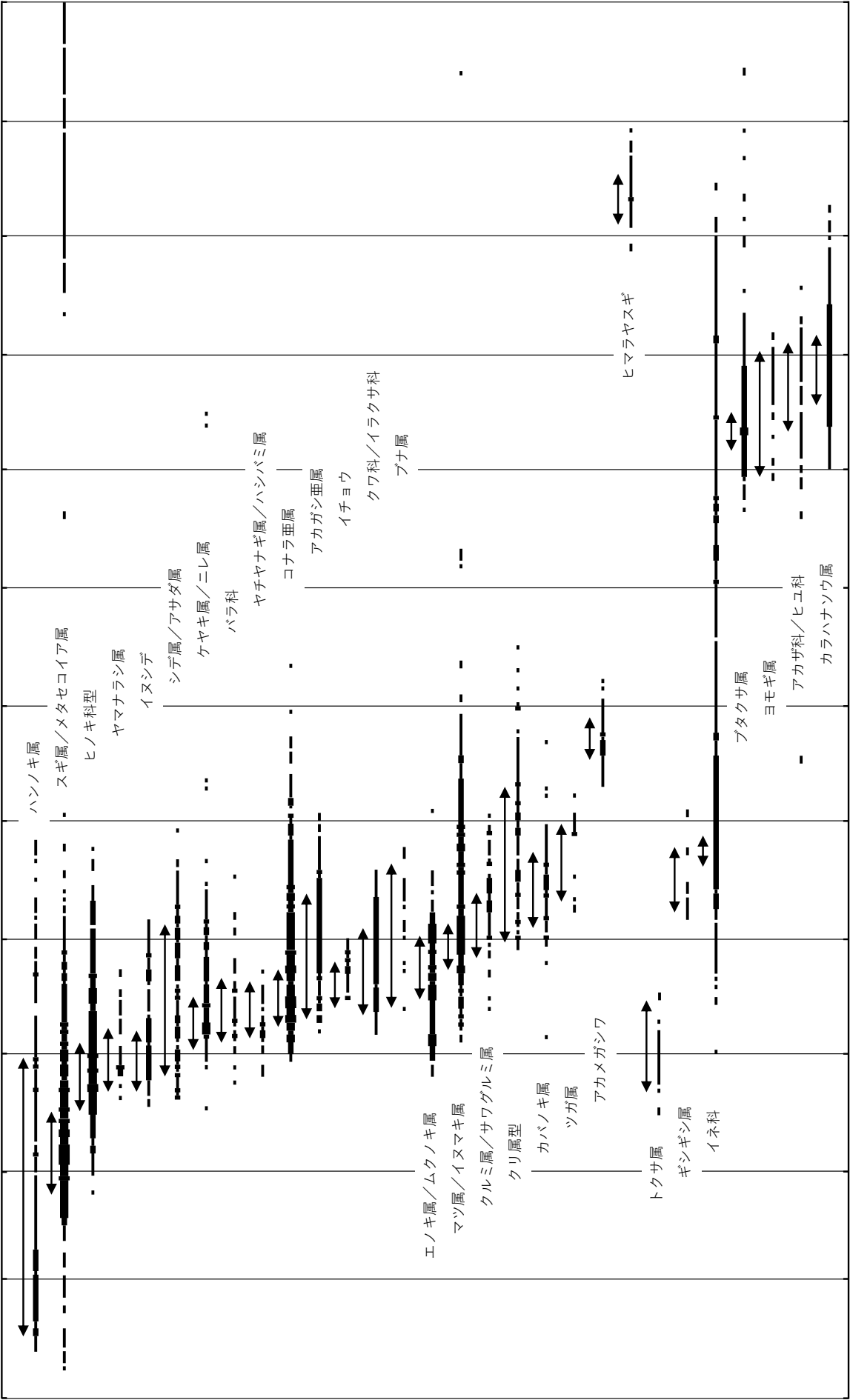


図2. 熊谷市における主要花粉・胞子の花粉暦.

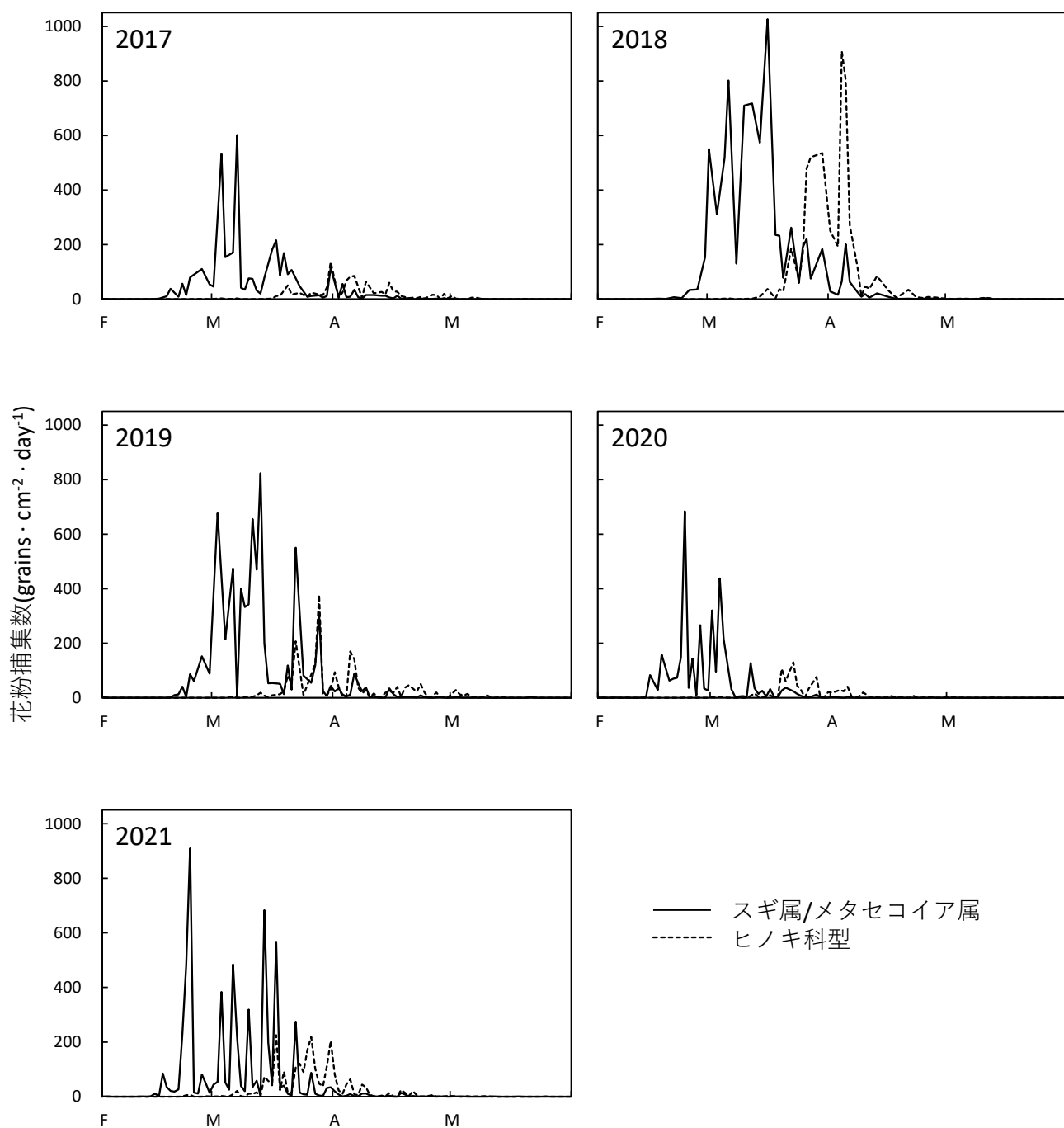


図3. スギ属／メタセコイア属花粉とヒノキ科型花粉の日捕集数の季節変化.

な散布源と考えられる.

シデ属／アサダ属：主な散布期間は3月中旬から5月下旬で、イヌシデより長かった. 最大捕集日の範囲も3月26日から5月5日と長く、飛散量の日変化も大きかった. イヌシデとともに校内に植栽されているアカシデの他に、山地まで広く分布するアカシデ、クマシデ、溪畔林に多いサワシバなどの複数種が散布源として寄与しているため、散布期間や最大捕集日の範囲が長くなったと考えられる.

ケヤキ属／ニレ属：主な散布期間は3月末から5月中

旬までだったが、9月にも散発的に出現した. 最大捕集日は3月31日から4月16日の間だった. 主な散布源は学内外に多いケヤキにほぼ限定されるが、山地性のハルニレや、9月に開花する植栽木のアキニレからも量は少ないが飛散したと考えられる.

バラ科：主な散布期間は4月上旬から下旬だが、飛散量も少なく断続的に出現した. 最大捕集日は4月4日から21日の間だったが、飛散量が少なく、ピークは明瞭でなかった. バラ科植物は虫媒で、草本から木本まで多くの種を含むが、散布時期と花粉形態や植物の分布から、

主な散布源は校内や周辺に多いソメイヨシノ、ヤマザクラ、ウワミズザクラなどのサクラ属やウワミズザクラ属の樹木と考えられる。

ヤチヤナギ属／ハシバミ属：主な散布期間は4月上旬から中旬の短期間に限られる。最大捕集日は4月5日から20日の間だった。主な散布源は植栽されているヤマモモにほぼ限定されるが、早春には山地や丘陵に生育するツノハシバミに由来する花粉も含まれると考えられる。

コナラ属：主な散布期間は3月末から6月下旬までの比較的長い期間で、その後も散発的に出現した。最大捕集日は4月8日から22日の間で、年による違いは比較的小さかった。年間捕集数は2019年の2750.9粒から2018年の6516.4粒で、スギ属／メタセコイア属に次いで多かった。丘陵から山地にかけての雑木林で優占するコナラと、それよりは少ないクヌギが主要な散布源で、山地性のミズナラなどの寄与は小さいと考えられる。

アカガシ属：主な散布期間は4月上旬から5月下旬、最大捕集日は4月10日から5月12日の間だった。埼玉県には6種のアカガシ属の分布が報告されているが（伊藤 1998）、調査地周辺を含めた県内に広く分布し、植栽されることも多いアラカシとシラカシが主要な散布源と考えられる。

イチョウ：散布は4月中旬から末までの短い期間に限られ、最大捕集日も4月13日から25日の間であった。散布源は校内にも多く植栽されているイチョウに限定される。

クワ科／イラクサ科：主要な散布期間は4月上旬から5月中旬で、それ以外の季節にはほとんど検出されなかった。最大捕集日は4月11日から5月3日の間だった。クワ科には木本が多く、イラクサ科には草本が多いが、クワ科／イラクサ科は木本から草本まで多くの種を含む。独立した花粉型として扱ったクワ科のカラハナソウ属を除くと、散布時期、花粉生産量が多いと推定される花序の形態、調査地周辺の分布などからヤマグワと栽培種のマグワが主要な散布源と考えられる。そのため、花粉型としてのクワ科／イラクサ科は木本花粉に含めた。

ブナ属：4月中旬から5月下旬まで断続的に出現した。最大捕集日は4月13日から5月21日の間だったが、飛散量が少なく、ピークは明瞭でなかった。散布源はイヌブナとブナに限定されるが、いずれも山地性のため、花粉は遠距離飛来である。

エノキ属／ムクノキ属：主な散布期間は3月下旬から5月中旬であった。最大捕集日は4月15日から5月2日で、年による違いは比較的小さかった。主要な散布源は、

調査地周辺を含めて広く分布し、植栽もされるエノキとムクノキにほぼ限定される。

マツ属／イヌマキ属：主な散布期間は4月上旬から6月下旬だが、年間を通して散発的に検出された。最大捕集日は4月23日から5月5日で、年による変動は小さかった。マツ属とイヌマキ属の花粉は形態により区別して同定できる場合が多いが、一部に区別が難しいものがあるため、まとめて1つの花粉型として扱った。区別して同定できた花粉は、ほとんどがマツ属花粉で、イヌマキ属花粉はわずかだった。アカマツが主要な散布源で、植栽されているクロマツやイヌマキの寄与は少ないと考えられる。

クルミ属／サワグルミ属：主な散布期間は5月上旬から下旬で、やや断続的に出現した。最大捕集日は4月28日から5月13日の間だった。主な散布源はオニグルミで、山地性のサワグルミの寄与は少ないと考えられる。

クリ属型：主な散布期間は4月末から6月中旬で、やや断続的に出現した。最大捕集日は4月30日から6月9日と比較的長く、ピークも明瞭ではなかった。主な散布源は校内を含めた雑木林に普通にみられ、栽培もされるクリと、広く植栽されているスダジイにほぼ限定される。4月末から5月と、6月から7月初旬の2回のピークをもつ年が多く、それぞれスダジイとクリの開花期に対応していると考えられる。

カバノキ属：主な散布期間は4月末から5月末で、最大捕集日は5月4日から24日であったが、年間捕集数が少ない2019年にはピークは不明瞭で、複数の最大捕集日があった。埼玉県には約10種のカバノキ属植物の分布が報告されているが（伊藤 1998）、いずれも山地性で、これらからの遠距離散布と考えられる。

ツガ属：2020年と2021年は年間捕集数が2粒未満だったため、花粉暦（図2）では不連続になっているが、それ以外の年の主要な散布期間は5月上旬から6月上旬であった。同様に年間捕集数が少なかった年を除いた最大捕集日は5月17日から31日の間であった。主な散布源はツガで、山地帯上部に生育するコメツガの寄与は小さいと考えられる。

アカメガシワ：主な散布期間は6月上旬から7月初めで、最大捕集日は6月4日から27日の間だった。散布源はアカメガシワに特定される。

ヒマラヤスギ：秋に花粉を散布する樹木で、主要な散布期間は11月上旬から下旬、最大捕集日は11月4日から17日の比較的短期間であった。散布源は学内を含めて広く植栽されるヒマラヤスギに限定される。

トクサ属：主要な散布期間は3月下旬から4月上旬、最大捕集日は3月22日から4月9日の間だったが、飛散量が少なく、ピークは明瞭でなかった。散布源は農耕地に多く、市街地などの明るい環境にも普通のスギナにほぼ限定される。

ギシギシ属：主な散布期間は5月上旬から中旬であったが、3月末から7月上旬にかけて散発的に出現した。最大捕集日は5月8日から24日の間だった。ギシギシ属は在来の4種と多くの帰化種が日当たりのよい場所に普通にみられる。これらのうち在来のスイバ、ギシギシと、帰化のヒメスイバ、アレチギシギシ、ナガバギシギシ、エゾノギシギシが主な散布源と考えられる。

イネ科：4月下旬から11月上旬まで非常に長い期間連続的に検出され、年間捕集数も197.8–245.1粒で草本花粉では最も多かった。また、5月と8月にピークをもつ2山型の出現を示した。5月のピークの方が大きく、最大捕集日は5月20日から28日で、年による違いは非常に小さかった。イネ科植物には様々な生態学的要求をもつ多くの種が含まれるが、主要な散布源としては、春はナギナタガヤ、ネズミムギ、ホソムギ、カモジグサ類など、夏はエノコログサ類や広く栽培されているイネなどが考えられる。

ブタクサ属：主な散布期間は8月下旬から10月上旬で、最大捕集日は9月6日から16日の短期間であった。散布源は、ほぼオオブタクサ(クワモドキ)に特定される。

ヨモギ属：主な散布期間は9月中旬から10月初めで、最大捕集日は8月30日から10月2日の間であったが、年間捕集数が少なく、ピークは不明瞭であった。主要な散布源は調査地付近を含めて明るい環境に普通なヨモギと考えられる。

アカザ科/ヒユ科：主な散布期間は9月上旬から10月上旬だったが、6月初旬から11月初めまで散発的に検出された。最大捕集日は9月11日から10月4日の間だったが、ピークは不明瞭だった。アカザ科もヒユ科も明るい環境に生育する雑草が多いが、主な散布源としてはアカザ科のシロザ、ケアリタソウ、ヒユ科のホソアオゲイトウ、イヌビユなどが考えられる。

カラハナソウ属：主な散布期間は9月初めから10月下旬で、最大捕集日は9月18日から10月6日の間だった。主な散布源は草刈り管理が行われない荒地などに多いカナムグラにほぼ限定される。

年間捕集数の年変化

全ての花粉・胞子を含めた年間総捕集数は、2018年の

32397.8粒($1\text{ cm}^2 \cdot 1\text{ 年あたり}$ 、以下同じ)が最も多く、2020年の12210.5粒が最も少なかった。総捕集数やその大部分を占める木本花粉捕集数は、多くの木本植物の花粉散布期である当年春の3–5月の平均気温が高い年に捕集数が多い傾向が見られ、当年の年平均気温や花芽形成期である前年夏の平均気温とは明瞭な関係は見られなかった(表2)。

また、総捕集数の5年間の変動係数(CV)は0.36であった。変動係数は木本花粉合計で0.38と大きく、草本花粉合計(0.24)やシダ胞子合計(0.17)で小さかった。花粉・胞子型ごとに見ると、木本花粉のなかで変動係数が大きい花粉型は、モミ属>バラ科>カエデ科>ツガ属>ヒノキ科型が0.8を超えており、ヒノキ科型を除くと、年間捕集数が少ない遠距離飛来花粉や虫媒花粉であった。これに対し変動係数が小さい木本花粉型は、クリ属型<マツ属/イヌマキ属<エノキ属/ムクノキ属<アカメガシワで0.3未満だった。草本花粉とシダ胞子では変動係数が0.64のアブラナ科花粉が最大で、変動係数が小さい花粉・胞子型は、イネ科<単条溝型胞子<スギナ属<ギシギシ属<アカザ科/ヒユ科<オオバコ属で0.3未満だった。

花粉型別の5年間平均総捕集数に対する各年の総捕集数の比で表した年変化(図4)を見ると、スギ属/メタセコイア属、シデ属/アサダ属、アカガシ亜属の花粉は2018年と2019年に多く、それ以外の年に少なかった。また、カバノキ属、コナラ亜属、ケヤキ属/ニレ属の花粉は2018年と2021年に多く、それ以外の年に少なかった。同様の傾向はイチョウ、クルミ属/サワグルミ属、エノキ属/ムクノキ属の花粉でもみられた。したがって、これらの花粉は2018、2019、2021年のうち、2つの年で多い傾向があった。草本花粉では共通する年変動は認められなかったが、2018年はいずれの花粉型でも少なかった。

5. 考察

5.1. 季節変化と日変化

春の花粉散布は温暖な地域ほど早く、秋の散布は温暖であるほど遅くなると予想される。実際、主な散布源が共通する1種にほぼ限定される花粉型で比較すると、春の樹木花粉の最大捕集日は、温暖な千葉市(米林 1994)では寒冷な仙台市(米林 1984)よりも、ケヤキ属/ニレ属(ケヤキ)花粉で18日、スギ属(スギ)花粉で19日、イチョウ属(イチョウ)花粉で21日実際に早かった。一方、夏から秋の草本花粉ではヨモギ属(ヨモギ)花粉

表2. 熊谷市における調査期間とその前年の、月ごとの平均日平均気温、平均日最高気温、合計降水量.

	平均気温(°C)						2017-2021年平均
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Jan.	4.8	4.5	3.7	4.5	6.4	4.1	4.6
Feb.	6.0	5.8	4.5	6.1	7.1	7.0	6.1
Mar.	9.5	7.9	10.8	9.7	10.2	11.6	10.0
Apr.	15.0	14.3	16.4	13.4	12.6	14.6	14.3
May	20.1	20.1	19.8	20.3	19.7	19.4	19.9
Jun.	22.7	22.4	23.1	22.1	23.7	23.0	22.9
Jul.	25.5	27.8	28.9	24.6	24.1	26.3	26.3
Aug.	27.2	26.3	28.3	28.6	29.6	27.4	28.0
Sep.	24.3	22.9	22.6	24.9	24.2	22.2	23.4
Oct.	18.1	16.6	18.7	19.2	17.2	17.8	17.9
Nov.	10.5	10.5	13.3	12.3	12.6	12.4	12.2
Dec.	7.3	5.4	7.2	7.3	6.5	6.6	6.6
平均	15.9	15.4	16.4	16.1	16.2	16.0	16.0

	最高気温(°C)						2017-2021年平均
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Jan.	10.5	10.6	9.5	10.7	11.5	10.1	10.5
Feb.	11.9	11.5	10.4	11.8	12.7	13.7	12.0
Mar.	14.9	13.1	16.8	15.4	15.8	17.0	15.6
Apr.	20.6	20.7	22.9	19.6	18.4	20.6	20.4
May	26.1	25.9	25.9	26.9	25.4	24.7	25.8
Jun.	27.5	27.8	27.9	26.9	28.5	28.3	27.9
Jul.	30.4	32.8	34.5	28.5	27.6	31.3	30.9
Aug.	32.3	30.5	34.0	33.6	35.6	32.0	33.1
Sep.	28.2	27.8	26.9	29.5	28.6	26.1	27.8
Oct.	22.6	20.6	23.3	23.4	21.4	22.5	22.2
Nov.	15.2	16.2	18.3	17.5	18.1	18.2	17.7
Dec.	13.2	11.5	12.5	12.3	12.7	12.4	12.3
平均	21.1	20.8	21.9	21.3	21.4	21.4	21.4

	降水量(mm)						2017-2021年平均
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Jan.	70.5	16.0	14.5	6.0	74.0	25.5	27.2
Feb.	33.5	4.0	14.0	28.5	14.0	43.5	20.8
Mar.	72.5	65.5	123.0	84.0	99.5	100.0	94.4
Apr.	87.5	55.0	44.5	79.0	175.0	46.5	80.0
May	51.0	75.5	125.5	86.0	119.5	69.5	95.2
Jun.	121.0	53.0	111.5	224.5	259.0	212.5	172.1
Jul.	62.5	181.0	83.0	167.0	226.5	192.5	170.0
Aug.	418.5	179.5	131.5	123.5	63.0	186.5	136.8
Sep.	219.0	161.5	335.0	110.0	163.0	106.0	175.1
Oct.	34.0	502.0	32.0	447.5	166.0	86.0	246.7
Nov.	86.5	12.5	25.5	84.5	4.5	43.0	34.0
Dec.	44.5	3.0	16.0	20.0	0.0	65.5	20.9
合計	1301.0	1308.5	1056.0	1460.5	1364.0	1177.0	1273.2

で9日、カラハナソウ属（カナムグラ）花粉で8日、千葉市の方が遅かった（米林 1994）。ヨーロッパにおいても春のイネ科花粉の最大飛散期は、南部で中部より2週間、中部で北部より1～2週間早いことが知られている（Spieksma 1990）。また、秋のヨモギ属花粉では地中海地方の方が中部ヨーロッパより約1か月遅い（Spieksma et al. 1980）。同様の比較を今回の結果と千葉市の5年間（Yonebayashi 1997）の間で行うと、明瞭なピークをも

つ春の樹木花粉では、最大捕集日の期間がほぼ同じだったエノキ属／ムクノキ属花粉を除くと、ほとんどの花粉型で約5～15日熊谷市の方が早かった。夏以降の草本花粉では、ほぼ同じだったカラハナソウ属花粉を除くと、約10日遅かった。調査が行われた5年間の平均気温を比較すると、3～5月の散布期は0.54～2.30℃、8～10月の散布期は0.64～1.88℃、年平均気温は1.04℃熊谷市の方が高く、従来の知見と矛盾しない。

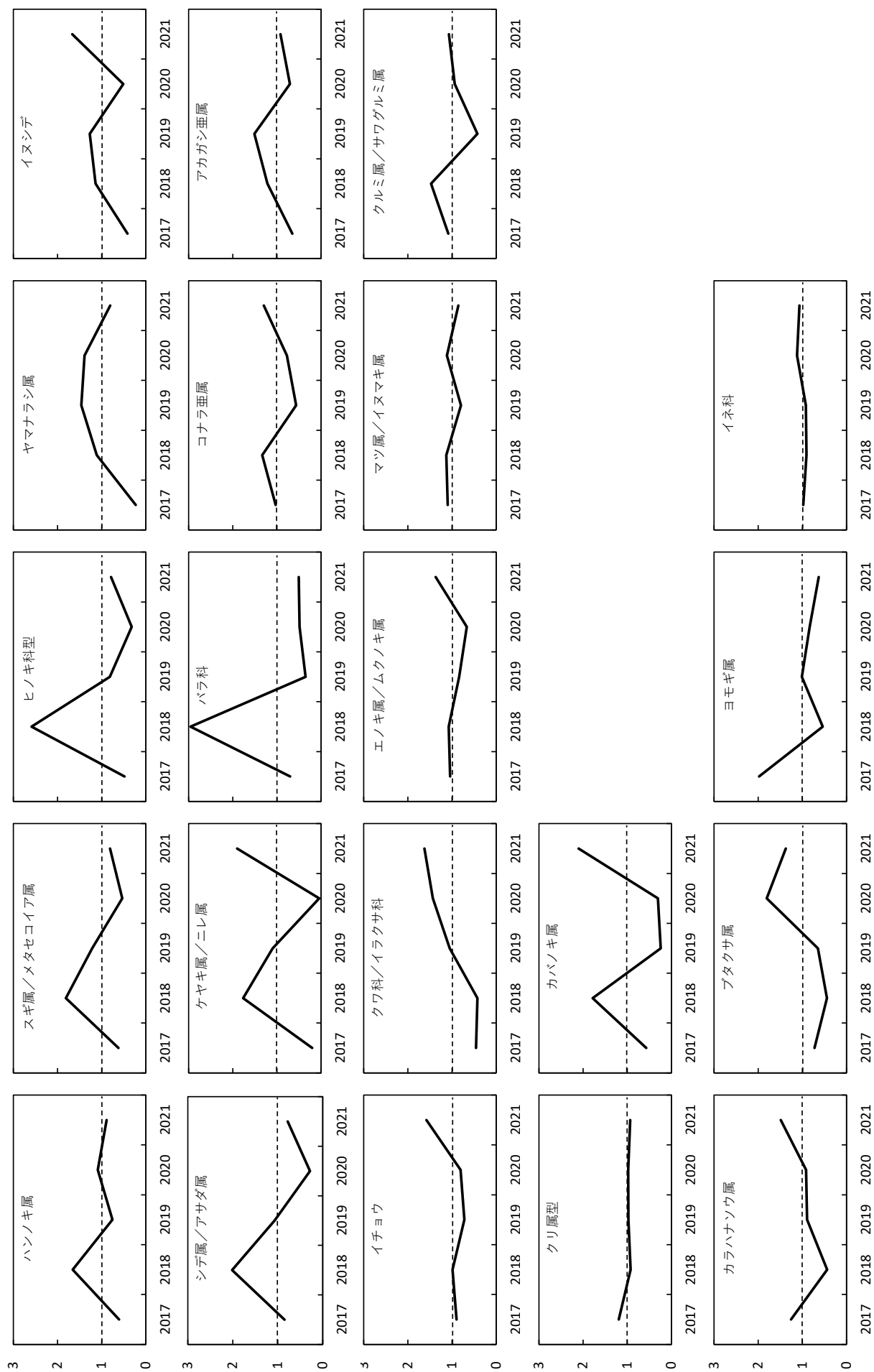


図4. 平均年間捕集数との比で示した年間捕集数の年変動.

花粉散布は気象条件に大きく左右され、暖かく乾燥している日は葯や孢子嚢が裂開しやすく、一般的に散布量が多くなる。また、風が強いほど母植物を離れて散布する数が多くなることに加えて、本研究で用いた重力型の捕集器は風が強いほど通過する空気の体積が大きくなるため、花粉数が過大に表現される。花粉散布を抑制する要因として、高い湿度は葯を裂開させにくくする他に、雨は穏やかな降雨でも空中飛散花粉の大部分を短時間で落下させる (Hyde 1950, Fægri et al. 1989)。また、早春に開花するハンノキ属の花粉散布は開花直後の夜間の霜によって妨げられることが知られている (Andersen 1974)。さらに、粘着捕集型の捕集器では曝露期間が長くなると粘着剤 (ワセリン) の捕集効率下がることが予想される。これらが花粉捕集数の大きな日変化の要因と考えられる。

5.2. 年変化

種子生産の年による豊凶は良く知られた現象で、長い時間間隔をおいた大量結実をマस्टィング (masting; mast seeding など) と呼ぶ。種子生産には受粉が不可欠なため、風媒花粉の年間飛散数の年変動は種子生産のマस्टィングと同じ仕組みが働いている可能性がある。田中 (1995) の総説によれば、マस्टィングは温帯から亜寒帯の風媒樹木で多く知られている。その適応的意義の説明の一つに、限られた資源を何年かおきに同調して大量に花に振り向けることで受粉効率が上がるという受粉効率仮説がある。雄花と雌花の年変動が同調しているかという視点で検証した結果、スギ、ブナ、トガサワラ属の一種 (*Pseudotsuga menziesii*)、イチイ属の一種 (*Taxus canadensis*) では同調していたが、そうではないことを示唆する結果もあった。また、これまであまり注意が払われていなかった雄花 (花粉) 生産量の定量的データを収集する必要性を指摘している (田中 1995)。

多くの樹木の花芽形成期は前年の春から夏であるため、この時期の気候は翌年の花粉飛散量に影響を与える (Hyde 1952, Andersen 1974, 1980)。実際、Holmsgaard and Olsen (1966) はヨーロッパブナ (*Fagus sylvatica*) の花粉が豊作になるには前年の6月と7月の高温と少雨が特に重要で、夏の人工的な渇水によって花芽の高い生産を誘導できることを示した。デンマークではカバノキ属とハンノキ属の花粉総数は前年4月の降水量と負の相関が最も高く、コナラ属とブナ属花粉は前年6～9月の平均最高気温と最も良い相関を示した (Andersen 1980)。本研究における前年夏 (6～7月) の平均気温

は高い方から2019, 2018, 2017, 2021, 2020年の順、降水量は2021, 2020, 2018, 2019, 2017年の順だったが、これらの順で年間捕集数が増減した主要樹木花粉はなかった (図4)。

日本における花粉症の主要なアレルゲンであるスギやヒノキ科花粉については、年間飛散数と花芽形成期である前年夏 (橋詰 1962, 1963) の気象因子との関係が多く調べられている。スギ花粉あるいはスギ花粉とヒノキ科花粉を区別しないスギ・ヒノキ科花粉の合計の場合、年間飛散数は前年7月あるいは7月下旬～8月中旬の気温や全天日射量、日照時間との単相関が高いとする研究が多い (保田ほか 1986, 岸川ほか 1988, Sahashi et al. 1990, 佐橋ほか 1995, 難波ほか 1997, 1999)。一方、相模原市の15年間 (1965-1979) の結果から、前年7月の平均気温よりも平均湿度の方が相関が高かったとの結果もある (宇佐神ほか 1980)。盛岡市の25年間 (1984-2008) の年間飛散数と、7月1日からの1か月平均を10日ずつずらした気象因子との単回帰の比較と、重回帰分析の結果、単相関が最も高かったのは7月21日～8月20日の最高気温年次差で ($r^2=0.77$)、重回帰分析では同じ期間の最高気温年次差、全天日射量、相対湿度の3要因で精度の高い予測式 ($r^2=0.86$) が得られた (須藤ほか 2011)。なお、最高気温年次差とは高橋・川島 (1999) によって提唱された指標で、夏期の対象期間の平均最高気温の前年値と前々年値の差と定義されている。これに対し、ヒノキ科花粉の年間飛散数と前年夏の気象因子との相関はスギ花粉ほど高くないことが多い。本研究の5年間の結果から求めた単回帰でも、スギ花粉年間飛散数と7月の平均気温との相関は高かったが ($r^2=0.567$)、ヒノキ科型花粉では低かった ($r^2=0.269$)。スギとヒノキの花芽形成期は前年夏であることは共通するが (橋詰 1962, 1963)、花粉母細胞から減数分裂をして花粉を形成する時期がスギでは前年の秋であるのに対し (橋詰 1962)、ヒノキ科では当年の3月であることが知られている (橋詰・岡田 1968)。そのためヒノキの年間飛散数と関係する当年春の気象因子が探索されたが、前年夏の気温や日照時間に加えて当年春の湿度や日照時間との相関が比較的高いとした研究と (保田ほか 1986)、当年春の日最高気温合計とは相関がないとした研究がある (難波ほか 1997)。

多くの樹木花粉で隔年 (2年周期) の豊凶を持つことが古くから知られている。例えばイギリスのカバノキ属とブナ属花粉 (Hyde 1952)、デンマークのカバノキ属、ハンノキ属、コナラ属、ブナ属花粉 (Andersen 1980)

で隔年の豊凶がみられた。千葉市においても多くの樹木花粉(スギ, ヒノキ科, ヤナギ属, イヌシデ, シデ属/アサダ属, エノキ属/ムクノキ属, ケヤキ属/ニレ属)で隔年の豊凶が認められた(Yonebayashi 1997)。しかし, 本研究では明瞭な隔年の豊凶が認められる花粉型はなかった(図4)。

謝辞

卒業研究の一環として2018年の大部分のスライド交換をしていただいた, 環境システム学科の岡田愛さんに感謝いたします。

文献

Andersen, S.Th. (1974) Wind condition and pollen deposition in a mixed deciduous forest. II. Seasonal and annual pollen deposition 1967-1972. *Grana*, 14: 64-77.

Andersen, S.Th. (1980) Influence of climatic variation on pollen season severity in wind-pollinated trees and herbs. *Grana*, 19: 47-52.

Birks, H.J.B. and Birks, H.H. (1980) "Quaternary Palaeoecology". Edward Arnold. 289 pp.

Fægri, K., Kaland, P.E. and Krzywinski, K. (1989) "Textbook of Pollen Analysis, 4th ed.". John Wiley & Sons. 328 pp.

藤崎洋子(1988)新潟市における過去15年間の空中花粉調査結果と花粉症患者の実態. 日本花粉学会会誌, 34(1): 19-30.

藤崎洋子・藤崎茂(2003)新潟市における過去30年間の空中飛散花粉の変動と花粉症との関連. 日本花粉学会会誌, 49(2): 59-70.

橋詰隼人(1962)スギの花芽分化期および花芽の発育経過について. 日本林学会誌, 44(11): 312-319.

橋詰隼人(1963)ヒノキの花芽分化期および花芽の発育経過. 日本林学会誌, 45(5): 135-141.

橋詰隼人・岡田泰久(1968)林木の交配に関する基礎的研究(I). ヒノキの花粉の形成, 発育ならびに採取適期. 日本林学会誌, 50(10): 304-309.

Holmsgaard, E. and Olsen, H.C. (1966) Experimental induction of flowering in beech. *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark*, 30: 3-17.

Hyde, H.A. (1950) Studies in atmospheric pollen IV. Pollen deposition in Great Britain, 1943. Part I. The influence of situation and weather. *New Phytologist*, 49(3): 398-406.

Hyde, H.A. (1952) Studies in atmospheric pollen V. A daily census of pollen at Cardiff for the six years 1943-8. *New Phytologist*, 51(3): 281-293.

Igarashi, Y. (1987) Pollen incidence and wind transport in central Hokkaido (II). *Research Bulletins of the College Experiment Forests, Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, 44(2): 477-506.

伊藤洋(1998)1998年版 埼玉県植物誌. 埼玉県教育委員会. 833 pp.

岸川禮子・児塔栄子・押川千恵・宗信夫・下田照文・齋藤明美・佐橋紀男・榎本雅夫・宇佐神篤・寺西秀豊・藤崎洋子・横山敏孝・村山貢司・今井透・福富友馬・谷口正実・岩永知秋(2017)花粉抗原からみる日本列島の空中花粉長期調査結果—わが国の重要な木本花粉抗原の地域性と年次変動—. *アレルギー*, 66(2): 97-111.

岸川禮子・長野準・勝田満江・宗信夫(1988)福岡市におけるスギ・ヒノキ科花粉飛散の年次変動と気象条件—スギ・ヒノキ科花粉飛散予報—. *アレルギー*, 37(6): 355-363.

児塔栄子・岸川禮子・西間三馨・石川哮(1998)ダークラム型とISロータリー型空中花粉捕集器による調査結果の比較検討—国立療養所南福岡病院における最近12年間の調査結果から—. 日本花粉学会会誌, 44(2): 107-118.

倉重真由美・小笠原寛・吉村史郎(1997)芦屋市における1992年から1996年までの空中花粉調査. 日本花粉学会会誌, 43(1): 41-46.

長野準・勝田満江・信太隆夫(1978)日本列島の空中花粉. 北隆館. 106 pp.

難波弘行・井上捷人・高橋芹奈・木村裕子(2022)愛媛県松山市における主要な花粉抗原の年間飛散状況~2019年から2021年の検討~. 日本花粉学会会誌, 67(2): 57-64.

難波弘行・斎藤勝剛・佐橋紀男(1999)岡山県におけるスギ・ヒノキ科花粉の供給地域と飛散動態の推定. *アレルギー*, 48(12): 1337-1347.

難波弘行・坪井昭・三好教夫(1997)岡山県内のスギ・ヒノキ科花粉の飛散状況とその予測の可能性について. 日本花粉学会会誌, 43(2): 87-96.

齊藤明美・村上昭代・福富友馬・石井豊太・安枝浩・谷口正実(2017)相模原市における空中飛散花粉の50年間の推移. 日本花粉学会会誌, 62(2): 75-85.

Sahashi, N., Ikuse, M., Ohmoto, T., Saito, Y., Takahashi, Y. and Takeda, H. (1990) Relationship between seasonal and annual total pollen counts of *Cryptomeria japonica* and Cupressaceae and number of outpatients with Sugi pollinosis in central Japan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 64: 79-86.

佐橋紀男・高橋裕一・村山貢司(1995)スギ花粉の全て. メディカル・ジャーナル社. 117 pp.

信太隆夫・降矢和夫・響田和子・森美由紀・安枝浩・石井豊太・秋山一男(1998)相模原地区における空中飛散花粉の1965年から1995年まで31年間の推移. 日本花粉学会会誌, 44(1): 47-60.

Spieksma, F.Th.M. (1990) Pollinosis in Europe: New observations and developments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 64: 35-40.

Spieksma, F.Th.M., Charpin, H., Noland, N. and Stix, E. (1980) City spore concentrations in the European Economic Community (EEC) IV. Summer weed pollen (Rumex,

- Plantago, Chenopodiaceae, Artemisia), 1976 and 1977. *Clinical Allergy*, 10: 319–329.
- 須藤守夫・須藤礼子・雑賀優 (2011) 気象データによる盛岡市のスギ・ヒノキ花粉飛散数の予測. 日本花粉学会会誌, 57(1): 17–24.
- 高橋裕一・川島茂人 (1999) 夏期気温の年次差を利用したスギ花粉総飛散数の新予測方法. アレルギー, 48(11): 1217–1221.
- 田中浩 (1995) 樹木はなぜ種子生産を大きく変動させるのか. 個体群生態学会会報, 52: 15–25.
- 宇佐神篤・降矢和夫・遠藤久子 (1980) スギ花粉空中飛散総数の予測. アレルギー, 29(8): 780–785.
- 若松伸彦・林麻美・米林伸 (2011) 熊谷市郊外における竹林の分布拡大と土地利用の関係. 地球環境研究, 13: 95–100.
- Whitehead, D.R. (1969) Wind pollination in the angiosperms: Evolutionary and environmental considerations. *Evolution*, 23: 28–35.
- 保田和美・菅谷愛子・津田整・佐々木好久・永沼正道・内村久美子 (1986) 埼玉県坂戸市におけるスギおよびヒノキ科花粉の飛散状態と気象. アレルギー, 35(6): 409–414.
- 米林伸 (1984) 仙台市における1978年の空中花粉調査. 花粉, (18): 2–12.
- 米林伸 (1994) 千葉市における1991年の空中飛散花粉. 千葉県立中央博物館自然誌研究報告, 3(1): 81–87.
- Yonebayashi, C. (1997) A five-year (1991-1995) census of airborne pollen in Chiba, central Japan, with reference to its ecological considerations. *Natural History Research*, 4(2): 81–91.
- 米林伸・川西基博 (2009) 立正大学熊谷キャンパスの植物. 立正大学地球環境科学部, 134 pp.

A census of airborne pollen in Kumagaya, central Japan, for the five years 2017–2021

YONEBAYASHI Chuh*

* Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

Abstract :

A generalized pollen calendar based on a five-year (2017–2021) census was made to clarify seasonal changes in airborne pollen in a suburb of Kumagaya, central Japan. Tree and herbaceous seasons were from late February to late May and from early May to late October, respectively. Total catch of all pollen and spore types varied between 12210.5 grains ($/\text{cm}^2$) in 2020 and 32397.8 grains in 2018. Temperatures in flowering season of major trees (March to May) seem to control the annual total catch. Annual catch of total trees was variable ($\text{CV} = 0.38$) and those of herbs (0.24) and fern spores (0.17) were relatively stable. Dates of the maximum reading of many tree pollen types in spring were 5 to 15 days earlier, and those of most herb pollen types were about 10 days later in Kumagaya than in Chiba. All of the average temperatures of main tree season (March to May), main herbaceous season (August to October) and studied 5 whole years were higher in Kumagaya. Biennial (2-year cycle) flowering patterns that are reported from Chiba and European countries were not found in this study.

Key words : Aerobiology, airborne pollen, anemophily, seasonal change, annual variation, palynology

