

スギ雄花の開花前の大量落下； 1994年生育期の異常な少雨高温の影響

齋藤秀樹

Heavy fall of Sugi male strobili before anthesis due to abnormal hot and dry weather during the growth period in 1994

HIDEKI SAITO

要旨：生育期に異常な少雨高温であった1994年には大量のスギ雄花芽が分化し、翌春には莫大な花粉を放出した。1994年7月～1995年7月までの期間、リタートラップを12林分に設置して未開花および開花雄花量を調査した。老齢および高齢林のなかに、秋季から冬季にかけて未開花雄花の大量落下がみられた。この雄花の大部分は花粉を形成していない發育不全のもので、この落下は未開花雄花の落下の少ない林分でも同様に認められた。この發育不全雄花の落下は秋季に集中する林分と冬季のものがあった。未開花雄花数の割合が高い林分では、花粉を含めた雄性器官への同化産物の投資が $300\sim 350\text{ g/m}^2$ ($3\sim 3.5\text{ t/ha}$) に達していた。老齢および高齢林にみられるこの大きな投資から判断すると、未開花雄花の大量落下は雄性器官への投資を軽減するための雄花の間引きであることが示唆された。また、生育期の水分ストレスがこの資源制限に相乗的にはたらいたと考えられた。

キーワード：異常気象，資源制限，スギ，スギ花粉症，雄花の發育不全

Abstract : Great numbers of male flowers of Sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON., were formed in 1994 due to abnormally hot and dry weather during the growth period, and a great multitude of pollen grains were released in March of the following year, 1995. We studied the yield of buds of male flowers before anthesis and that of open male flowers after anthesis, or pollen release, in 12 stands using litter traps during the period from July 1994 to July 1995. Great numbers of flower buds that had fallen in autumn and winter were recognized in an old stand about 600 years old and three mature stands about 95 years old, having no relationship to the number of open flowers in a stand. Most fallen flower buds were aborted, irrespective of the number fallen in a stand. Most flower buds that were part of the heavy fall had aborted pollen grains. In the old and three mature stands showing a high percentage of fallen flower buds, photosynthates invested in male organs including pollen attained $300\sim 350\text{ g/m}^2$ ($3\sim 3.5\text{ t/ha}$). These results suggest that flower buds are thinned in order to save investment of photosynthates in male organs. The fall of male flower buds caused by abortion can be amplified by both the resource limitation mentioned above and water stress due to abnormal weather and a tree height of 35-50 m above the ground.

Key words : Abnormal weather, Abortion of male flowers, *Cryptomeria japonica*, Resource limitation, Sugi pollen disease

はじめに

スギ花粉症の患者は花粉を回避するために、毎日の「スギ花粉情報」のほか、その年の花粉の豊凶を承知しておくことが重要である。その理由はスギ花粉の豊凶には大きな較差があるため、凶作年の生産量は豊作年に比べて0.1~0.2%にまで低下する記録がある(齋藤, 未発表)。

この豊凶を予知するために2, 3の方法が考えられている。

その一つは、雄花の発育開始期である7月の日照時間や全天日射量, 平均気温などの気象条件が雄花の生産量と相関の高いことを利用するものである¹⁾。

齋藤・竹岡⁹⁾の提案した予知法は開花前の(未開花)雄花の落下数から判断するもので、着花した雄花が多い豊作年にはこの落下数が多く、凶作年には少ないことを利用するものである。スギの雄花は裸出しており、この雄花が強風や積雪によって離脱すると考えられている。物理的原因で落下する、花粉を形成した健全な未開花雄花は楕円形で、淡黄色である。また、鱗片と鱗片の間は密着しており、12月以降になると花粉の詰まった黄色の花粉のうの一部を鱗片間に見ることができる。豊凶予知に使う未開花雄花とは、このようなものを想定していた。

1994年の生育期は異常な少雨高温であった。この異常気象がスギ雄花芽の分化を促進したことは間違いなく、夏~冬期間の未開花雄花の落下は著しく多かった。しかし、林分差も大きかった。これまで豊凶予知を行う材料に使ってきた高齢林を例にとると、開花前年の1994年12月中旬までの落下数が5,880/m²に達する林分(M_{95a}, 表1)と349/m²(K₉₂)の林分がみられた。これらの値を基に、開花量を定量的に推定することは難しい。

ある林分において大量の未開花雄花がなぜ落下するのか、その原因の解明は花粉症関連にとどまらず種子生産を研究するうえでも必要である。

筆者らは、異常気象の1994年初夏に分化した雄花芽が翌春に開花し、これらの大半が落下する7月末までの期間、合計12のスギ林分にリタートラップを設置していた。これらの試料を基に今回の大量落下の原因を解析した。

京都地方観測所の1994年の気象を「京都府気象年報(1994年)」からみると、生育期4~10月の平均気温は23.3℃(平均値⁵⁾21.8℃), 平均最高気温28.7℃(同26.6℃), 降水量521mm(同1,327mm)であった。

この異常気象は今回の調査地のすべてに同様に認

められている。

調査林

調査を行ったスギ林分を表1にまとめた。表1には林分の一般的な概要と共に、設置したトラップ数が示してある。

調査林分数は合計12である。地域で区分すると京都盆地周辺部の6林分, 三重県中西部の美杉村の4林分, 和歌山県北東部の高野山町の2林分となる。京都盆地では京都市北部の鞍馬貴船町とその東6kmの大原, 貴船南西11kmの高雄, 京都市南約30kmの宇治田原町に位置している。

京都の6林分における気温環境には大差がないと推定される。各調査地の最寄りの地方気象観測所(括弧で示す)における月別気温平年値⁵⁾と標高差とから、暖かさの指数, 寒さの指数および年平均気温を推定すると、京都の貴船(京都)で順に110℃·month, -4.3℃·month, 13.9℃; 美杉(奥津)で103℃·month, -5.4℃·month, 13.0℃; 高野山(高野山)で82.7℃·month, -15.3℃·month, 10.6℃になる。前二者は暖温帯常緑広葉樹林帯に属している。高野山は暖かさの指数からみると冷温帯であるが、本調査地周辺にはモミ, ツガ林が天然分布していることから判断して暖温帯落葉広葉樹林帯上部に所在する。

本調査林分に共通する特徴は、オモテスギの植栽林で一斉林型, 成長が良好であり、間伐遅れの高立木密度が指摘される(K₉₂, W₉₅, W₆₀₀を除く。表1参照)。地形的には谷筋の平地地(K₁₀₉, W₉₅)から急斜面の林分(K₄₂, Ku₅₅)までである。傾斜地の林分であっても、斜面上での位置は大部分が下部にある。

きわだつ特徴をもつ林分は、次の通りである。

K₆₀: 小面積の林分。隣接する林分に比べて樹高は高い。斜面上方は林道に接しているが、隣接林分の葉層とは、現在は連続している。そのために大きい胸高断面積合計を示した。

K₉₂: 樹下植栽した疎林で、独立した樹冠をもつ個体が多い。斜面の中央部付近に位置するが、この斜面の上下距離は長い。

K₁₀₅: 谷筋の畑(または田)の跡地の林分。

M₃₀: 短い等斉斜面上で、西向き。斜面下端は凸形急斜面に続く。

M_{95a}: 長い等斉緩斜面の下方に位置する。

M_{95b}: 谷筋の窪地の林分。

W₉₅: 谷川の氾濫原に成立しており、土壌は湿潤である。4年前の1991年冬季に間伐された。切株の

表1 スギ調査林分の一般概要とトラップの設置数（1995年9月現在）

General characteristics of Sugi stands studied and the number of litter traps set (as of September 1995).

Stand	Age of stand (yr)	Site	Altitude (m)	Expo. Incl.	Mean height (m)	Mean DBH \pm SD (range) (cm)	Basal area (m ² /ha)	No. of trees (/ha)	Area of quadrat (m ²)	No. of traps set
(1) Kyoto Prefecture										
K ₄₂	42	左京区貴船	390	N60E 38°	22.2	25.3 \pm 7.4 (10.6~36.6)	56.9	1,044	441	10
K ₅₀	c.50	左京区大原	260	N45E 24°	24.7	29.0 \pm 6.7 (18.7~44.9)	69.8	1,001	430	5
Ku ₅₅	55	綴喜郡宇治田原	360	N20E 45°	26.6	23.8 \pm 4.6 (14.6~36.5)	67.4	1,467	355	10
K ₆₀	c. 60	左京区大原	260	N20W 27°	25.9	32.3 \pm 7.4 (24.0~52.6)	(94.5)	1,093	302	5
K ₉₂	92	左京区貴船	420	W 30°	30	48.4 \pm 9.2 ^a (34.7~73.1) ^a	43.9 ^a	231	1,732	20
K ₁₀₅	c. 105	右京区高雄	170	— flat	38.3	51.7 \pm 8.8 (38.7~72.0)	70.1	325	800	10
(2) Mie Prefecture										
M ₁₇	17	一志郡美杉	420	S45W 3°	11 ^a	12.5 \pm 2.9 ^a (4.5~19.5) ^a	50.8 ^a	3,906	264	5
M ₃₀	30	一志郡美杉	370	W 17	18 ^a	16.3 \pm 3.2 ^a (9.9~24.4) ^a	68.1 ^a	3,137	306	5
M _{95a}	95	一志郡美杉	400	S45W 8	c. 34	46.7 \pm 9.1 (31.0~72.7)	81.9	462	1,386	10
M _{95b}	95	一志郡美杉	400	S45W 12-16	c. 34	49.3 \pm 8.6 (34.5~70.3)	72.0	366	1,175	10
(3) Wakayama Prefecture										
W ₉₅	c. 95	伊都郡高野山	800	— flat	33.2	51.1 \pm 9.2 (33.4~78.5)	56.5	267	3,328	10
W ₆₀₀	c. 600	伊都郡高野山	840	— flat	50	85.5 \pm 46.4 ^b (20.8~189) ^b	138.8 ^b *	127*	3,150	20

Expo, exposure. Incl, inclination. Mean height, mean height of dominant trees. ^a, as of 1991. ^b, as of 1988. *, trees in DBH \geq 60cm. A litter trap, 50cm by 50cm in mouth.

年輪から、樹齢には6年の差がある。

W₆₀₀：金剛峯寺墓地林の一つで、大径木の樹高は50mである。胸高直径が30~50cmのスギも混在する。大径木のスギには天然木が含まれていると思われる。

調査法

1. 雄花生産量（リタートラップ法）

使用したリタートラップは50cm×50cmの木枠に化学繊維製の布袋（深さ45cm）をとりつけたものである。布はゴース（網目0.2mm）または寒冷紗（網目1mm）のどちらかを用いた。寒冷紗でも雄花はもれない。

このようなトラップを5~20個、各林分に設置した（表1）。トラップの受け口は水平にし、その地上高を約75cmにした。林内でのトラップの配置は5m間隔（K₆₀）、7m（K₄₂、K₅₀、M₁₇、M₃₀、

M_{95a}、M_{95b}）、8m（Ku₅₅、K₉₂、K₁₀₅、W₉₅）、10m（W₆₀₀）である。設置したトラップ数とその間隔は林木の大きさとその均質性、立木密度などから判断して決めた。

リターの採集間隔は1~1.5カ月、積雪期には最長で2.5カ月になった。

調査は1994年7月上旬に開始し、1995年7月下旬に終了した。この開始は雄花芽の分化期であり²⁾、7月には開花雄花の大半が落下している⁹⁾。なお、5林分（K₉₂、K₁₀₅、M_{95a}、M_{95b}、W₆₀₀）では、今回の調査の前から継続調査を行っている。

採集したリターはトラップごとに紙袋に入れて実験室に持ち帰った。1995年7月上旬~1995年3月中旬までの期間に採集したリターの中から、未開花雄花（1995年春に開花予定だったもの）を選別し、その個数と重量をトラップごとに測定した。1995年3月中旬~7月下旬までの期間のリターからは開花した雄花だけを選別し、同様に測定した。開花期以

降にも未開花雄花は落下する^{8,9)}。しかし、それは少量なので、今回は開花期を境にして未開花と開花の雄花に区分した。

なお、重量は85℃で24 h以上の乾燥をした後に、感量 1mg の天秤を用いて、室温で測った乾重を用いた。

2. 雄花の発育不全 (切断法)

落下した未開花雄花において花粉のうや花粉粒が健全に発達しているかを、雄花を軸にそって切断して調べた。

スギの花粉母細胞は10月中旬に、花粉粒は12月には形成されている²⁾。そこで、試料の未開花雄花は11月中に落下したものと12月～翌年3月の期間のものに分けた。しかし、この区別は、落下数が少ない林分やリター採集日の違いから、厳密にできなかった。

雄花の縦断面に認められる健全な花粉のうの割合で、次のA～Dの4クラスに雄花を分けた¹⁾。

クラス 健全花粉のう割合 (発育不全割合)

A	90～100% (10% >)
B	50～ 90% (10～50%)
C	10～ 50% (50～90%)
D	0～ 10% (90% <)

発育不全の場合は、花粉のうが見当たらず、乾燥試料では鱗片下部に黒色の小形隆起程度が確認された。

結 果

1. 未開花雄花の落下数

図1は開花雄花数 (OPN) と未開花雄花数 (CLD) の関係を示す。各々の値は各トラップに入った雄花数の平均値を用いている。図1のような OPN - CLD 関係を基にすると、各年の未開花雄花の落下数から事前に開花数、すなわち花粉の豊凶を簡単に予知できると筆者らは考えていた⁹⁾。

しかしながら、図1からわかるように、未開花雄花数は広い範囲 (60～12,300/m²) にみられた。スギの開花数に加齢効果が認められる若い林分 (林齢50年生まで)⁶⁾を除外して考えても、未開花数の林分較差は大きい。開花数が30,000/m²を越える90年生以上の高齢林の未開花数をみると、約600/m² (K₉₂, K₁₀₅) から3,000/m² (M_{92b}), 6,900/m² (W₆₀₀), 7,500/m² (M_{92a}), 12,300/m² (W₉₅) まで様々であった (図1)。これは全雄花数 (開花+未開花) に対する未開花雄花数の割合が、林分間で異なることを示している (「未開花数割合と雄花の乾物量」参照)。このようなバラツキからみて、未開花雄花の落下数だけから花粉の豊凶を予知することはできても、正確な開花数を推定することは難しい。まず、この落下の原因を生物学的に解明する必要がある。

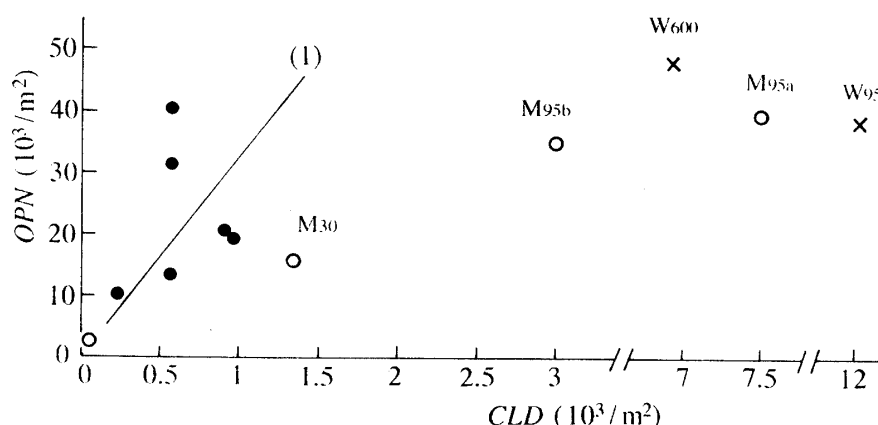


図1 林分間での開花雄花数 (OPN) と未開花雄花数 (CLD) の関係

Relationships between the numbers of male flowers before (CLD) and after (OPN) anthesis or pollen release.

The regression line: $OPN = 31.5CLD$ ($r = 0.87$, $P < 0.05$), for the six stands in Kyoto Prefecture.

なお、図1の回帰直線は京都府の6林分に対するもので、

$$OPN = 31.5CLD$$

$$(r = 0.87, P < 0.05)$$

(1)

と求められたので参考に示した。

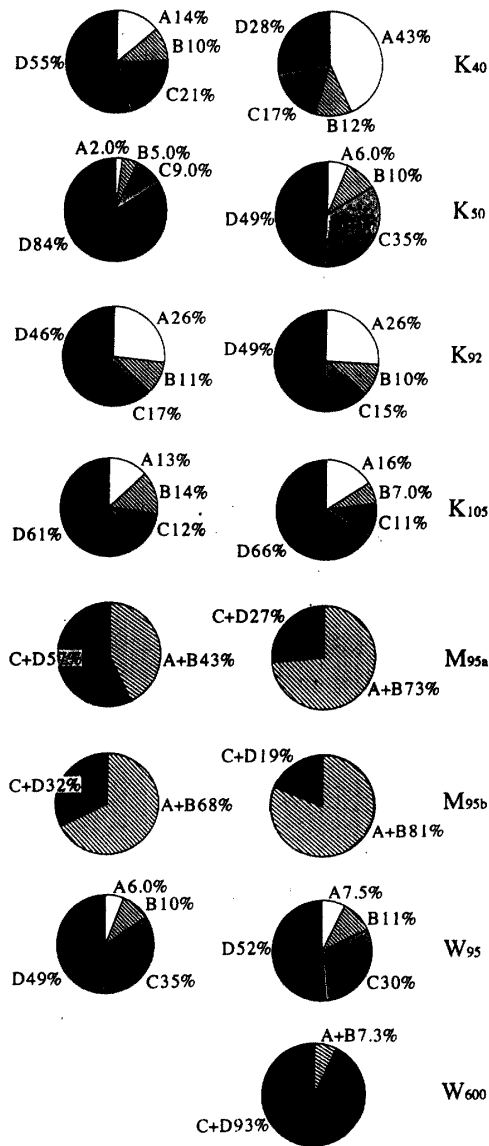


図2 花粉のうの形成と發育不全(長谷川¹⁾, 一部改変)

左側：花粉粒の形成期に落下した未開花雄花。右側：花粉粒の形成後に落下したもの。

The formation and abortion of pollen sacs (redrawn from Ref.1).

% of pollen sacs loaded with pollen (% of abortion)	
A: 90 - 100% (10% >)	Sound
B: 50 - 90% (10 - 50%)	↑
C: 10 - 50% (50 - 90%)	↓
D: 0 - 10% (90% <)	Aborted

Left side, for male flowers (buds) that fell during the formation period of pollen grains. Right side, for those after formation of pollen grains.

K₄₂ and K₉₂: (left) from 13 October 1994 to 26 December 1994; (right) from 26 December 1994 to 14 March 1995. K₅₀ and K₁₀₅: (left) from 16 November 1994 to 26 December 1994; (right) from 26 December 1994 to 14 March 1995. M_{95a} and M_{95b}: (left) from 19 November 1994 to 17 December 1994; (right) from 28 January 1995 to 12 March 1995. W₉₅ and W₆₀₀: (left) from 28 October 1994 to 30 November 1994; (right) from 30 November 1994 to 22 March 1995.

2. 花粉形成と發育不全

開花数に大差のない高齢林の間で、なぜ未開花雄花数に20倍という較差が生じたのであろうか。

秋季以降に落下した未開花雄花の外部形態には、鱗片間に花粉の存在が確認できるものと鱗片が互いに離れているものとに大別できる。前者は、前に述べたように、楕円形で淡黄色、しかも新鮮である。後者は長楕円形ないしは広線形、黄褐色で、新鮮さに欠ける。鱗片の隙間からは内部が黒色にみえ、花粉が形成されているとはみえない。この未開花雄花の外観は、開花後に落下するものに似ていた。

未開花雄花を切断して花粉のうが形成されているかどうかをまとめたのが図2である。図2の各林分左側の円グラフが主に11月に落下した試料を、右側のそれは12月～翌年3月のものを使ってある。スギ花粉の形成は10月中～下旬に完了するものが多いから²⁾、今回用いた試料は花粉形成が終了していると考えられるものである。

図2から、發育不全の未開花雄花は、試料とした8林分の全てで多数認められた。

花粉のうの50%以上が發育不全であった未開花雄花数の割合は(図2のC+D)、大部分の林分で50%を越えている。この割合が低いのはM_{95b}(19~32%)やM_{95a}(27~57%)があり、高い林分(K₅₀, W₉₅, W₆₀₀など)では80~90%に達していた。

未開花雄花数の多い林分では發育不全割合が高いかどうかをみると、決まった傾向は認められなかった。未開花の多かったW₉₅やW₆₀₀(順に、12,300と6,900/m²)ではこの割合は高い(82~93%)。しかし、同様に多いM_{95a}とM_{95b}(7,500と3,000/m²)ではこの割合は低かった(19~57%)。一方、未開花の少なかったK₉₂とK₁₀₅でも(図1参照)、發育不全割合は高い(62~77%)。

このように未開花雄花の落下数の多少に無関係に、發育不全のものが高い割合で含まれていた。これから、何らかの原因で花粉形成に至らなかった雄花は、開花以前に脱落することがわかった。

次に、図2で、12月の以前(左側)と以降(右側)の試料間で發育不全割合を比較すると、この割合が以前より以降で低くなる林分とそうでない林分とが認められた。前者にはK₄₀, K₅₀, M_{95a}, M_{95b}, 後者にはK₉₂, K₁₀₅, W₉₅があげられる。この区分と未開花雄花数の多少との間に関連はみられなかった。

未開花雄花のなかで花粉を形成した健全なものは少なかった(図2)。K₄₂の43%, K₉₂の26%が大きい値であり、少ないのは数%(K₅₀, W₉₅)であっ

た。

3. 未開花雄花の落下季節

未開花雄花の落下の季節的変動を図3に示す。全落下数における各採集期間の落下数割合を実線で、日落下速度(/m²·day)の最大値を1としたときの相対値を破線で示してある。落下数割合は、冬期間のように採集間隔が長いと高くなるので、図3をみるときは両者の変化をあわせて考える必要がある。

図3に示した落下の季節的推移をみると、秋季に集中する林分と冬季(12~翌年3月)に多くなる林分がある。前者のタイプはK₄₀, K₅₀, K₆₀, M_{95a}, M_{95b}, 後者はM₃₀, W₉₅, W₆₀₀である。また、晩秋から冬季にかけて均等な落下傾向を示す中間タイプの林分K₄₅₅, K₉₂, K₁₀₅, M₁₇がみられる。

これらのタイプは調査林分の所在地や林齢との間に関連は認められなかった。

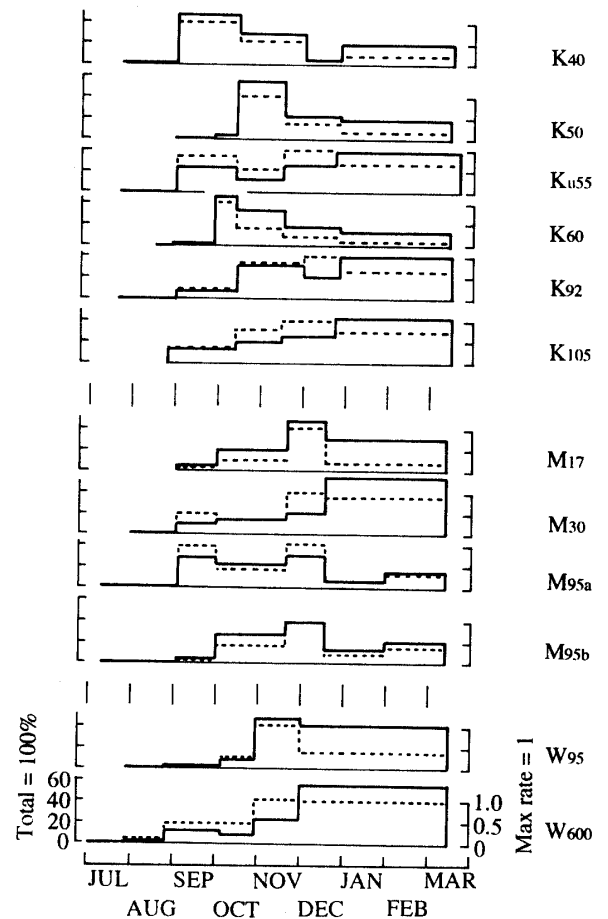


図3 未開花雄花の落下季節変動

実線：開花までに落下した合計数(=100%)に対する割合(%). 破線：最大日落下速度が1のときの日落下速度の相対値。

Seasonal fluctuations of male flower (bud) fall before anthesis. Solid line, % of fallen amount in each litter collection (total = 100%). Dotted line, relative fall rates (maximum value of daily fall rates = 1).

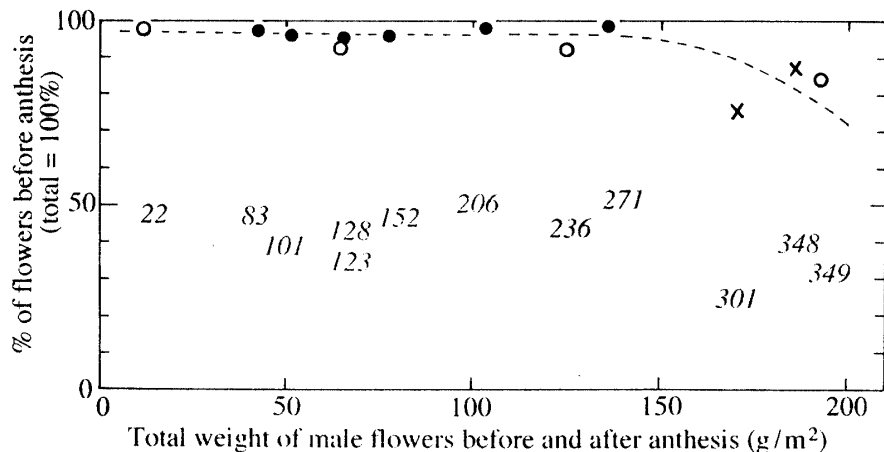


図4 落下雄花重量合計と未開花雄花割合のちがい

数字は雄花への投資量 (g/m^2 ；花粉を含めた重量合計)

Ratios of number of male flowers before anthesis to total ones in relation to the total weight of male flowers before and after anthesis.

Figures represent the total photosynthates (g/m^2) invested in male flowers, which were calculated from the total weight of male flowers plus pollen weight (pollen content in weight = 50%)^{2,7}.

前述したように発育不全雄花の割合が12月以降に減少する林分 (K_{40} , K_{50} , M_{95a} , M_{95b})があった。これらの林分は未開花雄花が秋季に集中落下する林分と一致している。一方、落下季節が冬季および集中落下しないタイプの林分には、発育不全割合が季節でほとんど変化しない林分 (K_{92} , K_{105} , W_{95})が対応している。以上から、1995年の場合、未開花の落下が多い期間には、発育不全雄花が脱落していたことになる。

ここで未開花雄花の多い高齢と老齢の4林分での落下の季節的変動を比べると(図3), M_{95a} と M_{95b} の落下数は秋季に多くて冬季は少ないが、 W_{95} と W_{600} では冬季が中心となって落下している。この原因は、地域差のほかはわからない。

4. 未開花数割合と雄花の乾物量

図4は、全雄花数(未開花+開花)に対する未開花雄花の占める割合を、全雄花の乾物量(未開花+開花の重量)との関係で示してある。

未開花数割合の高い林分は、図4から、その高い順に W_{95} , M_{95a} , W_{600} , M_{95b} , さらに M_{30} があげられる。始めの4林分は高齢か老齢林であるが、立地条件の共通性はみられない。 M_{30} は若い林分であり、少雨の影響を受けやすい立地である(表1)。

図4をみると、未開花数割合が高い4林分は全雄花の乾物量が多い。この割合は、乾物量が150~

160 g/m^2 を越えると急に増大する傾向が認められる。

この乾物量には花粉は含まれていない。花粉重量は開花直前の雄花重量の50%とみなされるので^{3,8)}, 開花雄花重量に等しい重さの花粉生産があったと推定される。このようにして求めた花粉を含む雄花の合計重量(図4のイタリック数字)が雄性器官(雄花)への同化産物の全投資量に相当する。

未開花数割合が高かった3林分(図4の横軸の乾物量が多い順に、 M_{95a} , W_{600} , W_{95})の雄花への投資量は300~350 g/m^2 の範囲にあると推定された。乾物量が150 g/m^2 に達しない林分(図4で大きい順に、 K_{92} , M_{95b} など)では、この投資量は最大が270 g/m^2 (K_{92}), 大多数の林分は100~200 g/m^2 の範囲であった。

以上から、1994年の異常気象によって発育不全の雄花が大量に落下した原因は、雄花への投資量の多さにあることが示唆された。しかし、 M_{30} にはこの投資量(123 g/m^2)の問題は当てはまらない。

考 察

生育期に少雨高温であった1994年には、翌春(1995年3月)に開花する雄花ツボミが大量に落下した林分があった。また、発育不全のものは早期に脱落する傾向が認められた。この未開花雄花の大量

落下がなぜ起こるのか、しかも開花数がほぼ等しい高齢林のなかでも林分較差が20倍に達した原因を検討する必要がある。

第1の原因に資源制限を考えた。例えば、若いハンノキでは生殖器官や球果への同化産物の過剰投資を回避するためと推定される大量の雄花序（ツボミ）の落下現象が報告されている⁷⁾。今回のスギ未開花雄花の脱落は、ハンノキと同様に、同化産物の節約になると考えられる。全ての雄花芽が開花したと仮定した値に比べると、未開花雄花の多い林分では10% (M_{95b})~32% (W_{95})の乾物が節約になったと推定された。

ここで、スギ高齢木の雄花への投資量はどの程度まで可能なのかを考えてみる。高齢になると非同化部分量が増加して呼吸量は増え、純生産量は減少する⁴⁾。したがって、高齢木が雄花に投資できる同化産物量は若齢木に比べて少ないと考えられる。温帯針葉樹林（大部分はスギ人工林）の地上部純生産量は $14.25 \pm 5.76 \text{ t/ha} \cdot \text{yr}$ とまとめられている⁴⁾。この平均値には若齢林が含まれているから、本調査材料の高齢林の値はこれより少ないと考えられる。また、暖温帯上部 (W_{95} , W_{600}) では純生産量は少ない⁴⁾。この少ない純生産量がどの程度かは特定できない。しかし、この少ないものの中から雄花へ 3 t/ha (300 g/m^2)以上を投資した訳である。さらに、この投資の翌年には継続して種子および球果の形成に投資する必要がある。故に、高齢木にとって雄花に 300 g/m^2 を越える乾物投資の負担は大きいといえる。

前述したように水分ストレスによる雄花の発育不全が考えられた。若い林分の M_{30} では未開花割合が高い。 M_{30} の特徴は土壤が乾燥しやすい立地であることからみると、胞原細胞や花粉母細胞が発達する時期²⁾に水分ストレスが生じて未開花数割合が大きくなったと考えられる。この割合が高かった高齢および老齢林は樹高が35~50 mに達しており、水分ストレスが雄花の発育不全の原因になった可能性もある。 M_{95a} と M_{95b} を比べると、土壤水分の補給が少ないと思われる前者の方がこの割合は高い。しかし、調査林分のなかで最も湿潤な土壤の W_{95} で、この割合は最高値を示している。一方、湿潤土壤の K_{105} での割合は低かった。また、高齢の K_{92} での割合も低い。このように水分ストレスだけでは今回の発育不全の問題は説明できない。一方、 W_{600} では今回のほかにも大量の未開花雄花の落下が観察されており（齋藤、未発表）、水分ストレス原因説は捨てられない。

高温障害によるスギ雄花の枯死が実験によって確認されている¹⁰⁾。この材料は温室内で、施肥とジベ

レリン処理がされているので、この結果を自然の林木に適用できるか疑問がある。しかし、興味ある問題である。

以上の考察から、今回の発育不全雄花の落下は資源制限に原因する大量の花芽の間引きであることが示唆された。また、生育期の水分ストレスがこの資源制限に相乗効果をもたらしたと推定された。

おわりに

開花前年の秋~冬季の未開花雄花の大量落下が資源制限に原因するものであれば、本調査年に限らず過去の豊作年にもこの現象が存在したと思われ、また、豊作年に限らず不作の年でも、気象条件によって、雄花の発育不全が起こるかどうか調査する必要がある。さらに、開花雄花のなかで、一部の花粉のうが発育不全であるものについて調査が望まれる。

調査林を提供された京都営林署、高野山金剛峯寺、高雄高山寺および関係各位に厚く御礼申し上げる。また、調査には本学造林学研究室専攻生の長谷川亮（平成7年度）君の協力を得た、ここに深謝する。

引用文献

- 1) 長谷川 亮 (1996): スギの雄花生産の豊凶予知および都市域への花粉飛散に関する研究. 京都府立大学農学部林学科卒業論文, pp.43.
- 2) 橋詰隼人 (1973): 針葉樹の花芽分化, 花性分化とその調節に関する研究. 鳥取大演習林報 7: 1-139.
- 3) ———・坂本大輔 (1992): スギ林・ヒノキ林における花粉生産量に関する研究. 鳥取大演習林報 21: 31-50.
- 4) KIRA, T. (1977): Production rates, net production. "Primary Productivity of Japanese Forests", ed. SHIDEI, T. and KIRA, T., University of Tokyo Press: 101-108.
- 5) 気象庁 (1982): 全国気温・降水量別平年値表 (1951~1978). 気象庁観測技術資料 46, 205pp.
- 6) 齋藤秀樹 (1995): 林学からみたスギ花粉症. 耳鼻臨床 補 76: 6-19.
- 7) ———・井坪豊明・筒泉直樹・高橋衛 (1996): 若齢林におけるハンノキの花粉生産と種子生産コスト. 日本生態学会誌 46: 257-268.
- 8) ———・竹岡政治 (1987): 裏日本系スギ林の生殖器官生産量および花粉と種子生産の関

- 係. 日生態会誌 **37**: 183-195.
- 9) ———・———— (1989): スギ林の雄花開花量の予知. 日林論 **100**: 453-456.
- 10) 菅原泉・右田一雄 (1996): 生育温度のちがいとスギ雄花の枯死. 107回日林大会講演 (E85).
- 11) 横山敏孝・金指達郎 (1993): スギ人工林における雄花生産量と気象条件との関係. 日林論 **104**: 445-446.