

速 報

熊本県合志市において秋から冬にかけて観察されるスギ雄花枯れ現象^{*1}松永孝治^{*2}・岩泉正和^{*2}・市原 優^{*3}

松永孝治・岩泉正和・市原 優：熊本県合志市において秋から冬にかけて観察されるスギ雄花枯れ現象 九州森林研究 77：177－180, 2024 熊本県合志市にある森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場において、秋から冬にかけてスギの雄花の枯損現象が生じている。この雄花枯れの原因を明らかにするため、時間的・空間的な発生状況を調査した。その結果、雄花枯れの発生時期は場所やクローンによって異なることが示された。また、雄花枯れは空間的にランダムに発生するというよりは、クローンを単位として、空間的に偏りをもって生じていることが示唆された。

キーワード：雄球果，花粉，時間的変化，系統間差，空間自己相関

I. はじめに

熊本県合志市に所在する森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場では場内のスギにおいて、秋から冬の間に雄花が枯損する現象が発生している（図-1）。この現象は2006年頃にはすでに発生が認められていたが（倉本，私信），被害の程度は年によって異なり，被害がほとんど見られない年もあれば，被害が著しい年には，ほとんどのスギ系統の雄花が枯損して，花粉の採取が行えず，人工交配の計画を変更・中止する場合もあった。

この雄花枯れの原因として，秋に生じる早霜等の気象害，あるいは病虫害等の可能性が考えられるが，原因の特定には至っていない。ここではこの雄花枯れの原因を明らかにするにあたり，まず，この雄花枯れの発生の時間的な変化および空間的な発生状況について調査した。



図-1. 枯損の見られたスギ雄花

図中の日付は撮影日を示す。同じ枝を経時的に撮影した。2021/11/10に一部の雄花で枯損が見られ，2021/12/6にはほぼすべての雄花で被害が見られた。

II. 材料と方法

雄花枯れの発生の時間的な変化：スギ原種園（調査地1）に植栽された第一世代スギ精英樹の接ぎ木33系統60本（約60年生，採穂木仕立て，高さ約3-4m），スギ交雑試験地（調査地2）に植栽されたスギ実生4本（6年生，自然樹形，高さ約5m），スギ広域試験地（調査地3）に植栽されたスギさし木4系統の5本（7年生，自然樹形，高さ約5m）を調査木とした（図-2）。2021

年7月中旬に，これらの調査木について地上から高さ2.5m程度までの日当たりのよい2-3本の枝をランダムに選び，100ppmのジベレリン水溶液に数秒間浸漬した。2021年の10月上旬に，各調査木の高さ1-1.5m程度にある雄花が着生した長さ約20cm程度の枝2-3本にラベルを付け，2-3週間おきに（10/7, 10/25, 11/4, 11/15, 12/1, 12/15, 12/27），雄花の枯損率（着生雄花量に対する枯損雄花量の割合）を調べ，0%～100%までの10%区切りで記録した。

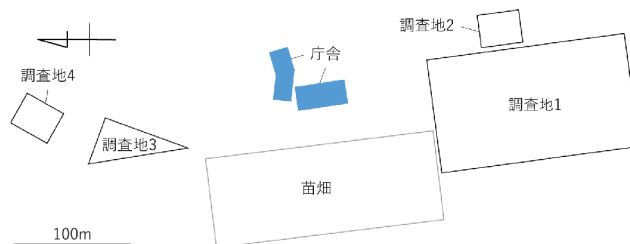


図-2. 九州育種場内の調査地の位置図

雄花枯れの空間的な発生状況：九州育種場内にあるスギ第二世代精英樹候補木の集植場（調査地4，図-2）に20行13列の方形に植栽された65クローン246本の接ぎ木苗（3-4年生，自然樹形，高さ4m程度）を調査木とした。この調査地では各クローンの4本の接ぎ木苗が列状に隣り合って植栽されていた。この調査地の東，南，西側に高い植栽木や建築物はなく，日当たりがよい場所であった。2022年7月中旬にこれらの個体について地上部から高さ2.5m程度までの枝に100ppmのジベレリン水溶液を枝から滴り落ちるまで，背負い式の電動噴霧器を用いて噴霧した。雄花の着生時期が雄花の枯損の発生に関連しているか検討するため，各個体の雄花着生時期を調査して1-4の4段階の指数に区分した（1：8月上旬までに着生，2：8月中旬までに着生，3：8月下旬までに着生，4：8月下旬より後に着生）。また，2023年2月8日に各個体の高さ2mまでの雄花の枯損率（着生雄花量に対す

^{*1} Matsunaga, K., Iwaizumi, M.G., Ichihara, Y.: Male flower withering of *Cryptomeria japonica* observed from autumn to winter in Koshi, Kumamoto.

^{*2} 森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場 Kyushu Regional Breed. Office, Forest Tree Breed. Ctr., For. & Forest Prod. Res. Inst., Forest Res. Man. Org., Koshi, Kumamoto 861-1102 Japan

^{*3} 森林研究・整備機構森林総合研究所関西支所 Kansai Res. Ctr., For. & Forest Prod. Res. Inst., Forest Res. Man. Org., Fushimi, Kyoto 612-0855 Japan

る枯損雄花量の割合)を5段階の指数で記録した(0:枯損無, 1: 1-25%, 2:26-50%, 3:51-75%, 4:76-100%)。

統計解析にはR(R Core Team, 2023)を用いた。雄花の枯損被害の程度がクローン間で異なるか調べるため、雄花の枯損被害の指数に対してkruskal.test関数を用いて、クラスカルウォリス検定を行った。雄花の着生時期及び雄花の枯損率の空間的な偏りを調べるため、spdepパッケージのmoran.test関数を用いて空間自己相関の検定を行った(Bivand and Wong, 2018)。雄花の着生時期と方位の関係を調べるため、調査地4の南東側10行と北西側10行、また北東側6列と南西側6列(間の1列はどちらにも含まなかった)のそれぞれで雄花の着生時期が早い個体(早期着生個体)の割合と方位の関係について2×2の分割表を作成し、fisher.test関数を用いて、フィッシャーの正確確率検定を行った。ここでは、雄花の着生時期の指数が1の個体を早期着生個体、指数が2~4の個体を早期着生ではないとした。雄花枯れの発生の有無と方位の関係を調べるため、同様に方位別に雄花の枯損発生割合を調べて2×2の分割表を作り、検定を行った。雄花の着生時期と雄花の枯損率の間の関連性を調べるため、着生時期と枯損の程度の4×5の分割表を作成し、フィッシャーの正確確率検定を行った。

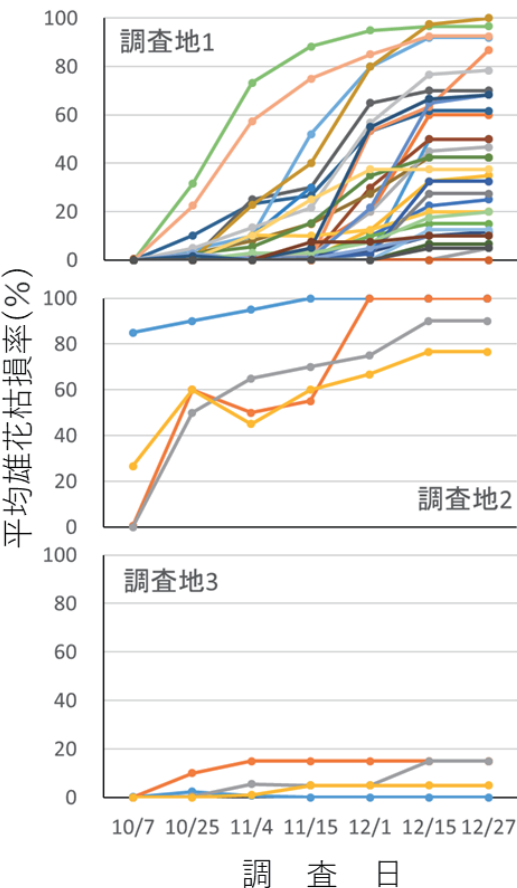


図-3. 雄花枯損の時間的な変化
各棒線はクローン平均値(調査地1, 3)あるいは個体平均値(調査地2)を示す。

III. 結果

雄花枯れの発生の時間的な変化: 調査地1における雄花の枯損率はクローン間で大きくばらついた(図-3)。10月7日の調査ではすべてのクローンにおいて雄花の枯損は見られなかったが、10月下旬には、いくつかのクローンで枯損率が増加した。12月下旬にはすべての雄花が枯れたクローンと枯損が全く見られないクローンが見られた。調査地2では10月7日にすでに80%以上の雄花が枯損した個体が見られた。その後、すべての調査個体で雄花の枯損率が増加し、12月下旬には全調査個体において枯損率は70%以上となった。調査地3では枯損率は0~20%の範囲にあり、雄花の枯損はあまり広がらなかった。

雄花枯れの空間的な発生状況: 調査地4において、ジベレリン処理した246本の全ての調査木で雄花の着生が認められた。8月上旬, 中旬, 下旬の間にそれぞれ、75%, 22%, 2%の調査木で雄花が着生し、残りの1%は9月以降に雄花が着生した(図-4)。雄花の着生時期についてのモランのI統計量は0.37 ($P < 0.01$)

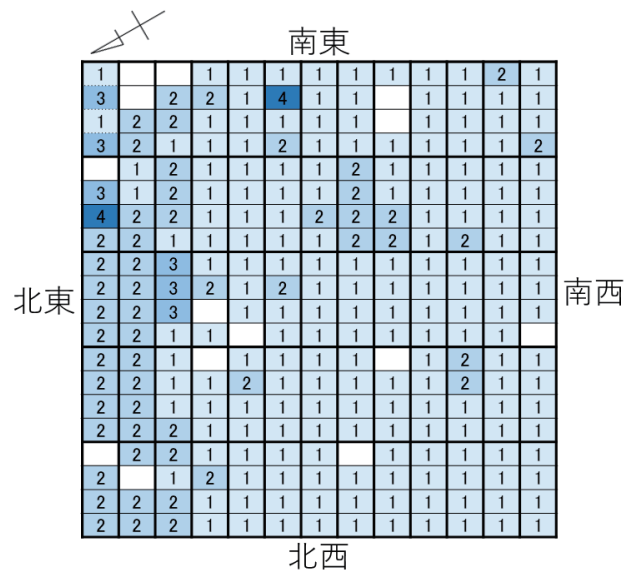


図-4. 調査地4の雄花着生時期の指数の空間分布
数字は各調査木の指数を示し、空欄は個体がないことを示す。クローンの境界を太い実線で示している。

表-1. 調査地4における雄花の早期着生と方位の分割表

(a) 南東と北西に分割した場合			
着生時期の	方位		
指数	南東	北西	合計
1	89	95	184
2~4	35	27	62
合計	124	122	246

(b) 北東と南西に分割した場合			
着生時期の	方位		
指数	北東	南西	合計
1	61	104	165
2~4	50	11	61
合計	111	115	226

(b) は北東側6列と南西側6列に分割した。中央の1列が含まれていないため、合計が(a)と異なる。

となり、着生時期は空間的に偏りがあることが示された。調査地4を南東と北西に分割した場合、雄花を早期着生した個体の割合に有意な差はなかったが（表-1 (a)、フィッシャーの正確確率検定、 $P = 0.17$ ）、北東と南西に分割した場合、雄花を早期着生した個体の割合は有意に異なった（表-1 (b)、フィッシャーの正確確率検定、 $P < 0.01$ ）。

調査地4において、雄花の枯損は113本（46%）の調査木で見られ、枯損率の指数1, 2, 3, 4の本数はそれぞれ、46, 41, 21, 5本であった（図-5）。クラスカルウォリス検定の結果、雄花の枯損被害の程度はクローン間で有意に異なった（ $H = 185.0$, $P < 0.01$ ）。雄花の被害の指数についてのモランのI統計量は0.40（ $P < 0.01$ ）となり、雄花の枯損被害の程度は空間的に偏りがあることが示された。調査地4を南東と北西に分割した場合、雄花枯れが発生した個体の割合は有意に異なったが（表-2 (a)、フィッシャーの正確確率検定、 $P < 0.01$ ）、北東と南西に分割した場合、雄花枯れの発生した個体の割合に有意差はなかった。（表-2 (b)、フィッシャーの正確確率検定、 $P = 0.51$ ）。

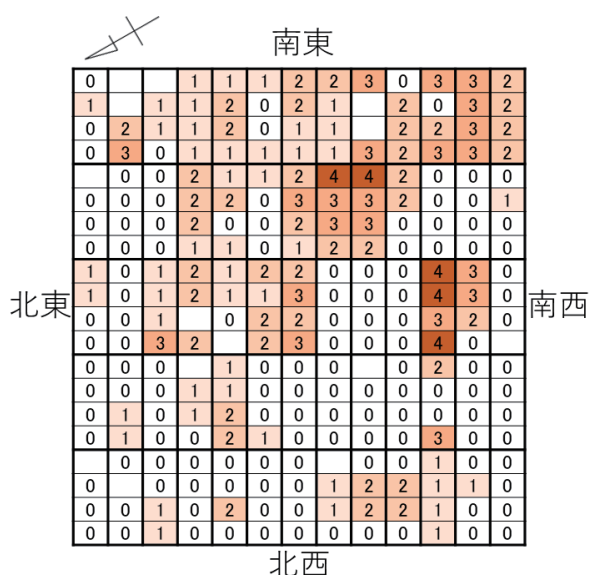


図-5. 調査地4における雄花の枯損率の指数の空間分布
数字は各調査木の指数を示し、空欄は個体がないことを示す。クローンの境界を太い実線で示している。

表-2. 調査地4における雄花枯れの発生と方位の分割表

(a) 南東と北西に分割した場合			
雄花枯れ	方位		
	南東	北西	合計
あり	78	35	113
なし	46	87	133
合計	124	122	246

(b) 北東と南西に分割した場合			
雄花枯れ	方位		
	北東	南西	合計
あり	50	51	101
なし	61	64	125
合計	111	115	226

(b) は北東側6列と南西側6列に分割した。中央の1列が含まれていないため、合計が (a) と異なる。

表-3. 調査地4における調査木の雄花着生時期の指数と枯損率の指数の組合せ数

雄花の 着生時期の 指数	雄花の枯損率の指数					合計
	0	1	2	3	4	
1	100	30	34	16	4	184
2	29	12	7	5	1	54
3	2	4	0	0	0	6
4	2	0	0	0	0	2
合計	133	46	41	21	5	246

雄花の着生時期の指数と枯損率の指数の組合せでは、着生時期が最も早い「1」と枯損が見られなかった「0」の組合せが最も多かった（表-3）。雄花枯損の被害の程度と雄花の着生時期に関するフィッシャーの正確確率検定の結果、 P 値は0.51となり、両者の間に関連性は認められなかった。

IV. 考察

今回の調査地1, 2, 3における雄花枯れの時間的な調査結果から、九州育種場で発生している雄花枯れは秋から冬にかけて次第に増加していくこと、調査地や調査木によって枯損の増加時期や最終的な枯損率が異なることが明らかになった。秋から冬にかけて枯損率が次第に高まる傾向から、雄花枯れは例えば熊本における降雪のように稀に生じる気象イベントというよりは、累積的な温度あるいは病虫害の影響等に関係すると考えられた。

また、調査地4の空間的な発生状況の調査結果は、雄花枯れの発生には空間的に偏りがあり、方位やクローンによって雄花枯れの発生のしやすさが異なることを示した。方位による枯損率の違いは早朝の日射量、あるいは調査地外のどこか一方に病虫害の発生源が存在するといった何らかの方向性のある要因が枯損率に影響している可能性を示唆する。また、一般に空間的に偏りのある被害のパターンは移動・分散能力が低い病虫害によって生じる可能性もあるため、今回もそのような病虫害が原因である可能性もある。雄花枯れの被害の程度はクローンによっても異なっていたことから、クローン間で変異のある、何らかの特性が雄花枯れに関係する可能性がある。春に樹木の新芽や雌花に見られる遅霜による被害は、開葉・開花フェノロジーの早いクローンで被害が大きいことが報告されている（梶・高橋1999; Matsunaga and Kurita 2021）。本研究では雄花枯れの発生と雄花の着生フェノロジーの関係を検討するため、外与ジベレリンによって誘導した雄花の着生時期を調べた。しかしながら、雄花の着生時期と雄花の枯損率の間に関連性は認められなかったことから、着生時期とは異なる別の要因が関与することが示唆される。

橋詰（1962）はスギ雄花について自然に着生した場合と外与ジベレリンで誘導した場合の発育経過を調べ、自然に着生した場合は7月から雄花の分化が始まるが、7月中旬のジベレリン処理では8月中旬以降に雄花の分化が始まることを示している。そのため、外与ジベレリンによる雄花の着生はスギ内部の季節的な生理的变化を反映していない可能性がある。実際に、本研究の調査地4において観察された雄花の着生時期は、南側で早く、北側で遅い傾向を示しており、各クローンの雄花着生フェノロジーを反映しているというよりは、日当たり等の環境要因を反映しているよ

うに思われた。これまで、スギの雄花が自然に着生する時期のクローン間変異に着目した調査は行われていないようであるが、雄花の開花に必要な有効積算温度や発育限界温度についての品種間変異が報告されている（平 1993）。雄花枯れに見られるクローン間変異は、そのような雄花の環境応答のクローン特性によって生じている可能性が考えられる。

近年、スギ花粉症対策の生物資材として、雄花を特異的に枯損させるスギ黒点病菌 *Sydowia japonica* が研究されている（高橋ら 2017）。今回九州育種場で生じている雄花の枯損現象では、スギ黒点病でみられるような鱗片間隙の黒色化等は確認されておらず、黒点病が原因ではないと考えられた。また、本調査地では枯損率が増加する 10 月中旬以降にスギの雄花にケブカカスミカメ（*Tinginotum perlatus*）が多数確認された。この昆虫とスギの雄花枯損の因果関係は明らかでないが、森林総合研究所林木育種センター四国増殖保存園でも同様にスギ雄花の枯れている周囲でこの昆虫が観察されているようである（三浦，私信）。この雄花枯れの原因を明らかにするために、虫害の影響を除くための袋かけ実験やクローン間変異のあるフェノロジー形質等に着目した調査等を行う必要があるだろう。

V. 謝辞

本報告を取りまとめるにあたり、森林総合研究所林木育種センターの倉本哲嗣課長、同西表熱帯林育種技術園の三浦真弘研究室長に雄花枯れの発生に関する貴重な情報を頂きました。また東京農業大学の石川忠教授にはケブカカスミカメの同定にご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Bivand R, Wong D (2018) Test 27: 716 - 748
 橋詰隼人 (1962) 日林誌 44: 312 - 319
 梶幹夫・高橋康夫 (1999) 日林北支論 47: 54 - 57
 Matsunaga K, Kurita M (2021) J For Res 26: 459 - 463
 R Core Team (2023) URL: <http://www.R-project.org/>
 平英彰 (1993) 富山林技研報 7: 18 - 21
 高橋由紀子・升屋勇人・窪野高德 (2017) 樹木医学研究 21: 1 - 7
 (2023 年 11 月 10 日受付: 2023 年 12 月 23 日受理)