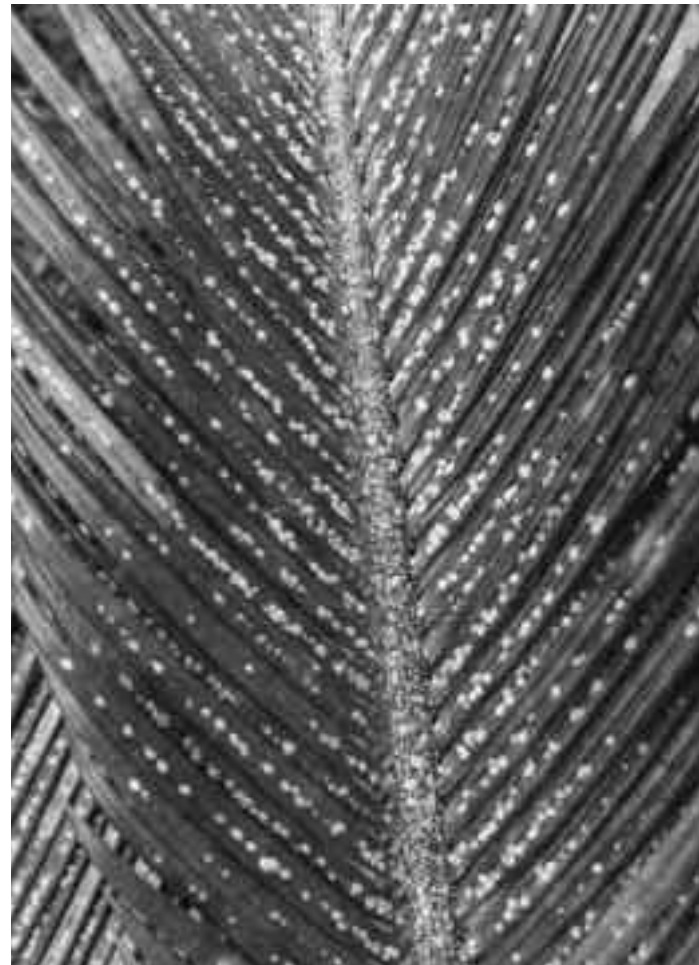


ISSN 0289-5285

林業と薬剤

No. 245 9. 2023

一般社団法人 林業薬剤協会



目 次

天狗巢病とは何か（その11）.....	田中 潔	1
シドウィア菌を用いたスギ花粉飛散防止剤の 開発と実用化に向けた取り組み.....	高橋 由紀子	10
鹿児島県における樹木の病虫害——最近の診断履歴から——	川口エリ子・米森正悟	18
今さら聞けない生物学入門		
4. 細胞の分裂.....	福山 研二	23

● 表紙の写真 ●

奄美大島で国内初確認されたソテツの害虫

Aulacaspis yasumatsui

2022年秋に、奄美市でソテツの集団葉枯れが発生した。被害葉には海外でソテツに甚大な被害を及ぼしているカイガラムシ *Aulacaspis yasumatsui* が付着していた。被害は、奄美大島内の街路樹や庭先のソテツでもみられている。

2022年11月 奄美市名瀬

—川口エリ子氏撮影—

天狗巣病とは何か（その11）

田中 潔*

第9章 枝の叢生機構の整理と新しい天狗巣の定義の提唱（承前）

9-4. 枝の叢生機構（承前）

9-4-3. 枝の叢生と枝の枯死との関係

Taphrina 属菌による天狗巣病罹病枝では、健全枝に比べて枝の枯死率と半枯れ枝の発生率が高いことを第3章で明らかにした。とくに、半枯れ枝は生き残った枝の基部から新条が生じるため、ダケカンバ、シラカンバ、オオヤマザクラ、ソメイヨシノの天狗巣病病巣における枝の叢生機構の一つとして重要である。また、ケヤマハンノキの罹病枝における3年経過後の累積枯死率は98.7%、ウダイカンバのそれは96.0%だった。このような罹病枝の枯死率が極めて高い場合には、枝の叢生を抑制する方向に働いている（第3章）。しかし、これらの樹種も罹病枝を子細に検査すると、それぞれの枝で、頂部優勢の弱化による下位葉位の腋芽からの分枝率の上昇が認められることから（第7章）、枝の枯死がなければ、さらに叢生程度の高い天狗巣を形成できると思われる。

Phytoplasma（マイコプラズマ様微生物）による萎黄叢生病グループの疾病では、1～3年以内に、罹病枝が枯死するものが多い（Hibben ほか、1986; Holmes ほか、1972; 川上、1902; Seliskar、1976）。キリ天狗巣病（写真108, 109）が若い苗木に発生した場合には、個体の枯死に至る（飯塚・舟山、1985）。萎黄叢生病グループでも、枝の枯死がなければ、長大な天狗巣へと発展すると思われる。



写真108 キリ天狗巣病（マイコプラズマ様微生物、Phytoplasma）



写真109 キリ天狗巣病

年に何回も腋芽が伸長し、1年以内に枝の叢生程度が高い典型的な天狗巣を形成する。

*一般社団法人林業薬剤協会

TANAKA Kiyoshi

Melampsorella 属菌（担子菌類）によるモミ類天狗巣病罹病枝（写真110）では、さび孢子形成とともに、針葉が早期落葉を起こす。一方、健全枝の針葉は3年以上樹上に着生する。日光のよく当たる陽冠部の病巣（写真111）は、毎年春に展開する1年生の罹病葉だけで生き続ける〔60年以上の病巣も存在する（Gäumann, 1950）〕が、光



写真110 モミ類天狗巣病（担子菌 *Melampsorella caryophyllacearum*）

モミ類天狗巣病はヨーロッパ、北米、アジアに広く分布する（Boyce, J. B., 1961）。この写真はオーストリア国ザルツブルクのヨーロッパモミ（*Abies alba*）林で撮影。病名（英名）は、Yellow witch's broom と言う。



写真111 トドマツ天狗巣病（担子菌 *Melampsorella caryophyllacearum*）

健全枝の濃い緑色の針葉の中で、罹病枝の黄色い針葉が目立つので、この英名が付いたのだろう。

量が不足する下枝などの病巣では、天狗巣病病巣を支える健全枝は生き残るのに対して、病巣部分だけが枯死して自然治癒していく（写真112）。ここでも、罹病枝の枯死は、枝の叢生（典型的な天狗巣への発展）を阻む方向で働いている（第3章）。

不完全菌類の *Microstroma* 属菌による我が国で知られている天狗巣病は、クルミ類天狗巣病（*Microstroma juglandis*）（写真113, 114, 115, 116, 117）と、カシ・ナラ類天狗巣病（*Microstroma album* var. *japonicum*）の2種である。クルミ類天狗巣病の病巣は枝の叢生程度が低い微弱な天狗巣を形成する。一方、カシ・ナラ類天狗巣病（写真118, 119, 120）は枝の叢生程度が高い典型的な天狗巣を形成する。この二つの天狗巣の違いは、クルミ類天狗巣病の罹病枝は枯死率が高く、寿命はせいぜい3年であるのに比べて、カシ・ナラ類天狗巣病罹病枝の寿命は長く、10年以上、時々、20年を超える場合もあるためである。



写真112 トドマツ天狗巣病

暗い林内では、罹病枝が早期に枯死し、自然治癒していく。



写真113 オニグルミ天狗巣病（不完全菌 *Microstroma juglandis*）の2年生病巣

クルミ類天狗巣病の罹病枝の枯死率は高く、寿命はせいぜい3年。そのため、ケヤマハンノキやウダイカンバの *Taphrina* 属菌による天狗巣と同様な、枝の叢生程度が低い微弱な天狗巣を形成する。



写真115 テウチグルミ白斑病（不完全菌 *Microstroma juglandis*）

テウチグルミの天狗巣は報告されていない。葉の裏面に白色斑点が点在して形成される。そのため、病名は天狗巣病ではなく、白斑病となっている（伊藤一雄 1974）。

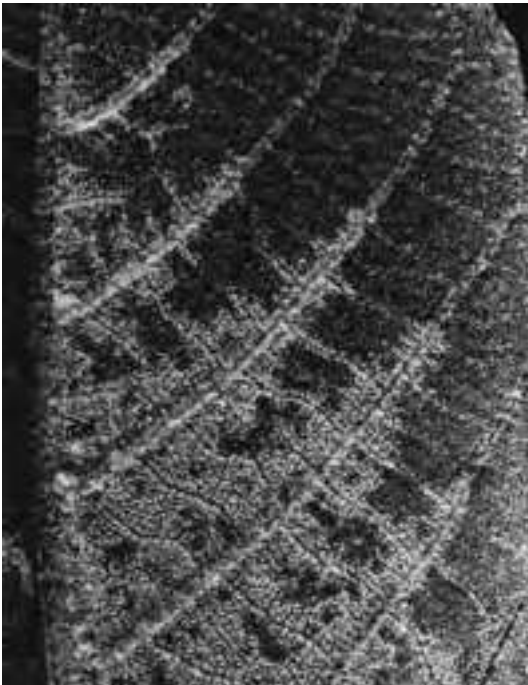


写真114 オニグルミ天狗巣病

菌体（分生子柄と分生子）は葉裏全面に形成される。



写真116 テウチグルミ白斑病の葉裏に形成された菌体菌の分生子柄は葉の裏面の気孔から束状に生じ、分生子柄の先端に卵形の分生子を作る。担子菌類の担子胞子に酷似している。

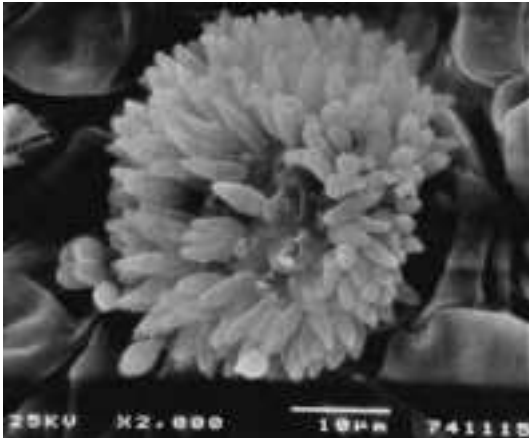


写真117 テウチグルミ白斑病の葉裏に形成された菌体
(走査電子顕微鏡像)



写真119 ミズナラ天狗巣病の1年生一次罹病枝 (D₁₁)
葉の表面を見た写真。Whole shoot infection。



写真118 ミズナラ天狗巣病 (不完全菌 *Microstroma*
album var. *japonicum*)

カシ・ナラ類天狗巣病の罹病枝の枯死率は低く、樹上に長く残存し、叢生程度が高い典型的な天狗巣を形成する。



写真120 ミズナラ天狗巣病の1年生一次罹病枝 (D₁₁)
葉の裏面を見た写真。胞子は葉の全面に形成される。

9-4-4. 枝の叢生と節間短縮との関係

Phytoplasma による天狗巣病罹病枝では、二次、三次伸長枝における節間短縮が顕著で、そのために枝の叢生程度も高くなる (Kusunoki ほか, 1994; Sharma ほか, 1983)。また、節間短縮はウイルスによるカンキツ類の萎縮病でも認められている (山田, 1962)。

篠原 (1965) は、*Aciculosporium* sp. (子のう菌類) によるマダケ天狗巣病罹病枝では、1 年生一次罹病枝 (D₁₁) は著しく徒長し、節間が長くなること、その徒長枝の成長は、秋に一旦停止して、あらためて10月ごろから徒長枝の腋芽が伸長 (二次伸長) することを報告している。この腋芽からの枝はすべて罹病枝になり、節間短縮が起こる。越年した罹病枝は、1 成長期に、2~3 回の分岐を繰り返し、さらに節間短縮が顕著になる。その結果、枝の叢生程度が高い、典型的な天狗巣へと発展する (第2章)、(写真121)。

Taphrina 属菌による天狗巣病罹病枝では、節間短縮はウダイカンバで最も顕著であった。それに次いで、シラカンバ、ダケカンバでも、罹病枝の次数が上がるに従い節間短縮が認められた。これらの樹種では、節間短縮も枝の叢生機構として寄与している (第5章)。

オオヤマザクラ、ソメイヨシノ、ケヤマハンノ



写真121 タケ・ササ類天狗巣病 (子のう菌 *Aciculosporium take*)

キの罹病枝では、枝の長さが健全枝よりも長くなる傾向が強い。そのため、若い天狗巣病病巣では、顕著な節間短縮はない。とくに、ケヤマハンノキでは、節間短縮は枝の叢生にはほとんど寄与していない (第5章)。

9-4-5. 枝の叢生と不定芽形成との関係

「不定芽, adventitious bud」の概念には様々な議論がある (熊沢, 1980)。少なくとも、種子植物では、新規の茎は腋芽である。したがって、それ以外の部位から現れるものは不定芽である (熊沢, 1980)。天狗巣病病巣を構成する多数の枝を、不定芽に由来するとした報文が多い (平塚, 1930; Phillips and Burdekin, 1982; 柄内, 1942)。不定芽と腋芽 (定芽) とが、はっきり分けて認識していなかったためである。

モミ類天狗巣病罹病枝では、こぶの形成が先行し、このこぶの部分に、腋芽あるいは潜伏芽がある場合には、その芽に病原菌が移行して、その刺激で、枝の分枝率が上昇することにより、天狗巣を形成するのであろう (第9章)。

Taphrina 属菌による明らかな不定芽形成による天狗巣は、シダ植物 (*Pteris quadriaurita*, 病原菌 *Taphrina laurencia*) で報告されている (Mix, 1949; Laubert, 1928)。しかし、その他の、木本植物を含む、種子植物の、*Taphrina* 属菌による、多くの天狗病病巣の構成枝は、ほとんどが腋芽由来としてよいと思われる。

Taphrina 属菌以外の原因による木本植物の天狗巣病においても、そのほとんどは、腋芽由来の枝で構成されている。しかし、赤井 (1944) 及び Tubeuf (1897) は、*Caecoma deformans* の寄生によるヒノキ科樹木の天狗巣病 [アスナロ天狗巣病、ヒノキアスナロ (ヒバ) 天狗巣病、クロベ天狗巣病など] の病巣は、不定芽に由来する器官瘻とした (写真122, 123, 124)。

浜 (1982) は、アスナロ天狗巣病の観察を詳細に行い次のことを明らかにした——はじめ1本の

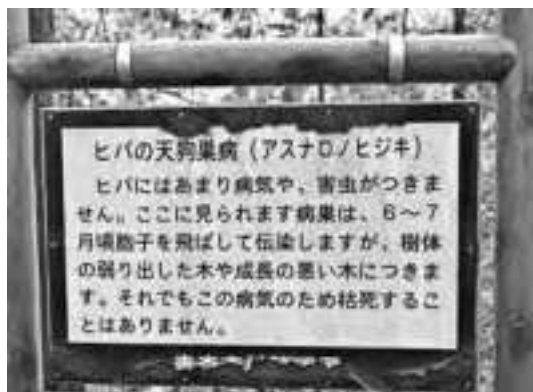


写真122 ヒノキアスナロ（ヒバ）天狗巣病（担子菌・冬孢子世代 *Blastospora betulae*, さび胞子世代 *Caecoma deformans*）の説明板
青森森林管理署管内の眺望山自然休養林のヒノキアスナロ（ヒバ）には、天狗巣病が多発している。



写真123 ヒノキアスナロ（ヒバ）天狗巣病
釘頭状の不定芽が現れ、又状分岐を繰り返し、海藻のヒジキのような入り組んだ集団（天狗巣・器官瘻）を形成する。不定芽の先端が皿状に膨れ、さび胞子を形成する。

異常不定芽を生じるが、その年には分岐しない。翌年二叉になり、その先端は釘頭状菌体となる。この釘頭上菌体を支える枝は枯死し、その下部から不定芽が次々に発生する。そのため、数年後には、多くの枝が分岐したひじき状の典型的な天狗

巣を形成する（写真122, 123）。

この観察結果から、アスナロ天狗巣病は、2年目からの不定芽形成による器官瘻であることが確認された（第9章）。

9-4-6. 枝の叢生と腋芽伸長との関係

白井（1893）は、天狗巣の説明の中で、「腋芽の伸長促進、とくに、不時に新枝を叢生し、その枝から、更に腋芽を発生させる」ことが、枝の叢生理由であるとしている。

この記述は、Phytoplasmaによる萎黄叢生病グループの枝の叢生機構を述べたもの（Hibben, 1986; Holmesほか, 1982; Rajuほか, 1983; Sharmaほか, 1983）と考えると、ぴったり当てはまる。1年以内に、二次、三次伸長枝を形成する、これらの疾病では、「不時に新枝を叢生し」、1年以内に天狗巣を形成する。

また、不定芽を起源とする、ヒノキアスナロなどの天狗巣病罹病枝における器官瘻形成、及び、マダケ天狗巣病の越冬罹病枝における、二次、三次枝の形成（篠原 1965）も、「不時に新枝を叢生し」と言えるであろう。

ところが、*Taphrina* 属菌による天狗巣病の罹病枝では、ほとんどが、分枝は1年に1回であることを、第2章で明らかにした。これらのグループの天狗巣病病巣における枝の叢生機構には、頂部優勢の弱化による枝の下部からの長枝形成数増（分枝率の増加）の寄与率が高く（第7章）、さらに、枝の枯れ下がりによる枝基部からの枝の伸長や、節間短縮が、枝の叢生機構に加わる（第3章、第5章）。

温帯に生育する樹木は、1年に1回伸長し、越冬という長い休眠期を有するのは、枝の上部からのホルモンの支配により、腋芽の伸長が抑制されている（頂部支配）からである（畑野・佐々木, 1987）。1年以内に、腋芽が次々と展開し、二次、三次伸長枝が形成される萎黄叢生病グループの罹病枝では、頂部の支配が全く行われていないこと



写真124 ヒノキアスナロ (ヒバ) 天狗巣病
中間宿主はカンバ (*Betula*) 類。

を示している。

9-4-7. 斜行枝から直立枝への変換

側枝に生じた天狗巣病の罹病枝には、明らかな背地性があり、それぞれ独立して、リーダー (頂端の枝) になろうとする性質がある (Rathay, 1881; Tubeuf, 1897)。写真125はトドマツ天狗巣病の病巣である。側枝から生じた天狗巣が、枝性を保とうとする頂部の支配から脱して、頂端のリーダーになろうとしていることがよく分かる。

[直立している枝のまわりの葉は、立体的にあらゆる方向に、葉を配置していることが多いが、斜めに位置している枝の葉は、葉身を日の光の来る方向にそろって向けていることが多い。前者の枝を「直立枝 orthotropic shoot」、後者の枝を「斜行枝 plagiotropic shoot」と呼ぶ。大きな樹木では、斜行枝の形が極端なものも多く、挿し木、接ぎ木により、直立枝を持つ形のいい苗木を育てようとしても、斜行枝の性質 (枝性) がなかなかとれないために、苦労することがある (原, 1981)]。Abies 属樹木は、リーダーが折損などによりなくなっても、その下の腋芽から出た枝は、斜行枝と



写真125 トドマツ天狗巣病の2年生病巣
側枝に生じた病巣で、すべての罹病枝は側枝としての性質を捨て、頂端枝 (リーダー) のような上長生長を示す。

しての性質を強く保ち続ける傾向が強い (Worrall, 1984)。樹木の樹冠を構成する枝は、直立枝になるか斜行枝になるのが、頂部からの支配で決定されている。頂部優勢のきびしさの度合いにより、それぞれの樹種に固有の樹形ができあがる (Brown, 1967; 原, 1981; 近藤, 1985)。

写真125のトドマツ天狗巣病病巣は、斜行枝が直立枝 (リーダー) に変換したもので、天狗巣病病巣は頂部優勢の支配から逸脱して成長していると理解できる。斜行枝から直立枝への変換は、各種の天狗巣を構成する枝に、共通の特徴と言えるが、枝の叢生とは直接結びつかない。

9-4-8. 枝の叢生機構のまとめ

天狗巣病病巣における枝の叢生機構を次の5項目に分けることができる。

- ① 不定芽形成
- ② 節間短縮
- ③ こぶ形成
- ④ 枝の枯れ下がりの繰り返し

⑤ 頂部優勢の弱化による枝下部からの長枝形成数増（分枝率の上昇）

①の不定芽形成による天狗巣はその数が少なく、天狗巣としては例外的なものである（第2章）。

②の節間短縮は、ケヤマハンノキの天狗巣など、徒長傾向が強い樹種の場合には、直接枝の叢生には結びつかない（第5章）。

③のこぶの形成は天狗巣病病巣に付随する現象である場合が多い。しかし、天狗巣形成に不可欠な要素ではない。

④の枝の枯れ下がりへの繰り返しは、枝の枯死率が高い場合には、かえって枝の叢生を阻むことがある（第3章）。

⑤の頂部優勢の弱化による枝下部からの長枝形成数増は木本植物の天狗巣病全般に最も多い。Phytoplasmaによる天狗巣病病巣の枝の叢生機構は二次及び三次伸長枝の形成であるが、すでに述べたように、この二次及び三次伸長枝の形成も、頂部優勢の弱化に帰着できる。斜行枝の直立枝への変換も、頂部優勢の弱化で説明が可能である（第7章）。

9-5. 新しい天狗巣の定義

以上に述べたことをまとめると、天狗巣の新しい定義を、思い切って単純化し、次のように定めることとする。

「健全枝と比較して、頂部優勢の弱化による枝下部からの長枝形成数増がある場合は、これをすべて、天狗巣という」。

この定義にはいくつかの注釈が必要である。

①頂部優勢の弱化による長枝形成数増があるかどうかの判定は、健全枝の頂部優勢と比べて、という点が重要である。ウダイカンバの罹病枝の単位長（10cm）当たりの長枝形成数は、1.5本であった。健全枝の0.6本と比べると、この値は2.5倍という高い数値で、枝数の増加傾向を示している。

ダケカンバの天狗巣病病巣における枝数の増加率よりも高く、最も枝の叢生程度が高い典型的な天狗巣を形成するシラカンバとほぼ同じである。ところが、シラカンバとダケカンバの健全枝の単位長（10cm）当たりの長枝形成数は1.5本と、ウダイカンバの罹病枝と同じ値であった。すなわち、シラカンバやダケカンバの健全枝の枝の増加傾向と、ウダイカンバの天狗巣病病巣の枝の増加傾向は同じであることが分かる。樹種を混ぜた比較では、ウダイカンバの天狗巣病病巣が枝数が増加していると判定することは困難な場合がある。同一樹種の健全枝と罹病枝を比較して、下部からの長枝形成数増を見きわめる必要がある（第7章、図7・1～7・6）。

②枝に機械的な折損が生じた場合にも、枝下部の芽が活動を開始して、複数の枝に伸長することがある。二度三度と繰り返し折損が起こった場合には、枝が叢生するが、この場合は、天狗巣とはいわないこととする。Taphrina属菌による天狗巣病罹病枝では、枝上部の長枝形成数は健全枝と大きな差がなかった（第7章、図7・1～7・6）。また、Taphrina属菌以外の原因による天狗巣病罹病枝においても、枝上部の長枝形成数は、健全枝とほぼ同じである。親枝1本当たりの分枝率の上昇は、枝下部の長枝形成数増がになっている。したがって、天狗巣病罹病枝では、枝の枯れ下がりがなければ、さらに、叢生程度の高い典型的な天狗巣へと進むことが予測され、枝下部だけの枝数増がある、機械的な折損とは異なるものと考えられる（第7章、図7・1～7・6）。

また、枝枯れ性病害の場合も、枝下部からの芽の伸長がおり、外見上は箒状を呈し、天狗巣と見分けが難しいが、これは真の天狗巣ではない（Piece, 1962）。カラマツ先枯病の病患部（写真126）も、箒状を呈するが、枝上部の枯死の繰り返しにすぎないので、枝の機械的な折損と同じグループで、天狗巣とは別のグループと考えたい。

③花・葉・根などの、枝以外の器官が叢生する



写真126 カラマツ先枯病の病徴 (子のう菌 *Botryosphaeria laricina*)

当年生枝が侵され枯死すると、翌年、生き残った部位から新枝が多数生じる。被害が年々繰り返されると、枝数が増え、筈状になる。

場合には、この定義の中の「枝」を、それぞれの器官名と入れ替えることで、応用が可能である。



写真127 マツに寄生する矮性ヤドリギ (高等植物 *Arceuthobium americanum*)

④「頂部優勢の弱化による長枝形成数の増加」は、Phytoplasma による1年生植物にも、矛盾なく、あてはまる定義である。また、高等植物 (Dwarf mistletoe ; わい性ヤドリギ) による天狗巢形成 (写真127) の叢生機構 (Anderson and Kaufert, 1959; Tinnin, 1980) にも共通する。

Taphrina 属菌による広葉樹の天狗巢は、多年生の天狗巢であって、1年1回の分枝を整然と繰り返す。しかし、この分枝率が健全枝よりも高いために、枝がゆっくり叢生へと向かう、極めてシンプルな天狗巢であると結論できる。

(つづく)

シドウィア菌を用いたスギ花粉飛散防止剤の 開発と実用化に向けた取り組み

高橋由紀子^{1*}・窪野高德¹・鳥居正人¹・秋庭満輝¹・
升屋勇人¹・滝久智²・倉本恵生³・五十嵐哲也³・服部力⁴

はじめに

日本は国土面積の7割に当たる2,505万 ha が森林であり、そのうちの2割に当たる444万 ha はスギ人工林である（林野庁 2017）。都道府県別のスギ人工林面積は最も小さい沖縄県の0.02万 ha から最も大きい秋田県の36.6万 ha と、地域によってさまざまであるが、昭和30～40年代後半（1970年代）の拡大造林期に植栽されたスギは、既に50年生を超えて伐期を迎えている。スギは通常20～30年生で雄花を形成し、花粉を飛散させるようになる（橋詰 1980, Nagao 1989）。現在20年生（4齢級）を過ぎたスギ人工林が97%を占め、これらが今日のスギ花粉の発生源となっている。

日本国内でスギ花粉症が最初に報告されたのは1964年（堀口・斎藤 1964）であるが、以来、スギ花粉症の全国平均有症率は1998年に16.2%、2008年に26.5%、2019年に38.8%と、年々増加している（馬場・中江 2008, 松原ら 2020）。2019年の花粉症を含むアレルギー性鼻炎全体の有症率は49.2%（松原ら 2020）であるが、それに係る医療費は保険診療で3,600億円（2019年）、市販薬で392億円（2022年）掛かったと推計されている（厚生労働省 2023）。年間の国民医療費の1%近く（厚生労働省 2022）がスギ花粉症によって失われているだけでなく、生活の質の低下や社会活動へ

の影響等の損失も大きく、社会問題として対策が急がれている（内閣官房 2023）。

花粉発生源対策として林野庁は、伐期を迎えたスギ人工林の伐採・利用を進めるとともに、伐採跡地への少花粉品種の苗木の植栽や広葉樹の導入を進めている（林野庁 2016）。しかしながら、利用期を迎えたスギ人工林が57%を占める中、林業従事者の減少と高齢化が進んでおり、伐採や植え替えに掛かる労働力の確保や、スギの需要の創出、少花粉苗木の生産量の拡大が課題となっている。このような中、即効性のある花粉症対策として、スギ花粉の飛散を抑える「スギ花粉飛散防止剤（以下防止剤）」の開発が進められてきた（高橋ら 2022）。防止剤は、自然界に存在するスギ雄花に寄生する糸状菌の一種である *Sydowia japonica*（シドウィア菌）（図1）を用いて、雄花を短期間で枯死させる、微生物農薬である。本稿では、シドウィア菌を利用したスギ花粉飛散抑制技術について、開発の経緯とスギ花粉飛散抑制効果につ



図1. シドウィア菌に自然感染したスギ雄花序

* 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
TAKAHASHI Yukiko

1 きのこと・森林微生物研究領域 2 森林昆虫研究領域
3 森林植生研究領域 4 研究ディレクター

いて概説するとともに、散布技術の開発と、その過程でこれまでに実施した安全性評価に関する調査について紹介する。

スギ花粉飛散防止剤の開発

スギ花粉飛散防止剤に使用されているシドウィア菌は、1917年に笠井によってスギ黒点病の病原菌 *Leptosphaerulina japonica* として最初に報告された（笠井 1917）。同菌は2006年に五十嵐らによって福島県西会津町のスギ人工林内で再発見され（五十嵐ら 2006）、その後の分類学的検討の結果、*Sydowia* 属に転属された（Hirooka et al. 2013a）。同菌を用いた人工接種により、同菌は枝葉には病徴を起さず、専ら雄花を侵し枯死させることが明らかになった（Hirooka et al. 2013b）。同様にスギ雄花を侵す菌類としてスギ黒点枝枯病菌 *Stromatinia cryptomeriae* が知られているが、スギ黒点枝枯病菌は、小枝先端部または雄花を着生した雄花序枝を侵し、感染が慢性化した場合は成長を著しく阻害する（窪野 2021）ことから、防止剤の候補からは除外され、シドウィア菌が微生物農薬の候補として選抜された。

2010年から、シドウィア菌を用いた微生物農薬の開発が本格的に開始され、菌の胞子を効率的に増殖させるための培養法が検討された。ポテトデキストロース培地、麦芽エキス培地、ツァベック-ドックス培地の3種類の液体培地を用いて振とう培養した結果、ツァベック-ドックス培地で出芽胞子が多数形成された。さらに窒素源として酵母エキスを添加し、それぞれの濃度を変えて様々なC/N比の条件で培養し、最適な培養条件を検討した結果、1週間で 10^8 個/mLの分生子を培養することが可能になった（Masuya et al. 2013）。

この培養胞子を用いて雄花へ噴霧接種したところ、水に懸濁しただけの胞子液では病徴が再現されなかった。これは、スギ雄花の表面がワックス質であるため、胞子懸濁液をはじいてしまうことと、雄花上で胞子液が乾燥し、活性を失うため

あると考えられた。そこで、分生子の乾燥を防ぎ、雄花への付着性を向上させる添加剤を検討した。展着剤として登録のある農薬4種と界面活性剤2種、大豆油、大豆レシチン（乳化剤）、アルギン酸ナトリウム（増粘剤・乳化剤）、カルボキシメチルセルロース（増粘剤・乳化剤）を用いて耐乾性試験を行った結果、水だけでは分生子の生存日数は3日程度であったが、大豆油を加えた胞子液では7日間生存し、さらに、大豆油に大豆レシチンを添加し乳化させた胞子液では18日以上生存し、最終的には40日後も菌糸成長と分生子発芽ともに高い活性が維持された（窪野 2014; 高橋 2020）。最終的に、 10^6 個/mLの原体（分生子）に大豆油と大豆レシチンを乳化剤として添加したものを「スギ花粉飛散抑制剤」として2014年に特許を取得した（特許第5558759）。

この防止剤の最適な散布時期と地域適応性を検討するために、福島、茨城、石川、静岡、熊本の5カ所で、9月～12月にかけて1週間おきに散布試験を行い、雄花の枯死率が最も高い時期を調査した。スギ雄花は通常、7月から形成され始め、花粉母細胞から四分細胞を経て成熟した小胞子が形成されるが、接種の結果、小胞子期に入った10月中旬ごろから徐々に雄花の枯死率が高まり、ピーク時の10月下旬～11月にかけては枝レベルで8割以上の雄花が枯死した。地域別では、散布試験を実施した5カ所すべて雄花の枯死が認められ、福島、茨城、石川、熊本では11月、静岡では12月の散布で、最も枯死率が高かった。シドウィア菌の菌糸伸長は気温が5℃以下で低下するため（Masuya et al. 2013）、静岡以外の地域では気温が低い12月以降は菌の感染率は低下した。地域差を考慮すると、10月下旬～11月ごろが防止剤の最適な散布時期であると考えられた。

これまでの試験では、枝単位の接種で「雄花序が滴る程度」の十分量の液量を付着させることで最適な効果を発揮してきたが、防止剤の実用化に向けて、枝単位の散布からスギ成木単位、さらに

はスギ林単位へとスケールを拡大する必要がある。散布規模が拡大すれば必要な液量も増加するため、最小限の量で十分な効果が得られる条件を決定する必要がある。これまでの接種試験で、10～100個の雄花序が形成されている枝1本に対し、100mL程度の防止剤をハンドスプレー散布することで、枝全体が滴る程度に付着させることができることが分かった。これに基づき11月に枝単位で100mLまたは50mLの防止剤を散布し、その枯死率を調査した結果、100mL散布により枝単位で88%、50mL散布でも79%の雄花を枯死させることができた(森林総合研究所 2017)。さらに枝単位の防止剤散布による花粉飛散抑制効果を検証するために、11月及び12月に散布した処理枝と無処理の枝をそれぞれ開花時期(翌年2月)に採取して、グラシン紙で袋掛けして水差し栽培し、産生した花粉量を比較した。その結果、11月散布では90%以上、12月散布では25～75%の雄花が枯死し、産生した花粉量は、11月散布は無処理の枝の3%程度、12月散布は無処理の枝の17%程度に止まり、8～9割の花粉の飛散を抑制することができた(森林総合研究所 2017)。

このようにして、本防止剤をハンドスプレーによって散布することにより、枝レベルで8割の雄花を枯死させることから、高い花粉飛散抑制効果が期待できることが明らかになった。さらに改良を重ね、コストを抑えながらも調査時に水に混ざりやすい新しい乳化剤(新剤)の開発を進めている。

散布技術の開発

通常スギ雄花は、日当たりのよい樹冠頂部や林縁部に形成されるため、樹冠の上部に届くように散布する必要があるが、開発段階で枝単位の雄花に対する散布と効果検証に用いてきたハンドスプレーでは散布できる高さに限界がある。防止剤の散布対象を公園や社寺林などのスギ成木の単木単位から小面積の林分単位と想定すると、手動式の

散布装置よりもエンジン式や電動式の動力噴霧器を用いての散布が効率的である。高い位置に形成される雄花に対しては、エンジン式背負動力噴霧器で直射状に散布液を噴射できる鉄砲ノズル(ガンノズル)を用いることで、樹高10mの枝にも散布が可能である。

さらに樹高の高いスギに対しては、無人ヘリコプターによる空中散布が効果的であるが、水稻の害虫防除や松くい虫(マツ枯れ)防除に使用される、一般用の液剤散布ノズルは、防止剤の散布には適さない。通常の液剤散布は、霧状の薬剤を主翼の下向きの風(ダウンウォッシュ)によって、植物体全体に吹き付ける形で散布するが、防止剤の場合はこのダウンウォッシュによる風圧によって雄花に付着した散布液が落下してしまい、最適な散布効果が得られる「雄花序から液剤が滴る程度」の液量を付着させることができない。このため、ノズルを主翼の外側まで延伸させ、粒径の大きい液を扇形に吐出させるノズルを採用した防止剤散布専用の散布装置を開発した。これを用いて、林縁部の雄花に対して側面から無人ヘリコプターによる空中散布を行い(図2)、その効果を調査した結果、処理区全体で平均2～7割の雄花を枯死させることができた。その一方で、スケールを個体(単木)レベルまで上げると、日当たりや枝ぶりの違いによって雄花のつき方が不均一で、防止剤の付着ムラが生じやすいため、枝ごとの枯死率がかなり大きくばらついた(森林総合研究所 2017)。また、樹冠頂部の雄花に対して上方



図2. シドウィア菌を用いたスギ花粉飛散防止剤の無人ヘリコプター側面散布試験

からの空中散布（樹上散布）を行ったところ、側面散布では回避できていたダウンウォッシュの影響が樹上散布では回避できず、散布量を多くしても林床に落下する量が多くなり、十分な液量が付着せず、枯死率は1割に満たなかった。このため、無人ヘリコプターによる空中散布は、単木や林縁部でのスギの側面への施用の際に選択するのが適当と言える。

より広い面積への散布については、有人ヘリコプターによる空中散布が効果的である。山林への有人ヘリコプターによる空中散布は、松くい虫防除や野鼠駆除、その他播種、施肥等が実施されているが、スギの樹冠頂部への薬剤散布は前例がない（農林水産省 2023）。そこで、2017年から、松くい虫防除の空中散布法を参考にして、防止剤の空中散布技術の開発を開始した。松くい虫防除の場合、有人ヘリコプターによる空中散布は、通常6月～7月に実施される薬剤散布は、ブームスプレーヤーによるスプレー散布が行われている。10月から3月に実施される松くい虫の緊急防除では、ガンノズルによる単木へのスポット散布が行われている。スプレー散布は広い面積への効率的な散布が可能である点、また、ガンノズル散布は十分な薬液を対象木に付着させることができるといふ点でそれぞれ優れている。

防止剤散布については、有人ヘリコプターによる散布においても、雄花に滴る程度の薬液を付着させる必要がある。そのため、粒径の大きい液滴を吐出させることが望ましい。また、無人ヘリコプター散布でと同様にダウンウォッシュの影響を最小限にする必要がある。ダウンウォッシュを回避するために飛行高度を上げると、風圧による樹冠の揺れが小さくなる一方で、周辺への防止剤の拡散（ドリフト）が発生しやすくなり、対象エリア外に液剤が飛散する恐れがある。一般に農薬のドリフトの発生要因として、散布時の粒径、散布高度、風向、ブームスパン（散布装置のブームの長さ）、粒子のやせ細り、散布液の物理性、及び

散布速度があげられている（與語 2005）。そこで、液剤の物性以外で変更可能な、ノズル径と散布高度、ブームスパン、散布速度を変数として、最適となる散布条件を検討した。通常松くい虫防除で使用されるノズルよりも大きい粒子の吐出を可能とするスプレーノズルとガンノズルを使用して、飛行高度（散布対象とする樹冠頂部からの高度）、飛行速度、ブームスパンにおけるノズル数の各条件を変えて散布試験を行い、液剤の落下量と有効散布幅、ドリフトの飛散量と飛散距離を調査するとともに、スギ樹冠頂部の枝に雄花を模した調査紙を設置して枝への付着量を調査した。その結果、ダウンウォッシュの影響及びドリフトを最小にし、効率的に雄花に液剤を付着させる条件を明らかにすることができた。雄花序枝への付着量は、1回から数回の通過飛行では量が不十分であったが、複数回往復し重ね撒き散布すること十分量付着させることができた。

最適散布条件のもと、2022年11月に森林総合研究所千代田苗畑（茨城県かすみがうら市）に設置した試験区に散布し（図3）、雄花への付着量と雄花の枯死率、並びに雄花当たりの花粉産生量を調査した。その結果、開花前の雄花の平均感染率は5割であった。また、水差し栽培して花粉量を測定した結果、防止剤を散布しなかった無処理の雄花と比較すると5割弱の花粉量が減少した。自然界において、シドウィア菌は日本海側地域を中心に分布しており、冬季に雪が多く湿度の高い地域を好むと考えられるが、このような地域では感



図3. シドウィア菌を用いたスギ花粉飛散防止剤の有人ヘリコプター散布試験

染率は2割程度である。今回の散布試験は、冬季に乾燥した気候となる太平洋側地域に位置する千代田苗畑で実施したが、防止剤散布によって自然条件下のシドウィア菌の感染率を上回る効果を示したと言える。

防止剤散布の安全性評価

「微生物農薬の登録申請に係る安全性評価に関する試験成績の取扱いについて（平成9年8月29日付け農産第5090号農林水産省農産園芸局長通知）」に示される安全性評価の規定に基づき、防止剤の安全性について調査を行った。ヒトに対する安全性を評価するための実験動物を用いた試験のうち、散布した際に暴露した場合を想定した気道投与と、最も反応がドラスティックであると推定される体内への直接投与の簡易安全性試験をそれぞれ実施した。実験動物（ラット）を用いて、農薬微生物（原体）の体内における生残状況以外の、一般症状と死亡率、体重変化、病理的变化の項目について、農薬GLP基準に適合する試験施設を有する外部の受託機関を通じて、単回経気道投与試験と単回静脈内投与試験を実施した。その結果、いずれの試験でも、試験個体には外見上の異常は認められなかった。投与群の病理組織学的検査の結果、防止剤原体の急性暴露時の毒性はないかあっても弱く、防止剤を空中散布したとしても人体への影響はほぼないと考えられた。

環境生物への影響は、特に森林内とその周辺で栽培される植物種として果樹を含む樹木類10種と野菜類12種について、農薬登録で実施される安全性評価試験の試験方法に則り、森林総合研究所実験林及び第二樹木園（茨城県つくば市）において、暴露試験を実施した。検討した全樹木種及び全野菜類について、防止剤あるいは原体を含まない乳剤のみの散布による明らかな外観的变化や収量の低下、冬芽の開芽率の低下、発生新梢数の低下といった負の影響は認められなかった。このことから、これらの植物種の生育に対する防止剤散布

の影響はほぼないと考えられた。これらの試験における暴露量は、有人ヘリコプター散布の場合で散布エリアから10～15m程度離れた場所におけるドリフト量に相当する。したがって防止剤の散布が農作物等に与える影響は無視できるものと考えられる。

防止剤の散布による森林生態系への影響を調査するために、森林総合研究所実験林（茨城県つくば市）、森林総合研究所千代田苗畑（茨城県かすみがうら市）および塩那森林管理署大室国有林（栃木県那珂川町）に試験地を設置した。

昆虫類への影響評価では、大室国有林内の散布処理区と無処理区において、散布前の2018年と散布後の2019年の毎年5月～10月に、3種類のトラップ（フライトインターセプトトラップ（FIT）、黒色及び黄色の誘因式衝突式トラップ（サンケイ化学製））をそれぞれ異なる高さに3基ずつ設置し、1か月毎に採集された試料を回収した。得られた試料のうち、種数が多く、樹木を含め植物食や捕食者など生態的機能がわかっている種を多く含むコウチュウ目をのうち、カミキリムシ科、コガネムシ科、クワガタムシ科、オサムシ科について、個体数と種数を計数した。2年間の採集で、カミキリムシ科30種、コガネムシ科19種、クワガタムシ科3種、オサムシ科19種、計71種1,200個体が得られた。林分と年との交互作用について解析した結果、いずれの分類群においても防止剤散布による影響は示されなかった。

林床植生への影響評価では、大室国有林内の散布処理区と無処理区において林縁と林内に方形区をそれぞれ3箇所設置し、散布前年と散布後の3年間の毎年7月～8月に、出現した植物種と、優占度の高い種の被覆率と高さを記録した。その他、林床植生全体の被覆率と最大高、平均高、方形区以外に出現した植物種を記録した。植被率は試験区（林分）間でも林縁と林内の間でも差はなく、散布後年数による差もなかった。植生高は優占する種類によって差があり、また、光環境がよ

り明るい林縁では林内よりやや高かった。出現種数・種構成ともに散布後年数による差はなかった。

林床の土壤微生物群集への影響評価では、実験林、千代田苗畑および大室国有林の各試験区に方形区を設置し、条件を変えて防止剤または菌なしの乳剤を散布し、無処理の区と合わせて、散布前と散布後に表層土壌を採取した。土壌から菌体DNAを抽出し、rDNA ITS領域の塩基配列に基づく環境DNA解析を行った。シドウィア菌が含まれるDothidealesドチデア目は、散布区/無処理区の区別なく出現したが、出現頻度は0.5%未満であった。散布直後であっても土壌からほとんど検出されなかったことから、土壌中に降下したシドウィア菌の菌体量は、検出限界以下の量であると考えられた。処理区及び無処理区の土壌中の菌類群集は、防止剤散布前の時点で処理区間の群集組成が異なり、散布処理前後の組成の違いよりも採取場所や採集時期による種組成のばらつきが大きく、処理の差としては検出されなかった。土壌中の菌類組成は、季節変動がある(Voříškováら2017)ことが知られており、これらの土壤菌類群集の種組成の変化は、場所や季節の違いによる差であり、散布による影響ではないと考えられた。

栽培きのこの影響評価では、大室国有林内の散布処理区と無処理区において、11月の有人ヘリコプターによる散布前にシイタケほだ木を設置し、散布後の11月～1月にかけて子実体の発生を調査した。その結果、防止剤に暴露したすべてのほだ木にシイタケの子実体の原基あるいは成熟した子実体が発生した。処理の違いで子実体の発生に違いがみられなかったことから、防止剤の栽培シイタケへの影響はほぼないと考えられた。

今後の展望

2004年にスギ花粉飛散防止剤の候補微生物の探索が始まり、2006年のシドウィア菌の再発見を経

て、2010年から本格的に研究を開始したシドウィア菌の防止剤は、培養法の検討と製剤化(2010年～)、動力噴霧機による地上散布法と無人ヘリコプターによる空中散布法の開発(2014年～)、有人ヘリコプターによる空中散布法と(2017年～)、今回紹介しきれなかった防止剤原体の大量培養技術の開発(2018年～)を経て、現段階ではスギ花粉飛散抑制技術としておおむね確立しつつある。

防止剤の実用化に向けて、農薬登録の取得が必要である。これについては、登録に必要なデータ収集や費用の面、収益性の面で課題がある。また、農薬登録されて実際に散布が可能になっても、糸状菌を撒くことに対する抵抗感や反発など、ネガティブな印象が普及の弊害になることも予想されるが、シドウィア菌は2020年7月までに35道府県で確認され(高橋2020)、日本国内に広く分布しているとも推定される(Masuya et al. 2018)ありふれた菌で、民家のすぐ近くのスギ枝から見つかることもある。また、成木1本に形成されたほとんどすべての雄花に自然感染しているケースもあるが、自然界でもこれまでの接種試験でも、シドウィア菌はスギ雄花以外に症状を引き起こしたり、他の植物に感染したりしてはいない。生きた微生物を扱う以上、環境条件の違いにより効果にばらつきが出たり、化学農薬よりも多くの液量が必要としたり、微生物農薬特有の不得手な面があることは否定できないが、防止剤を含む微生物農薬は効果の対象範囲が化学農薬に比べて狭いため、他の生物への影響が小さく、また残留性や毒性も低いという点で優れた側面を持つ。

スギ花粉飛散防止剤としては、シドウィア菌以外にも、植物成長阻害剤のマレイン酸ヒドラジドコリン塩(橋詰・山本1992)、ジベレリン生合成阻害剤のウニコナゾールP(篠原ら2001)やトリネキサバックエチル(スサーノマックス液剤)(西川ら2008)、脂肪酸のトリオレイン酸ソルビタン乳剤(パルカット)(小塩・平塚2016)等の様々なものが開発されている。これらは、作用機

作、施用時期、環境への影響、散布時期に違いがあり、野外でどのように運用するかについては様々な検証が必要であろう。シドウィア菌の防止剤はこれらの施用時期とは異なる時期に散布するため、種々のスギ花粉飛散防止剤を組み合わせる使用の場合は、全体としては使用できる期間が長くなる。これらを組み合わせ、互いの長所と短所を補い合うことができれば、総合的なスギ花粉症対策につながる可能性がある。

引用文献

- 馬場廣太郎・中江公裕 (2008) 鼻アレルギーの全国疫学調査2008 (1998年との比較) —耳鼻咽喉科医とその家族を対象として—. *Progress in Medicine* 28: 145-156
- 橋詰隼人 (1980) スギの開花と結実. *遺伝*34: 4-10
- 橋詰隼人・山本福壽 (1992) マレイン酸ヒドラジドコリン塩 (エルノー) によるスギ雄花の着花抑制. *鳥取大学農学部演習林研究報告* 21: 51-61
- Hirooka Y.・Masuya H.・Akiba M.・Kubono T. (2013a) *Sydowia japonica*, a new name for *Leptosphaerulina japonica* based on morphological and molecular data. *Mycological Progress* 12: 173-183
- Hirooka Y.・Akiba M.・Ichihara Y.ら (2013b) A novel approach of preventing Japanese cedar pollen dispersal that is the cause of Japanese cedar pollinosis (JCP) using pollen-specific fungal infection. *PLoS One* 8: e62875
- 堀口申作・斎藤洋三 (1964) 栃木県日光地方におけるスギ花粉症 Japanese Cedar Pollinosis の発見. *アレルギー* 13: 16-18, 74-75
- 五十嵐正徳・平英彰・吉田雄・窪野高徳 (2006) 不完全菌類に侵されたスギ雄花の開花障害. *日本花粉学会第47回大会講演要旨集*: pp P 4
- 笠井幹夫 (1917) 杉苗の菌核病及杉樹の黒点病菌. *病虫害雑誌* 4: 23-28
- 窪野高徳 (2014) 菌類を活用したスギ花粉飛散防止法の実用化に向けて. *山林* 1565: 56-62
- 窪野高徳 (2021) スギ黒点枝枯病. (森林総合研究所きのこ・森林微生物研究領域編) 樹木病害ハンドブック. 奥村印刷, 東京, pp 15
- 厚生労働省 (2023) 花粉症対策 (厚生労働省). <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kafun/dail/02siryo2.pdf> (閲覧日: 2023年5月1日)
- 厚生労働省 (2022) 令和2 (2020) 年度国民医療費の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/20/dl/data.pdf> (閲覧日: 2023年5月1日)
- 小塩海平・平塚理恵 (2016) トリオレイン酸ソルビタン乳液 (パルカット) を用いたスギ花粉形成抑制技術の確立. *アレルギーの臨床*36: 67-69
- Masuya H.・Hirooka Y.・Akiba M.・Kubono T. (2013) Mass production of conidia of *Sydowia japonica*, a candidate of male-strobilus specific biocontrol agent for preventing the pollen dispersal of *Cryptomeria japonica*. *Bulletin of FFFPRI*. 12: 165-170
- Masuya H.・Ichihara Y.・Aikawa T.・Takahashi Y.・Kubono T. (2018) Predicted potential distribution of *Sydowia japonica* in Japan. *Mycoscience* 59: 392-396
- 松原篤・坂下雅文・後藤穰ら (2020) 鼻アレルギーの全国疫学調査2019 (1998年, 2008年との比較): 速報—耳鼻咽喉科医およびその家族を対象として. *日本耳鼻咽喉科学会会報* 123: 485-490
- Nagao A.・Sasaki, S.・Pharis, R. P. (1989) *Cryptomeria japonica*. In *CRC handbook of flowering*, Halevy, A. H. (ed.), pp.247-269
- 内閣官房 (2023) 花粉症に関する関係閣僚会議 (第1回) 議事要旨. <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kafun/dail/gijiyousi.pdf> (閲覧日: 2023年5月26日)
- 西川浩己・久保満佐子・入月浩之 (2008) ジベレリン合成阻害剤トリネキサバックエチルによるスギ雄花の着花抑制. *山梨県森林総合研究所研究報告*27: 1-7
- 農林水産省 (2023) 農薬等空中散布の実施状況の推移 (H26～R3年度) https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_kouku_zigyo/attach/pdf/index-9.pdf (閲覧日: 2023年7月6日)
- 林野庁 (2017) 森林資源の現況 (平成29年3月31日現在). <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/index.html> (閲覧日: 2023年5月1日)
- 林野庁 (2016) 花粉発生源対策について. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/pdf/1604074.pdf> (閲覧日: 2016年4月7日)
- 篠原健司・清野嘉之・伊勢崎知弘・長尾精文 (2001) スギ花粉発生源の抑制技術. *アレルギーの臨床* 273: 215-219
- 森林総合研究所 (2017) スギ花粉症対策に向けた新技

術—菌類を活用して花粉の飛散を抑える—. 国立研究開発法人森林総合研究所第4期中長期計画成果7 (森林管理技術-6)

高橋由紀子 (2020) 菌類を利用したスギ花粉飛散抑制技術. 生物資源 14: 14-24

高橋由紀子・窪野高德・升屋勇人ら (2022) スギ花粉飛散防止剤の空中散布技術を開発. 森林総合研究所令和4年度研究成果選集 2022: 28-29

Voříšková J. · Brabcová V. · Cajthaml T. · Baldrian P.

(2017) Seasonal dynamics of fungal communities in a temperate oak forest soil. *New Phytologist* 20: 269-278

與語靖洋 (2005) 農薬散布時のドリフト. (農業環境技術研究所 編) 平成17年度革新的農業技術習得研修「高度先端技術研修」資料, pp75-81 <https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/inovlec2005/2-2.pdf>



鹿児島県における樹木の病虫害

—最近の診断履歴から—

川口エリ子・米森正悟*

筆者が所属する鹿児島県森林技術総合センターでは、樹木の病虫害に関する診断を行っており、2022年度は約90件の診断依頼があった。診断依頼は、県や市町村、林業関係者のほか、公園・施設管理者、造園業者、個人からも寄せられている。本稿では、これらの診断履歴から鹿児島県における最近の樹木の病虫害発生状況を紹介する。

スギ

最近では再生林の増加によりスギの植栽が増えており、これに伴い、スギの育苗中や植栽後の被害についての診断依頼が多く寄せられるようになった。育苗中の被害では、スギマルカイガラムシ(写真1)の吸汁による葉の黄変や、スギエダシヤクによる針葉の食害があった。また、夏季に挿し木したコンテナ苗が枯れる事例があり、枯れた葉からはベスタロチアが検出された。スギ苗木の代表的かつ深刻な病害であるスギ赤枯病は、最近他県での発生があり(安藤・升屋 2020)警戒をしているが、今のところ当県での被害は確認されてい

ない。

植栽地では、コガネムシ類の幼虫による根切り被害が散見されるほか、稀な事例ではトウモロコシなどの害虫として知られるアワノメイガによるスギ幼齢木の幹への穿孔被害があった。アワノメイガによる被害は、2019年に湧水町でみられたのみであるが、その被害地では植栽木の約半数が穿孔されており、穿孔部分で幹が折損したのもあった(川口ら 2021)。

マツ類

マツ類については、公園や施設の植栽木や庭木等の診断依頼が多い。代表的な病害であるマツ材線虫病(松くい虫)は、依然として県内各地で発生しているが、近年は減少傾向にある。なお、当県民有林の被害量は2010年をピークに減少し、2022年度は約1,000m³、主な被害地は、熊毛地区、桜島地区、吹上浜地区であった(鹿児島県資料)。

海岸林などのクロマツ林ではマツカレハによる食葉被害もみられた。ここ数年は、局所的に大発生している。また、クロマツ林でのマツカキカイガラムシの吸汁による葉の黄変が、いちき串木野市などで発生した。

さらに、マツ類の球果を吸汁し種子の発芽率を低下させることが知られる(松永ら 2022)外来種のマツヘリカメムシが(石川・菊原 2009)、2022年以降鹿児島市(坂巻私信)や、いちき串木野市で確認されたが、当県での被害実態は不明である。

庭木などのマツ類では、褐斑葉枯病やマツ葉ふるい病による葉枯れがみられている。特に褐斑葉

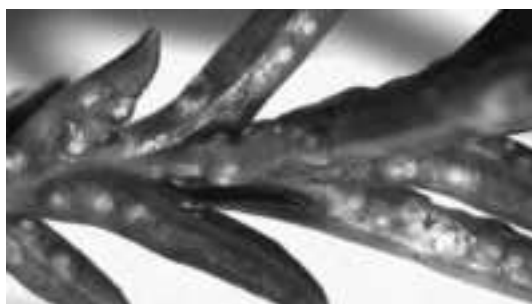


写真1 スギマルカイガラムシによるスギの被害

鹿児島県森林技術総合センター
*現：鹿児島県自然保護課

KAWAGUCHI Eriko
YONEMORI Shogo

枯病は、強度な剪定など、ストレス下にあるマツ類で多い印象である。

イヌマキ

当県では、民家の生け垣や庭木にイヌマキが多く利用されているが、キオビエダシャク(写真2)やケブカトラカミキリによる被害が続いている。キオビエダシャクは、幼虫が葉を食害する。繰り返し加害されることで、生垣全体のイヌマキが枯死した例も少なくない。ケブカトラカミキリは幼虫が樹皮下を食害し(写真3)、枝枯れや枯死が生じる。キオビエダシャクは成虫、幼虫ともに色



写真2 キオビエダシャク成虫



写真3 イヌマキの樹皮下にみられるケブカトラカミキリの摂食痕



写真4 イヌマキ新芽でみられたモンアシブトゾウムシ成虫と摂食痕

が鮮やかで目に付きやすいが、ケブカトラカミキリは成虫が約10mmと小型で目に付きにくい上、木くずを外部へ出さないため被害初期に樹皮下の食害に気づくのは困難である。そのため、既にかかなり衰弱してから、または枯死してから診断を求められることも多い。

また、イヌマキではマキシシハアブラムシやマキアカマルカイガラムシによる吸汁被害、コガネムシ類による食葉被害も県内各地で発生している。被害件数は少ないが、モンアシブトゾウムシ(写真4)による新芽の食害も発生することがある。

ソテツ

ソテツでは、クロマダラソテツシジミの幼虫による新芽の食害が発生している。クロマダラソテツシジミの当県における発生初確認は2007年(井上2008)、それ以降県内各地で見られるようになった。

また、2022年秋には、奄美大島においてソテツの集団葉枯れが発生し、被害葉からは、世界的なソテツの害虫として知られるカイガラムシ(*Aulacaspis yasumatsui*) (マルカイガラムシ科)(写真5)が国内初確認された(鹿児島県森づくり推進課・鹿児島県森林技術総合センター2022など)。カイガラムシに吸汁された葉は黄変し、やがて全葉が黄変する。被害は奄美市名瀬地区を中心とし、ソテツ群落の集団葉枯れのほか、街路樹

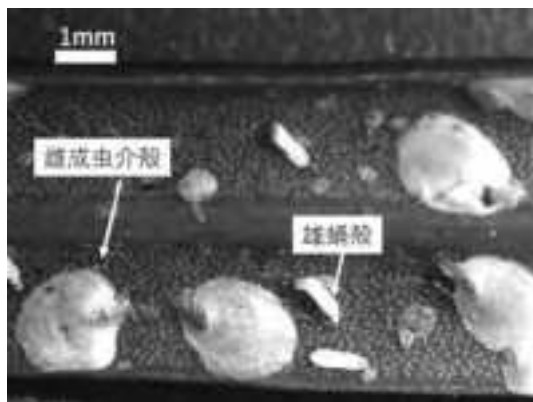


写真5 ソテツ葉に付着する *Aulacaspis yasumatsui*

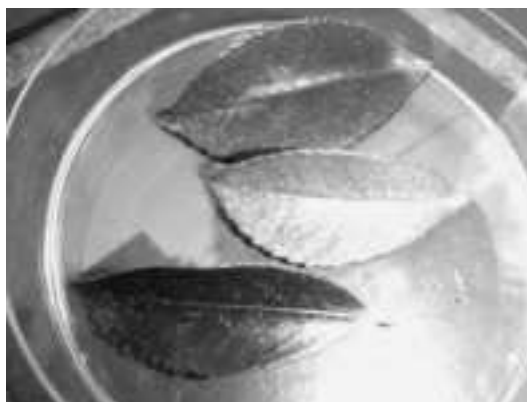


写真6 ハダニ類によるヒサカキの被害
中央の葉は全面が退色

や公園等の植栽ソテツでも被害が生じている。現在、被害葉の切除や処分、薬剤散布を進めつつ(鹿児島県森林技術総合センター 2022)、当センターでは効果的な薬剤散布スケジュールの検討などを行っている。

花木

当県では、神事や仏事等に利用されるシキミやサカキ、ヒサカキの生産が盛んで、大隅地域などで栽培されている。また正月用の花材として利用されるセンリョウが霧島市や鹿児島市などで、ヒバ類が鹿児島市などで生産されている。なお、シキミ、サカキの病虫害については、本誌239号(川口ら 2022)に報告したので今回は省略する。

ヒサカキでは、ハダニ類による吸汁被害が発生しやすい。葉表に白いかすり状の吸汁痕が残り、葉一面に吸汁痕がみられることもある(写真6)。定期的な薬剤散布を行っている圃場でも、わずかに散布時期がずれると圃場全体で被害が発生するケースもある。また、サカグチクチプトゾウムシ(写真7)による葉の食害がみられるほか、ルビーロウムシなどのカイガラムシ類、チャトゲコナジラミ(写真8)による吸汁被害、ホソガ類などによる潜葉被害も確認されている。病害では、輪紋葉枯病による激しい落葉や、白藻病により葉に白い斑紋が生じる被害も発生している。

センリョウでは、ムラサキシラホシカメムシに



写真7 サカグチクチプトゾウムシ(写真の葉はサカキ)



写真8 ヒサカキに寄生するチャトゲコナジラミ

による吸汁・落果被害(川口・河内 2020)が霧島市などで発生している。大発生した圃場では、ほぼ全ての果実が落下し出荷ができなかったというケースもある。

ヒバ類では、ニオイヒバでマスダクロホシタマムシによる穿孔被害やクロトニアザミウマの吸汁による葉の退色がみられている。

その他広葉樹

全国的に問題となっているナラ枯れ被害については、当県ではここ数年目立った被害はない。2019年以降微害で推移し、2022年の被害材積は105m³となっている（鹿児島県資料）。主な被害樹種はマテバシイやスタジイなどで、シイタケ原木として利用されるクスギでの被害もある。過去の被害をみると、被害が急激に増加した後は翌年から翌々年にかけて沈静化するというサイクルを繰り返している。

霧島市のシイタケほだ場では、2019年に、ハラアカコブカミキリの生息が確認され（米森ら2020）、ほだ木の樹皮下には食害痕がみられた。ハラアカコブカミキリは、国内では対馬のみに生息していたが、徐々に分布が拡大し警戒されている（大林・新里2007、森林総合研究所2019など）。現在のところ、県内他地域からの被害は確認されておらず、分布は限定的であると思われる。

クスノキでは、外来種であるクスベニヒラタカスミカメの吸汁による葉の斑点や落葉が確認されている（写真9）。当県での最初の被害確認は2021年で、鹿児島市や始良市、出水市、長島町などで被害がみられた（川口ら2022）。クスノキは



写真9 クスベニヒラタカスミカメ成虫とクスノキ葉の吸汁痕

鹿児島県の県木に指定されており、街路樹などに多く植栽されているほか、始良市には日本一の巨樹として知られる「蒲生のクス」もあり、その後の被害拡大を懸念したが、翌年以降、被害は減少し現在のところ被害拡大の様相はない。このように、クスベニヒラタカスミカメの激しい被害が一時的であることは、これまでの報告（岡本2020）と一致している。

生垣に利用されているカナメモチでは、ルリカミキリの穿孔被害を受けているものが多い。一見、健全にみえる場合でも、枝に近寄ると特徴的な細長い木くずが付着していることが多々ある。また、ごま色斑点病により葉に斑点状の病斑が生じる被害もよく見かける。

街路樹のモミジバフウでは、クスサンやフウノキギンバネスガによる葉の食害が発生した。フウノキギンバネスガは、2017年に鹿児島市で確認され、この年は長崎県、福岡県でも同時期に確認されており、これらは国内初確認として報告されている（柳本ら2018）。フウノキギンバネスガは、幼虫が葉を食害し、幼虫が出す糸で樹冠が白い布で覆われたようになる。初確認時、本県では生息が確認されたのみで被害は確認されていなかったが（柳本ら2018）、2019年には薩摩川内市にあるモミジバフウの並木で食害がみられた。また、多数の幼虫が糸を引いて歩道にぶら下がっていたため、嫌悪の声もあった。

公園や街路樹に多く利用されているツバキやサザンカなどでは、チャドクガによる食葉被害や、輪紋葉枯病による激しい落葉被害もみられている。

おわりに

当センターには多くの診断依頼が寄せられており、特に、国内有数の生産地である花木類に関する依頼が多く、全体の約3割を占める。また、最近の傾向として、スギの育苗や植栽の急激な増加に伴い、スギに関する診断依頼も増えている。寄

せられる相談や見かける被害の多くは、既に診断履歴のある病虫害であるが、県内あるいは国内初の害虫の確認も相次いでいる。診断にあたっては、現在、県内・国内での被害確認のない病虫害も視野に、慎重な対応を心がけたい。

引用文献

- 安藤裕萌・升屋勇人 (2020) スギ赤枯病研究の現状と課題. 日林誌102: 44-53
- 井上寿昭 (2008) 鹿児島県以北で初記録となるクロマダラソテツシジミを指宿市山川で発見. SATSUMA138: 65
- 石川 忠・菊原勇作 (2009) 北米産ヘリカメムシ *Lep-toglossus occidentalis* Heidemann の日本からの初記録. 昆虫ニューシリーズ12 (3): 115-116
- 鹿児島県森づくり推進課・鹿児島県森林技術総合センター (2022) ソテツを加害するカイガラムシ *Aulac-aspis yasumatsui* の国内初確認について (報告). <http://www.kpftc-pref-kagoshima.jp/kadai.html#041207> (2023年7月31日閲覧)
- 鹿児島県森林技術総合センター (2022) ソテツのカイガラムシ被害. <http://www.kpftc-pref-kagoshima.jp/kadai.html#041207> (2023年7月31日閲覧)
- 川口エリ子・河内眞子 (2020) ムラサキシラホシカメムシによるセンリョウの落果被害とその発育および産卵. 森林防疫69 (6): 3-7
- 川口エリ子・坂巻祥孝・米森正悟・長濱孝行 (2021) スギ幼齢木で初確認されたアワノメイガによる食害. 森林防疫70 (2): 7-11
- 川口エリ子・米森正悟・河内眞子 (2022) 鹿児島県で発生したシキミ・サカキの病虫害等の被害. 林業と薬剤239: 9-15
- 川口エリ子・米森正悟・間世田明里・松永禎史 (2022) 鹿児島県で発生したクスベニヒラタカスミカメによるクスノキの被害. 鹿児島県森林技術総合センター研究報告23: 31-33
- 松永孝治・武津英太郎・岩泉正和・久保田正裕・原 亮太朗・北嶋諒太郎・細川貴弘・渡辺敦史・久米 篤 (2022) マツヘリカメムシがクロマツの種子生産性に及ぼす影響日本森林学会大会発表データベース133
- 岡本素治 (2020) クスベニヒラタカスミカメの生活史と被害の現状. グリーン・エー ジ556: 16-20
- 大林延夫・新里達也 (2007) 日本産カミキリムシ. 東海大学出版会, 神奈川.
- 森林総合研究所 (2019) しいたけ害虫の総合防除. 森林昆虫領域, 茨城.
- 柳本和哉・植崎康二・坂巻祥孝・上田明良・後藤秀章 (2018) 国内初記録のギンバネスガの1種 (*Theco-bathra lambda* (Moriuti), フウノキギンバネスガ (新称)) によるモミジバフウ (*Liquidambar styraci-flua*) の被害について. 森林防疫67 (1): 5-8
- 米森正悟・川口エリ子・河内眞子・片野田逸朗 (2020) 鹿児島県におけるハラアカコブカミキリの生息確認. 鹿児島県森林技術総合センター研究報告21: 18-20

今さら聞けない生物学入門

4. 細胞の分裂

福山 研二*

はじめに

生命の基本は、細胞であることは、このシリーズの2回目でも述べたが、もう一つ、重要な生命の基本というか本質は、細胞の分裂である。

細胞の分裂とは、文字通り、一つの細胞が二つに分かれることである。そして細胞が分裂をするというときは、基本的には、自分の複製を作ることになる。つまり、生命は、自分と同じものをどんどん増やしていくという基本的な特性を持っているということである。

もしも、この特性がなければ、どんなに優れた細胞といえども、何億年という時間の中では、様々な原因で死んでいくことになり、必然的に絶滅してしまうのである。

細胞を常に増やして数を増やすことによって、様々なアクシデントや環境の変化に対応する能力こそが、生命が持っているもう一つの重要な本質と言っても良いだろう。

1. 細胞分裂の種類

実は、細胞の分裂にも幾つかの種類がある。基本的なところでは、無糸分裂と有糸分裂である。

細胞分裂の時に重要なのは、生命の設計図であるDNAと生命を維持するための細胞器官をなるべく均等に分割して新しい2つの娘細胞に分配することである。

無糸分裂というのは、原核細胞生物やゾウリムシなどのべん毛虫などでみられ、単純に例え

ば、バケツの中に混ざり込んだ、DNAや細胞器官をかき混ぜて、半分を他のバケツに注ぎ込むようなものである。そのため、2つの新しい細胞内のDNAの量に違いができるのが普通であり、ゾウリムシなどでは、分裂後にDNAの量を調節するものもあるようだ。

このやりかただと、偶然に、まったくDNAを含まない娘細胞が生まれることもありうるわけで、かなり効率が悪い方法といえる。

そこで、もっと確実にDNAを娘細胞に分配するために開発されたのが、有糸分裂であり、我々多細胞生物の細胞分裂の主流となっている。この有糸分裂にも、細胞の数を増やすだけの体細胞分裂と、生殖細胞を作るための減数分裂とがある。

2. 体細胞分裂と細胞周期

細胞周期とは、細胞が分裂を始めてから終わるまでの細胞の状態の変化のことをさし、大きくは、あきらかに染色体が見えて分裂活動をしているように見える分裂期(M期)と外見上は何も変化が見られない間期に分けられる。分裂期は、前期、中期、後期、終期に細分化されている(図1)。

分裂期が終わり、間期に入った直後は、2つに分かれたため、細胞が半分以下になっているわけであるが、これが栄養や水などの成分を取り込み成長して前と同じ大きさになるまでの成長期間をギャップ期1(G1)という。

次に、分裂の準備として核内で、DNAの複製を行っている期間がS期である。ここも、活動をしていないように見えるが、DNAを複製する

*自然環境研究センター客員研究員 FUKUYAMA Kenji

という極めて重要な活動をしているのである。そのため、この時点では、細胞内には、2倍の量の遺伝子が存在することになる。

S期でDNAの複製が済むと、分裂期に向けた準備としてギャップ期2(G2)があり、細胞の分裂活動を制御する物質が作られる。

このように、間期の間には、目に見えないものの盛んに細胞分裂のための準備が行われているのである。

ちなみに、G1期において、細胞分裂をしなくなるG0期というものに入る細胞もあり、これはいわば細胞分裂の輪廻から抜け出したものといえる。成長を終えて、肝臓や心臓、脳などに、それぞれの役割に分化した細胞では、大部分がこのG0期になっているわけで、特別の外部刺激がないかぎり再び分裂の輪廻に戻ることはない。

さて、間期に準備が整った細胞内では、M期促進因子と呼ばれる物質が働き始めると、分裂期(M)に入り、いよいよ目に見える形で有糸分裂がはじまる。

3. 有糸分裂のしくみ

有糸分裂というのは、糸が見える分裂ということである。では、どんな糸が何のためにあるのだろうか。そして、その糸はどこにくっついているのだろうか。

有糸分裂のうち体細胞分裂の場合、1つの細胞がそっくり複製されて2つの細胞になる。通常の状態の細胞では、核の中のDNAは、クロマチンという構造を作って核内にばらばらにまじっている。それが、細胞分裂が始まる時には、核の中のDNAのかたまりであるクロマチンが集まって染色体という構造を作る。

一般の人は、染色体というのは細胞の中にもあるものだと思っているかもしれないが、実は細胞が分裂する時にしか現れないのである。

高校の生物の実習では、この染色体を観察するために、植物の根の先端などを使うことが多いの

だが、それは、根の先端は、成長点と呼ばれる細胞が盛んに分裂している場所だからである。そのため、かなりの頻度で、細胞分裂の中間段階に現れる染色体を観察することができるというわけである。

ちなみに、この染色体という名称は、酢酸カーミンなどの塩基性の染色剤によってよく染まることから名付けられた。

そして、S期の中に2倍に増えたDNAは、2本の染色体となり、動原体(キネトコア)と呼ばれる部分でくっつく(図2)。この2本がくっついた染色体は、分裂のときに、分離して、2つの娘細胞に分配されるのだが、このときまちがいがなく、それぞれの娘細胞に染色体の一方を分配する方法として、糸が使われる。

そして、この糸を操っているのが、中心体なのである。

中心体については、これまでも細胞の構造や細胞骨格でも述べたが、細胞分裂においては、まず、中心体が分裂をして、それぞれの分裂する両極に移動して、娘細胞の位置をきめるという極めて重要な働きをする。

4. 分裂期

分裂期に入ると、細胞内では、DNAの塊であるクロマチンがさらにかたまって、染色糸となり、顕微鏡で見えるようになる。これがさらに太く短くなり、染色体となる。これは、こののち糸によって染色体が分離されるときに移動しやすいようにコンパクトにまとめているわけである。これはちょうど、バラバラに発行されていた雑誌をまとめて、1冊に製本するようなものであろう。こうしておけばまとめて移動するのもにも便利であるし、中の雑誌が散逸することもない。

分裂前期では、先に述べた中心体が分裂し、両極に移動し始めるとともに核膜が消えてしまう。こうして染色体は自由に動けるようになる。しかし、染色体は自分では動くことができないため、

だれかに動かしてもらわなければならない。それを司るのが、何度も言うようだが、中心体と紡錘糸とよばれる糸である。

2つに分離した中心体は、細胞の両極に移動するとともに、中心体から糸が伸び始めて、星状体と呼ばれるものになっていく。この糸が、細胞の中心付近に集まっている染色体の2本のうちの一方にくっつくのである。つまり、星状体からの糸は、染色体の数だけで済むわけである。人間の染色体は46個あるので、両極の星状体から46本の糸が見られることになる。

実は、この糸は、筋肉繊維や繊毛をつくるアクチン・ミオシンタンパクでできており、アクチンタンパクの縮む力を用いて、2本の染色体を分離して、両極の方に引っ張っているのである。

分裂中期では、細胞の赤道部分に、染色体が並び、両極からの糸が2本の染色体のそれぞれに結びつき、別れる準備が整うのである(図1)。

このさい、糸が結びつく場所は決まっており、2本の染色体がくっついて、少しくびれた構造をした、動原体(キネトコア)と呼ばれる部分にむすびつく(図2)。ここは、2本の染色体が最も強くくっついているので、ここを分ければ、あとは容易に分離できるというわけである。

分裂後期では、くじ引きの札のように、それぞれの娘細胞の側に、引っ張って行かれた染色体は、両極の付近に集まりかたまりとなる。

次に細胞の中間が収縮してくびれはじめるが、この収縮にも、アクチンタンパクが使われている。

終期になると、糸は消えて、星状体は中心体に戻り、染色体の周りに核膜ができるとともに、細胞内の器官も再構築される。この際、ミトコンドリアや葉緑体などの細胞内器官は、バケツに混ざったものを二つ分けるように娘細胞に分配されるので、偶然に、ミトコンドリアや葉緑体が全くない娘細胞ができることもある。ミトコンドリアは細胞が活動する上では、絶対に必要なので、ミ

トコンドリアがない細胞はすぐに死滅してしまうが、葉緑体は、なくても細胞自体は生きていけるため、植物などでは、部分的に葉緑体を失った、植物が生まれることがある。これが面白い模様を作るので、斑入りとして栽培されたりしている。

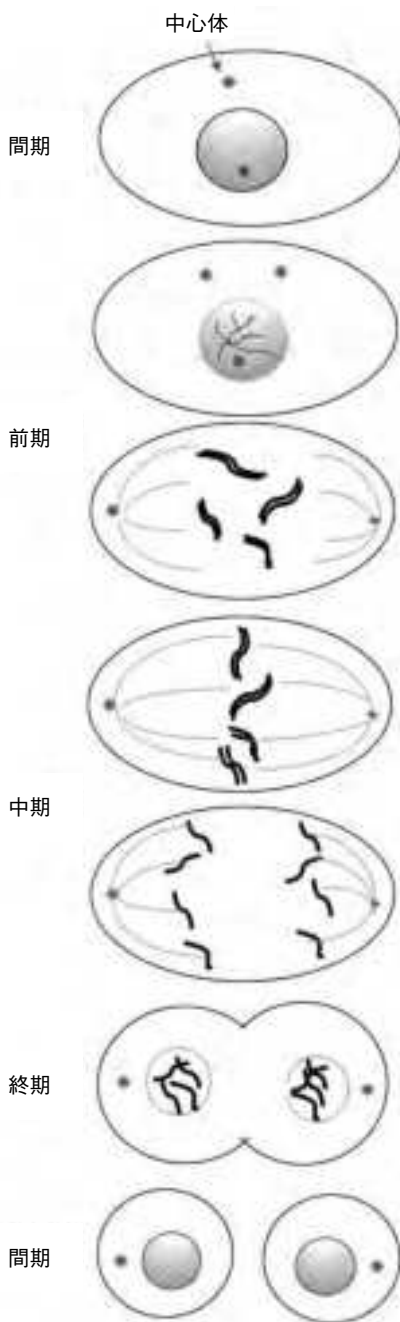


図1 体細胞の分裂の細胞周期

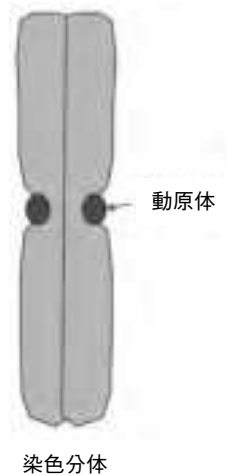


図2 分裂前期の染色体（コピーされた遺伝子が2本の染色体として対になっている）

5. 減数分裂

有性生殖をする生物においては、通常の細胞は、同じ働きをする遺伝子をオスからとメスからもらって、1対の相補性遺伝子（ $2N$ ）（相同染色体）として持っている。これは、いってみれば保険のようなもので、もしも相補性遺伝子のうち、片方がうまく働かなくても、もう片方が機能を果たしてくれるので、安全度が増すというわけである。互いに補うので、相補性遺伝子というわけだ。

有性生殖では、オスもメスも、相補性遺伝子の片方だけを精子や卵子にわたすことになる。それが、交配と受精によって、再び出会って、相補性遺伝子としてタグを組むのである。

だから、生殖のための卵子や精子には、相補性遺伝子の片方だけ（ N ）がある。

そのため、生殖するための細胞を作る過程は、体細胞分裂とは異なり、相補性遺伝子を分離する過程が加わるため、より複雑となり、遺伝子の数が減るため、減数分裂と呼ばれる。

6. 減数分裂の過程 第一分裂期

減数分裂は、基本的な仕組みは体細胞分裂と同

じであるが、細胞分裂が続けて2回行われ、2回目では遺伝子の複製は行われず、2本の染色体の代わりに、相補性遺伝子同士がくっついて、組を作り、そこに糸がたどり着いて、両極に引っ張って分けるということを行う。そのため、卵細胞や精子には、相補性遺伝子の片方ずつが入ることになる。

1回目の分裂の前期では、体細胞分裂と同じように、準備期間（間期）の間に複製が作られた遺伝子が集まって、染色体を作る。その際に、相補性遺伝子同士がバラバラにならないように、しっかりくっついてしまう。

この相補性遺伝子のセットを二価染色体と呼ぶが、これは通常の2倍の量あるためである。これがあたかも1本の染色体のように行動し、体細胞分裂と同じように、複製された遺伝子を持つ染色体同士が動原体部分でくっついて、1対の染色体となる。

この動原体部分に糸がのびてきて両極に引っ張られて別れていくところは、体細胞分裂と同じである。その際、1本に見える染色体は実は、相補性遺伝子2本が合わさったものであるというところが、体細胞分裂とは大きく異なるところである。

これは、2回目の分裂のときに相補性遺伝子をきちんと分けてそれぞれの生殖細胞に分配するためにきわめて重要な過程だと言える。

こうして、相補性遺伝子同士がくっついた形で、2つの細胞に分配されたあとは、DNAの複製は行わずに2回目の分裂に入る。

7. 減数分裂の過程 第二分裂期

さて、2つに分裂し、相補性遺伝子同士が組みになっていた染色体は、一度核内で通常の遺伝子に戻り、今度は、染色体は一体化せず、あたかも体細胞の複製された染色体同士のように、動原体の部分で結合する。後は、体細胞分裂と同様に、両極に分かれた中心体から、糸が伸び出し、赤道

付近に集まっている染色体の動原体部分に結びつき、今度は、相補性遺伝子のそれぞれが別れ別れになって両極にむかって引っ張られていく。これによって、相補性遺伝子の片側部分のみで構成される染色体がそれぞれの生殖細胞に分配されることになる。

結果として、体細胞分裂では、遺伝子は、まったく同じものが、娘細胞に伝わるのに対して、減数分裂では、相補性遺伝子の片側のみが伝わるため、それぞれの生殖細胞の遺伝子の中身は異なってくる。

有性生殖を行うということは、これがさらに、他の個体の相補性遺伝子の片側と組み合わせることになるため、親と子の遺伝子の中身はかなりシャッフルされたことになり、異なったものになるのである。

こうした遺伝子のシャッフルは、それまで生存にとって有利な形質をなくす危険性もあるわけで、かなりリスクが高い行為といえる。

それが多くの生物で普通に行われているということは、この遺伝子のシャッフルが生物の進化と適応にとって大変に重要な仕組みであることを示しているのである。

8. 生殖細胞のでき方

ついでに、減数分裂によりできていく生殖細胞(卵や精子)のでき方も触れておこう。

減数分裂では、続けて2回の分裂が起こり、通常は、2つで1組の相補性遺伝子の片側だけを受け継いだ、生殖細胞が4つできる計算である。

動物の生殖細胞では、オスが作る生殖細胞である精子は、そのままそれぞれが1つの精子となる。精子は、極めて小さい上に、エネルギーもほとんど蓄えていないため、体外に出てからの生存率は極めて低いことから、大量に作る必要がある、4倍になるというのは、効率が良いことになる。

それに対して、卵の方は、子孫に大量の栄養を

受け渡す必要があるため、そのサイズも大きく、かなりの量の栄養を蓄える必要がある。そのため、あまり数を増やすことは、得策ではない。

そこで、4つのうち、3つは、第二極体という極めて小さな細胞になりやがて消失し、1つだけが卵になる。

細胞は、分裂することにより、自分と同じものの複製を作って、永遠に生きるだけでなく、やがては細胞同士がくっついて、多細胞生物になり、生物が役割ごとに分化し、様々な機能を持つことができ、複雑な生命体を作り上げる。それとともに、その子孫を次世代に繋げさらに、遺伝子を交換したり、シャッフルすることにより、進化を促進するという生命の基本的な活動なのである。

それにしても、生殖細胞を作る減数分裂では、なぜ、続けて2回の分裂を行っているのだろうか。単に、相補遺伝子の対を2つに分けるだけなら、1度の分裂で出来るはずである。

これが、ほとんどの動物において、2回の分裂を行い、最初の分裂は、相補性遺伝子を合体させて、コピーを作り、それをさらにもう一度、元の染色体(2N)に戻してから、それを2つに分けて単一の遺伝子(N)に分けている。

これは想像であるが、当初は、体細胞分裂の仕組みだけがあったのだが、その途中で減数分裂の仕組みが生み出された時に、その分裂の過程が残され、それが現在まで生き残っているのではないだろうか。そして、それが残っているということは、それが減数分裂を行う上でも、有利な面があるのかもしれない。

もう一つ、不思議なことがある。中心体から出てくる糸は、どうやって目的の染色体を見つけるのだろうか。染色体の方から伸びているのなら、どちらかの極の中心体を探すことは、比較的容易にできるかもしれないが、逆の場合は、染色体に目印でもない限り難しいだろう。きっと染色体の動原体からそれぞれ異なる信号物質が出ているに違いない。(つづく)



禁 転 載

林業と薬剤 Forestry Chemicals (Ringyou to Yakuzai)

令和5年9月20日 発行

編集・発行／一般社団法人 林業薬剤協会

〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-6-5 神田北爪ビル2階

電話 03 (3851) 5331 FAX 03 (3851) 5332 振替番号 東京00140-5-41930

E-mail : rinyakukyo@wing.ocn.ne.jp

URL : <https://www.rinyakukyo.com/>

印刷／株式会社 スキルプリネット

定価 550 円

すぐれた効果

豊富なデータの裏付けで
薬剤持続期間7年を実現。

高い安全性

人体および水産動植物への
高い安全性。

充実の フォローアップ

薬剤濃度検査
サービスの実施。

培った技術力

蓄積したノウハウで最適な
アドバイスを行います。

信頼のブランド

1982年の発売以来、
永きにわたり、全国の松を
守っております。

松枯れ防止樹幹注入剤

グリーンガード®・NEO

農林水産省登録 第22023号

マツノマダラカミキリの
後食防止剤

マツグリーン®液剤

農林水産省登録第20330号

普通物

マツグリーン®液剤2

農林水産省登録第20838号

- ①マツノマダラカミキリ成虫に低薬量で長期間優れた効果。
- ②樹木害虫にも優れた効果を発揮。
- ③新枝への浸透性に優れ、効果が安定。
- ④車の塗装や、墓石の変色・汚染がほとんどない。
- ⑤環境への影響が少ない。
- ⑥周辺作物に薬害の心配がほとんどない。

剪定・整枝後の
傷口ゆ合促進用塗布剤

トップジンM® ペースト

農林水産省登録第13411号

作物名	適用病害名・使用目的
樹木類	切り口及び傷口のゆ合促進
きり	腐らん病
さくら	てんぐ巣病
ぶな(伐倒木)	クワイカビ類による木材腐朽



株式会社ニッソーグリーン

www.ns-green.com

全卵粉末水和剤

ニホンジカ専用忌避剤 農林水産省登録 第22312号

有効成分
全卵粉末
80%

ランテクター[®]



- ランテクターの有効成分（80%）全卵粉末を使用しています。
- ランテクターは年間の使用回数に制限がありません。被害の発生状況に合わせて使用できます。
- 樹木類、花き類・観葉植物に使用できます。

● 適用範囲及び使用方法

作物名	使用目的	希釈倍数	使用用量
樹木類	ニホンジカによる食害防止	10倍	1本当たり10～50ml
花き類・観葉植物			100～300g/10a
使用時期	本剤の使用回数	使用方法	全卵粉末を含む農薬の総使用回数
食害発生前	—	散布	—

※スギ・ヒノキや広葉樹への散布も可能です。（広葉樹の新芽が枯損するなどの心配がありません）

● 有効成分

全卵粉末	鉱物質微粉等
80.0%	20.0%

販売

DD 大同商事株式会社

本社 〒105-0013 東京都港区浜松町1丁目10番8号
TEL:03-5470-8491 FAX:03-5470-8495

製造

◎ 保土谷アグロテック株式会社の登録商標です。



保土谷アグロテック株式会社

〒105-0021 東京都港区東新橋1-9-2

松枯れ予防
樹幹注入剤

マツケンジー[®]

農林水産省登録
第22571号

医薬用外劇物

① 作業が簡単！

孔をあける

1ml (8～10cm間隔)、または
2ml (10～15cm間隔)を注入

直後に穴をふさぐ

② 注入容器をマツに装着しない！

注入・チェック・回収などで、現場を何度も回らずOK。

③ 作業現場への運搬が便利で、 廃棄物の発生も少ない！

250mlの容器1本で20～25本のマツの処理が可能（φ30cmの場合）しかもジャバラ容器の使用により使用後の容器容積が小さくなる。

④ 水溶解度が高く、分散が早い！

作業時期が、マツのマダラカミキリ成虫の発生期近くまで広がる。

有効成分：塩酸レバミソール液剤 … 50.0% その他成分：水等 … 50.0%
性状：赤色透明水溶性液体

洞注にもお勧めです

注入容器でこんなに便利！



保土谷アグロテック株式会社 東京都港区東新橋1-9-2 TEL 03-6852-0510



特定外来生物「クビアカツヤカミキリ」防除は

®は日本農業(株)の登録商標
農林水産省登録
第22461号

殺虫剤 アクセル[®] フロアガル

そのさくら、**アクセルが
守ります!!**



高濃度の
希釈液を樹幹に
しっかり散布!



サイン、無視していませんか?



樹皮下を
食い荒らす

登録作物や使用方法、
その他の詳細情報はコチラ



虫糞(フラス)噴出始め～成虫発生期の散布で
高い効果を発揮!(5月下旬～8月上旬)

幼虫の加害抑制効果と
殺成虫効果で防除!

- 使用前にはラベルをよく読んでください。
- ラベルの記載内容以外には使用しないでください。
- 本剤は小児の手の届くところには置かないでください。
- 使用後の空容器等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

 **日本農業株式会社**
東京都中央区京橋1丁目19番8号
カスタマーサービス TEL. 03-6361-1414

マツノマダラカミキリの後食防止剤

殺虫剤 モリエート[®] SC

農林水産省登録 第21267号

低薬量で優れた殺虫効果と
後食防止効果を示し、
松枯れを防止します。

**1,000倍使用で
希釈性に優れ
使いやすい**
(水ベースの液剤タイプ)



製 造：住友化学株式会社 販 売：サンケイ化学株式会社 レインボー薬品株式会社

計画散布で雑草、竹類・ササ類を適切に防除しましょう!



題名
放置竹林から里山を守る!

信頼のブランド

《竹類・ササ類なら》

コロートS (粒剤)

農林水産省登録 第11912号

《開墾地・地ごしらえなら》

コロートSL (水溶剤)

農林水産省登録 第12991号

※すぎ、ひのき、まつ、ぶなの
地ごしらえ、又は下刈りの雑草防除
でも使えます。

〈製造〉

ADA 株式会社
株式会社 **イスター・エス バイオテック**
〒103-0004 東京都中央区東日本橋1-1-5 COI東日本橋ビル
TEL.03(5825)5522 FAX.03(5825)5501

〈販売〉



丸善薬品産業株式会社

東 京	東京都千代田区鍛冶町 2-9-12 (神田徳力ビル)	☎03-3256-5561
大 阪	大阪府中央区道修町 2-4-7	☎06-6206-5531
福 岡	福岡市博多区奈良屋町 1-4-18	☎92-281-6650
札 幌	札幌市中央区大通西 8-2-38 (ストーク大通ビル)	☎011-261-9024
仙 台	仙台市青葉区大町 1-1-8 (第3青葉ビル)	☎022-222-2790
名 古 屋	名古屋市中区丸の内 1-5-28 (伊藤忠丸の内ビル)	☎052-209-5661

松くい虫防除薬剤 / 地上散布・空中散布・無人航空機散布・駆除

エコワン[®]3フロアブル

【有効成分：チアクロプロド3.0%】

®: エコワンは井筒屋化学産業㈱の登録商標です。

- ◆低薬量で高い効果が長期間持続します。
- ◆不快臭・刺激臭がないので、薬剤調製時や散布時に作業者や周辺住民に不快感を与えません。

松くい虫防除薬剤 / 樹幹注入

井筒屋 ショットワン・ツー[®] 液剤

【有効成分：エマメクチン安息香酸塩2.0%】

®: ショットワン・ツーはシンジェンタジャパン㈱の登録商標です。

- ◆確実な防除効果が長期間持続します。
- ◆有効成分は、強力な殺センチュウ活性を有しています。

マツガード[®]

【有効成分：ミルベメクチン2.0%】

®: マツガードは三井化学アグロ㈱の登録商標です。

- ◆確実な防除効果が長期間持続します。
- ◆土壌放線菌から分離された有効成分を有し、環境にもやさしいです。

緑化樹害虫防除薬剤 / 樹幹注入

アトラック[®]液剤

【有効成分：チアトキサム4.0%】

®: アトラックはシンジェンタジャパン㈱の登録商標です。

- ◆薬剤が速やかに葉まで分散し、葉を食害するケムシ等に対して内側から高い殺虫効果を発揮します。
- ◆薬剤の飛散がなく、散布が難しい場所でも安心して使用できます。



井筒屋化学産業株式会社

〒860-0072 熊本県熊本市西区花園1丁目11番30号
TEL (096)352-8121 FAX (096)353-5083

樹幹注入剤(殺虫剤)

ウッドスター

ナラ枯れ防止用樹幹注入剤

ウッドキング DASH

伐倒木・枯損木用くん蒸処理剤

キルパー40

- ・ケムシ・吸汁性害虫・クビアカツヤカミキリ幼虫に効果
- ・小径孔での注入で樹木への負担が小さい
- ・公園、街路樹でも安全に処理が可能

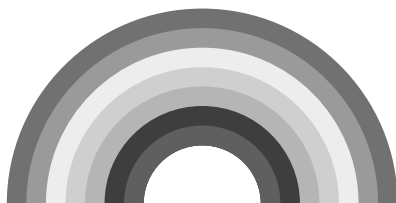
- ・ナラ枯れに対して高い予防効果
- ・2年間の残効
- ・微量の注入で省労力

- ・ガスが拡散し材内部まで消毒
- ・ナラ枯れ・松くい虫・クビアカツヤカミキリの防除に
- ・切株処理でザイセンチュウの根系感染防止

サンケイ化学株式会社

本社	〒891-0122	鹿児島市南榮2丁目9	(099)268-7588
東京本社	〒110-0005	東京都台東区上野7-6-11 第1下谷ビル3F	(03)3845-7951
東京営業部	〒366-0032	埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1	(048)551-2122
大阪営業所	〒532-0011	大阪市淀川区西中島2丁目14-6新大阪第2ビル	(06)6305-5871
九州北部営業所	〒841-0025	佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3	(0942)81-3808

効率的な緑地管理に!



家庭園芸薬品、ゴルフ場・森林関連薬剤はレインボー薬品へご相談ください。



SCC GROUP
住友化学 アグログループ



緑地管理の未来をひらく

レインボー薬品株式会社

東京都台東区上野1-19-10

☎ 03(6740)7777 FAX 03(6740)7000

少薬量と殺センチュウ活性で 松をガード。

少薬量の注入で効果を発揮
防除効果が6年間持続

60mlそのまま
自然圧で注入

60ml(ノズルなし)・180ml
加圧容器に移し替え、ガス加圧で注入。



自然圧注入用



移し替え専用



移し替え専用

有効成分のミルベメクチンは微生物由来の天然物で普通物^{*}
「有機JAS」(有機農産物の日本農林規格 農林水産省)で使用が認められた成分です

※「毒物および劇物取締法」(厚生労働省)に基づく、特定毒物、毒物、劇物の指定を受けない物質を示す。

松枯れ防止樹幹注入剤

マツガード[®]

農林水産省登録 第20403号

- 有効成分：ミルベメクチン…………… 2.0%
- 60mL×10×8 ○180mL×20×2
- 60mL×10×8(ノズルなし移し替え専用) 容量×入数

マツガードは三井化学アグロ(株)の登録商標です。



株式会社 エムシー緑化

