

第2部

林業種苗の品種・系統と育種

1	林木における産地・系統の意義	68
2	産地・系統・品種	69
3	林木の遺伝と育種の基礎知識	77
4	林木の育種	84
5	採種園の造成・管理	102
6	種子の採取・調整・貯蔵・品質管理	117
7	採穂園の造成・管理	126
8	穂木の採取・保存	137

1

林木における産地・系統の意義

林業にはいくつかの形態がある。森林の育成に人手をかけることなく、すでに存在している森林資源を伐採して利用する「採取林業」、苗木を植栽して新たに育成した森林を伐採して利用する「育成林業」がある。「育成林業」では、新たな森林を整備するための種子や苗木等の林業種苗が必須となる。

林業は植栽してから収穫までに30～60年の長い年月を要する。収穫時にどのような量、質の材が得られるかには、植栽地の気候や土壌、水分条件などの環境条件、下刈り、間伐などの施業と並んで、どのような種苗を用いたかが影響する。例えば、スギ等の地理的に広い天然分布を持つ樹種は、多くの場合、それぞれの地域環境に適応していることが知られている。このため、環境条件が大きく異なる地域に苗木を配布して用いた場合、活着不良や成長不良、気象害の発生といった悪影響を及ぼす可能性が高まる。

また、林業種苗の良否が明らかになるまで少なくとも10年程度は要し、さらに言えば本当の林業種苗の価値は、収穫時の材積や材質によることとなる。

このような性質を有する林業種苗の生産・流通を野放しにすれば林業生産は逐次低下し、ひいては国全体の森林を荒廃させるリスクが高まることになる。これは別の観点からみれば、森林整備に支障をきたすとともに、造林者に不利益を与える可能性が高まるということでもある。林業種苗法は、このことを森林・林業、特に林業種苗の生産・流通・利用に携わる人達に理解していただきながら、流通する林業種苗の遺伝的品質を確保して、造林者を保護するために大きな役割を果たしている。

1. 林木にみられる遺伝現象と林業

スギ等の林業樹種において、同じ林分内であっても樹高や胸高直径、幹の形状等にはばらつきがみられるのが普通である。しばしば、それは環境要因によってもたらされていると思われがちであるが、遺伝的な要因も含めた複合的な要因によるものである。スギ等の試験林(検定林)で成長や材質が遺伝的に異なることが明らかになっている。多雪地では、積雪の匍匐圧による幹の根元曲がりの程度は遺伝的に異なる。さし木苗を植栽した場合には、クローン間での特性の差が顕著になることが多い。これらの遺伝の仕組みがすべて解明されているわけではないが、少なくとも、その性質を次の世代に伝える「遺伝」という現象に負うものであることは確かである。成長や材質、幹の形状の特性は伐採後の材の価値に影響するため、林業の収益性を高めるためにも、地域の環境条件等に合った遺伝的に特性の優れた種苗を用いることは重要である。また、遺伝的な特性を改良することにより、林業種苗の価値を高める林木育種の推進も重要である。

2. 種苗選択の重要性

林木は生育場所の環境条件にさらされて生育している。このため、異なる地域の天然林に生育している個体は、同一樹種であっても、気候、土壌など環境条件が異なった地域で、長年月にわたって生育、更新を繰り返すと、その地域の環境に適さないものは淘汰され、適応したものだけが生存して集団を成すことになり、異なった環境適応性を有していると考えられる。

林業種苗は育種により遺伝的な改良が進められているとはいえ、改良以前の野性的な特性、遺伝的に未改良の特性を残している。このため、苗木を育成するための、元となる種子や穂木をどの地域(産地)由来のものから得たのか、どの種類(系統)の個体から得たのかによって、異なる遺伝的特性を有しており、種苗の産地や系統を顧みずに利用すると、環境に適応できず不成績造林地になるリスクが高まると考えられる。

1
2
3
4
5
6
7
8

代表な例は主に太平洋側に分布するオモテスギと日本海側に分布するウラスギである。山形県の金山町で、川崎秀次氏がヨシノスギ、アキタスギと地元産のヤマガタスギの3種類の種子から養苗した苗木を、金山町の自家所有地に植栽したところ、ヨシノスギは雪害のために、ほとんど枯死して成林しなかった。調査した結果、直接的な原因は、太平洋側と日本海側の気象条件の違い、特に降水量の季節的分布の差異、すなわち降雪に対してヨシノスギが弱かったためだとされた。降雪が少ない太平洋側の産地である吉野地域に由来するヨシノスギは、金山町の豪雪に対して弱かったと考えられる。

海外、特に欧州は、18世紀にまで遡る長年にわたる産地試験の歴史を有している(Morgenstern 1996)。産地試験とは、同一樹種の異なる地域から種子を採取し、それらから育成した複数産地の苗木のセットを複数個所に試験地として植栽して、どの地域にはどの産地の苗木が適しているのか等を明らかにするための試験である。スウェーデンでは、早くから産地試験を計画的に行い、その結果から種子の配布区域を定め、ヨーロッパトウヒとヨーロッパアカマツについては、水平的な移動と垂直的な移動を規制している。樹種別に緯度では何度まで、標高では何mまで種苗を移動してよいという規定が設けられている。日本では、全国規模での産地試験は、あまり行われていないが、国内で行われた産地試験としてアカマツとカラマツの例を挙げることができる(永光ら 2016、永光・戸丸 2015)。アカマツでは、現行の種苗配布区域の妥当性を支持する結果が、また、カラマツでは南方系の産地の種苗を北方へ移動した場合、成長性、幹の断面積が約3割低下するという結果が得られている。これらの結果は、異なる環境適応性を有している林業樹種において、植栽地に適した産地や系統に由来する種苗を選択することの重要性を示している。

引用文献

- Morgenstaern K E (1996) Geographic variation in forest trees: genetic basis and application of knowledge in silviculture. UBC Press, 209pp
- 永光輝義・島田健一・金指あや子(2016)移植試験でわかったアカマツの地域特性, 森林総合研究所平成28年版研究成果選集, 68-69
- 永光輝義・戸丸信弘(2015)カラマツ天然林の遺伝的変異, 森林遺伝育種, 4:148-152.

参考文献

- 井出雄二・白石進(2012)森林遺伝育種学, 文永堂出版, 296pp

2 産地・系統・品種

我々が、ある種の動植物を栽培、育成、利用して経済活動を行おうとする時、取り扱っているある集団を、同じ種内の別の集団と区別する必要がしばしば生じる。そのような際に、産地や系統、品種という用語が用いられるが、農作物や畜産におけるこれらの用語の用いられ方と林業での用いられ方には、しばしば違いがある。ここで、まず農作物や畜産における用語の用いられ方を概観した後に、林業における用いられ方について述べる。

かつては、農作物や家畜のように長い栽培・飼育の歴史をもつ生物を対象に育種活動が行われてきたが、今日のように人間の資源利用が広範囲になると野生の動植物も育種の対象となってくるので、選択する集団内の均一性を重んずる考え方では対応が難しい場合も含まれてくる。互いに遺伝的に独立した集団が2つ以上あって、その集団の間に実用上何らかの違いが認められるなら、それぞれの各集団を「品種」と呼んで選択利用することもあり得る。ただし、ここでいう集団は遺伝的な均一性の高いものから低いものまでいろいろなものが考えられる。動植物の分類の基本単位は「種」とされるが、分類

学上の「品種」とは「種」より下位の分類単位であり、作物等の種類をそれぞれの特徴に基づいて相互に区別した最小の単位である(武田 1993)。農学でいうところの品種は、栽培や利用の観点からみた生物集団の単位であり、分類学上の品種よりも小さい集団である(武田 1993)。また、「品種とは、同一繁殖法により、直接または間接的に、ある特定の遺伝子型として実用上支障のない均等性と永続性を保持し得る作物・家畜の個体群」としている(松尾 1965)。

林業において一般的に新品種が成立するためには、①成長、材質、環境適応性、病虫害抵抗性などにおいて優れていること(優秀性)、②これらの形質が、実用上支障がない程度で均一であること(均一性)、③特徴となる形質が子孫に安定的に遺伝すること(安定性)が要求される(井出・白石 2012)。なお、種苗法における品種登録の要件では、優秀性は必ずしも必要でなく、既存の品種と重要な形質の全部または一部により明確に区別できること(区別性)が求められる(井出・白石 2012、農林水産省 2022)。林木を例にしてみると、1本の母樹からさし木で増殖されたものを「クローン」と呼んでいるが、これは遺伝的に全く均一なものである。しかし、このクローンのいくつかが混合してできた集団もあるし、実生品種のように遺伝子型の異なる個体が集まってできた集団もある。もともと林木というものは野生に近いもので、しかも原則として他家受粉するので、実生集団は個体毎にすべて遺伝的に異なっている。したがって林業の品種は、一部のさし木品種を除くと、集団としてはある共通の特性、例えば雪に強いとか、寒さに弱いとかいう特性はもっていても、1本1本をみれば様々な遺伝要素をもっており、遺伝的に不均一である。すなわち、遺伝的固定度、遺伝的均一性は低く、多様性を保有している。「林学上の品種とは、一樹種中において一定の形質を有し、その形質が遺伝的要因に関係を有する場合、その形質を有する一群の樹木を総称した応用分類学的単位である」とされ(佐藤 1950)、「ある樹種の中に、何らかの原因によって互いに遺伝的に切り離され、かつ遺伝的構成に違いの認められる集団が二つ以上あるとき、その各々を品種と呼ぶ」としている(戸田 1953)。

このように林業品種は、農業で広く理解されている品種の概念とは大きく異なっている。現在開発されている品種は主として実生の育成品種が多くなるが、このことは育種法を解説するとき、詳しく述べるとして、ここでは林木における品種の考え方を整理するとともに、地域品種とさし木品種に分けて、現在までに我が国で伝統的に分類、命名されてきた在来品種のうち、比較的名の通ったものを挙げ解説してみよう。

1. 林木における品種 — 林業品種の定義と区分 —

我が国の林業樹種では、概念を異にする2通りの品種が存在している(井出・白石 2012)。1つが地域品種(天然品種あるいは産地品種や地方品種とも呼ぶ)であり、もう一つが栽培品種(人為品種とも呼ぶ)である。

地域品種は、その地域の気候条件や土地条件によって自然淘汰作用によって天然に成立したもので、それらの中には、天然生林で他の集団とその性質(形態、更新法、材質など)を異にするもの、または特殊な環境(高海拔、豪雪地帯など)に成立しているものなどが含まれる(全国林業改良普及協会 1969)。

栽培品種は、人間の干渉、すなわち育成林業の結果として成立した品種で、①在来のものを人為的に淘汰して比較的変動幅の少ない集団を作り上げているもの(全兄弟、半兄弟などの子供の集団)、②複数個体あるいは単一個体からさし木によって増殖した個体群で、複合クローンあるいは単一クローンから成り立っている(全国林業改良普及協会 1969)。また栽培品種は、その成立によって、在来品種と育成品種とに分けられる。在来品種は長い栽培期間中に自然淘汰あるいは人間の無意識選択によって成立したもので、一般に多くの遺伝子型の混合状態にあると考えられるが、成立の由来と繁殖様式によってはクローンを形成しているものもある。さし木在来品種の多くはこれに属する。京都における台杉、九州地域におけるスギ在来品種や石川県におけるヒバ品種などは在来品種の代表的なものである。このような在来品種は、計画的に育種がなされたものではないが、古くから経験的に育成されたものであり、無意識に選抜された林業品種であるといえる。

一方、育成品種は人間がある目的を持って意識的に選択し、育成してきたものである。これは精英樹のクローンや自然発生的または人為的突然変異による枝変り、種間あるいは種内交雑によってできた1代雑種などが含まれる(全国林業改良普及協会 1969)。育成品種は、繁殖の違いによって実生品種と栄養系品種(無性品種)に区分される。さらに、品種を構成する遺伝的な大きさによって集団的な品種と単一品種に区分し、前者には集団品種と複数クローン品種とが、後者には家系品種と単一クローン品種が含まれる(図2-1)。

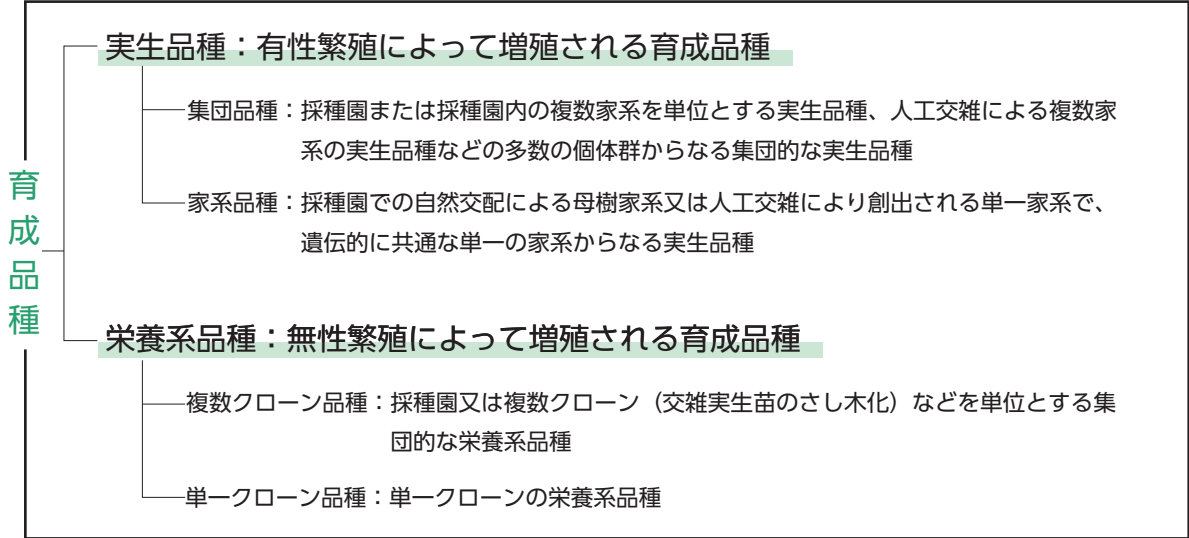


図2-1 | 林業における育成品種の区分と定義

以下、ここでは地域品種と栽培品種のさし木品種についていくつか事例を挙げて述べることにする。

2. 地域品種

林木の天然分布をみると、スギ、アカマツ、クロマツは北海道を除く日本全土に分布しているし、ヒノキも関東以西に広く分布している。これらの天然林は連続的にあるのではなく、不連続に、しかも団塊状に分布している。そのため、それぞれ分布している地域によって隔離され、異なった環境下で長い間更新を繰り返しているうちに自然の淘汰をうけ、環境に適応したものだけが生存している。こういう天然林は、ある種の遺伝的形質を共通にもっているもので、われわれが造林材料として種苗を区分し選択するのに便利である。そのため、分布区域ごとに名前がつけられている。もちろんこの分け方は地域のとり方によって、同じものでも、いく通りかに分類されたり、別の名前と呼ばれたりすることもある。我が国は国土が南北に長く、地形も複雑であるから分類の単位も大分け、小分け様々なものがある。

最も代表的なスギの大分類にオモテスギとウラスギがある。これは本州中部の脊梁山脈を境にして、太平洋側の雪の少ない地方のものをオモテスギとし、日本海側の多雪地帯のものをウラスギとしたものである。これは冬季の対照的な環境条件への適応の結果生まれたものと考えられる。主な形態的特徴を標準的な記載によって示すと表2-1のようになっており、針葉の形態や枝ぶり等の性質に違いがあることが知られている(図2-2)。オモテスギの代表的なものとしてはヤナセスギ、ヨシノスギなどがあり、ウラスギにはアキタスギがある。

表2-1 | オモテスギとウラスギの形態的特徴

	針葉	下枝	樹冠の先端
オモテスギ	ほぼ直線、開出角度は広い	下垂せず、枯れ上がり易い	早くから鈍形になる
ウラスギ	多少湾曲し、開出角度がせまい	下垂し、伏条により幹になる。枯れ上がらない	かなり高齢まで尖る

(草下正夫 1952)

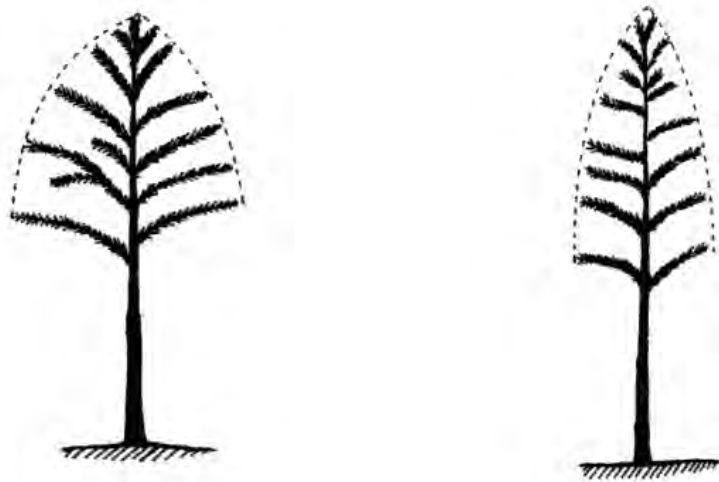


図2-2 | 雪に弱い樹冠のオモテスギ(左)と雪に強い樹冠のウラスギ(右)

この大分類よりもっと細かい分類では、有名な天然林のある地方で、その地方名をつけて呼び名としたものが多い。ここでは、スギ、マツ類及びカラマツについて主なものを表2-3～5に挙げた。ここに挙げたものは、天然の状態で地域的に区別されたものであるから、天然品種と呼ぶことができる。以下、全国林業改良普及協会(1969)から引用し、いくつかの地域品種について概要を記載する。

表2-2 | 地域品種

アキタスギ (秋田杉)	秋田県米代川、雄物川、子吉川流域及び青森県南西部一帯に分布する。心材は鮮紅色でツヤがよく、軽くて弾力性に富み、放射組織がよく発達し柱目方向に割れやすい。
クマスギ (熊杉、熊野杉)	長野県長野市(旧戸隠村)、新潟県糸魚川市、糸魚川市(旧青海町)及び妙高市(旧妙高村)一帯の標高150～1500m付近において伏条で増え、耐雪性、伏条性が強い。この系統からさし木で増やされ、栽培品種として成立したものがある。
タテヤマスギ (立山杉)	富山県中新川郡立山町、上市町及び黒部市(旧宇奈月町)一帯の標高500～1,600mの範囲(ただし上限は1,910mの地点にある)にある。いくつかの系統に分けられているが、いずれも耐雪性、耐寒性が強く、耐陰性も大きい。
オキノヤマスギ (沖の山杉)	鳥取県八頭郡智頭町、沖の山、穂見山、那岐山を中心とした標高500m以上にみられ、800～1,000m付近で落葉広葉樹と混交群生している。
ヨシノスギ (吉野杉)	奈良県吉野地方、三重県西南部、和歌山県東南部一帯のスギを指す。人工造林の歴史が古く、現在では天然林として残っているのは稀である。
ヤナセスギ (魚梁瀬杉)	天然性ヤナセスギが現存しているのは高知県安芸郡馬路村、奈半利川上流一帯の標高500～1,100m付近に針・広葉樹と混交している。
ヤクスギ (屋久杉)	鹿児島県熊毛郡屋久島町にまたがる標高300m以上の山岳地帯にあって、その存在場所と大きさから区別されている。樹齢1,000年以上のものを「ヤクスギ」といい、標高700～1600mの奥地にあり、樹脂分が多く、伐倒木を長年放置しても腐らない。

(全国林業改良普及協会 1969 を改編)

表 2-3 | スギの地域品種と分布区域

名称	分布区域
アジガサワスギ	青森県鰹ヶ沢町矢倉山国有林(裏日本最北端のスギ、秋田スギの1地域性品種)
オウシュクスギ	岩手県雫石町および和賀郡西和賀町(旧沢内村)(秋田スギの1地域性品種)
アキタスギ	秋田県米代川・雄物川・子吉川流域および青森県西南部(秋田スギの1地域性品種、樹皮型によって6つのタイプに分けられる)
トウドウスギ	秋田県北秋田市(旧阿仁町及び旧森吉町)(耐雪・耐寒性が強い、秋田スギの1地域性品種)
マキノザキスギ	宮城県石巻市牧ノ崎(表日本最北端のスギ)
ムラスギ	新潟県岩船郡、北蒲原郡、東蒲原郡(耐雪性強く、クマスギに似ている)
ホンナスギ	福島県只見川上流(耐雪性強くムラスギに近い)
クマスギ	長野県上水内郡、新潟県糸魚川市、妙高市(長野県北部のさし木育成品種とは異なる。広く本州の脊梁山脈に分布する天然杉をクマスギの名で呼んだ人もある)
タテヤマスギ	富山県中新川郡、下新川郡(立山を中心とした一帯の山岳地に分布し、我が国で最も高いところにあるスギである)
イトシロスギ	岐阜県郡上市(旧白鳥町(旧福井県石徹白村))
アシュウスギ	京都府南丹市芦生地方(下枝が下垂して先端が発根するタイプのスギに命名された)
シソウスギ	兵庫県宍粟市山崎町(クマスギに似ているので、シソウクマスギとも呼ぶ)
エンドウスギ	岡山県苫田郡、鳥取県東伯郡(中国山脈人形峠附近に分布し、鳥取県に分布するものはトウハクスギとも呼ばれている)
オキノヤマスギ	鳥取県八頭郡智頭町(沖ノ山、穂見山一帯に分布し、さらに8種の形態に分けられている)
ヨシノスギ	奈良県吉野郡下(表日本型の代表的なスギ。その起源は他から導入されたともいわれている)
ヤナセスギ	高知県安芸郡下魚梁瀬地区の国有林(樹冠型によって5つのタイプに分けられる)
ヤクスギ	鹿児島県屋久島(日本最南端にある老齢巨木の天然林)

(全国林業改良普及協会 1969 を改編)

1
2
3
4
5
6
7
8

産地・系統・品種

表 2－4 | マツ類の地域品種と分布区域

名称	分布区域
カッチマツ (甲地)	青森県上北郡東北町(旧甲地村)付近
ミドウマツ (御堂)	岩手県岩手郡岩手町(旧御堂村)一帯
トウザンマツ (東山)	岩手県東一関市東山地方
シラハタマツ (白旗)	山形県南部一帯、米沢市近郊
ツシママツ (津島)	福島県双葉郡浪江町(旧津島村)附近
キリウエマツ (霧上)	長野県北佐久部下、浅間山南麓一帯
スワノモリマツ (諏訪森)	山梨県富士吉田市、富士山南麓
ダイセンマツ (大山)	鳥取県下、大山の北面一帯
ナメラマツ (滑)	山口県下、滑山国有林一帯
オオドウマツ (大道)	高知県高岡郡四万十町大道
ヒュウガマツ (日向)	宮崎県北部、大分県南部
モドウマツ (茂道)	熊本県水俣市袋
キリシママツ (霧島)	鹿児島県霧島国有林

(林野庁編「日本の有名松」石川健康監修、林業普及シリーズ No.45 を改編)

表 2－5 | カラマツ産地・系統区分

名称	分布区域
川上・東山梨系	長野県川上村、山梨県東山梨郡
八ヶ岳系	長野、山梨両県、八ヶ岳～蓼科山一帯
浅間山系	長野、群馬両県境、浅間山
富士山系	山梨、静岡県境、富士山麓
南アルプス系	長野、山梨県境、南アルプス山塊
日光山系	栃木県、群馬県、日光山と尾瀬原
北アルプス系	長野、岐阜、富山、新潟の各県、北アルプス山塊
木曽山系	長野、岐阜両県にまたがる御嶽山一帯

(高橋松尾：カラマツ林業総説、日本林業技術協会 1960 を改編)

3. さし木品種

我が国にはスギのさし木品種は多数あり、九州だけでも在来のものが100 種以上あるといわれている。もちろん、名前はあってもその苗木をすぐ手に入れられるというものは少なく、実用的に植えられているのは30 種内外である。

スギの在来品種については、その来歴はほとんど分かっていないが、成立過程から大きく2つに分けられる。一つは1 本の特殊な個体を発見し、これをさし木によって増殖したもの、つまり「クローン」(栄養系)と呼ばれるものである。これは1 本の親木から分身としてできた子供群であるから、その苗木はすべて同じ遺伝的組成となっている。九州の武藤品雄氏の育成したクモトオシや福田孫多氏の天心、日本晴などがそれである。これらはさし木による育成品種である。

1
2
3
4
5
6
7
8

一方、ある地方でさし木苗を生産するため、多くの母樹からさし穂を採取してきて育苗し、これを植林しては再び造林地からさし穂を採取するといった方法を繰り返してきたものがある。これは世代を繰り返しているうちに、さし木に不適当なものやその土地の環境に合わないものは次々に淘汰され、現在では発根がよく、その土地に適したものだけが混合体となって残っていることになる。この種のものは比較的遺伝的組成の似た幾つかのクローンが混合しているので、これを「混合クローン」(準クローン又はクローン・コンプレックス)と呼ぶ。現在スギのさし木品種は大部分が混合クローンである。以下、いくつかのさし木品種について概要を記載する。

サンブスギ - これは千葉県山武地方で古くから植栽されてきた品種である。特性としては、樹冠(クローネ)が狭いこと、幹が通直で完満であること、成長はやや早生の方であること、雄花(花粉)をほとんど着けない、材色は淡紅色で美しい、スギ非赤枯性溝腐病に弱いことなどが挙げられている。成立過程ははっきりしていないが、紀州から入ってきたものとも、千葉県中部にあった天然スギからさし木に移されたものだともいわれている。

クマスギ - この名前は、信越国境にある天然スギをクマスギと呼ぶのとは異なる。このスギは長野県の柏原地方で養成されているさし木苗の集団であり信越国境の多雪地帯でよく育つところから、このさし木苗の集団に対して天然スギと同じ呼び名がつけられたものと推定される。その母樹については、もちろんはっきりしたことは分らない。しかし一般には、先に述べた信越国境の山岳地帯にあった天然クマスギからさし木苗を養成したものと考えられている。このスギは形態的には種々雑多なものが入っているので、苗木を見ただけではクマスギであると断定することは難しい。非常に純度の低い混合クローンである。しかし、寒冷地に向くことと、積雪に耐えて育つという点では、特徴のある集団である。

ボカスギ - 富山県西砺波郡地方(現南砺市、高岡市)で育成されたさし木品種である。あまり広範囲に植えられているスギではないが、成長が早く、形態的にもよく揃っているので、サンブスギと並んで中部日本では有名なスギである。ただ欠点としては雪に弱いので、多雪地帯では植えられない。形態的特徴は樹冠が長円錐形であり、針葉は長く太く、しかも枝葉がかなり密についている。成長が早く年輪幅は広い。材質が弱く雪折れが多いとされる。

キタヤマスギ - 京都市の西北端にある北山地方では、古くから磨丸太の生産を目的とした特殊な林業が行われている。ここでは実生スギと同時に、色々なさし木品種も育成されている。これは大きくシロスギ、シバハラ、タネスギの3つに分けられている。このうちタネスギは本来実生であるが絞(シボ)材の生産を目的とし、材の表面にしわがあるという形態的特徴のある個体(天然シボ)を選んでさし木増殖を行っている。ここではクローン品種の育成が今なお盛んで農作物と同じように品種別に適地が区分けされている(表2-6)。絞丸太が高価で取り引きされるので苗木もかなり高価である。

オキノヤマスギ - 鳥取県八頭郡智頭町地方で、沖の山の天然スギを源としてさし木品種にしたものである。したがって耐雪・耐寒性の強い伏条性のスギである。天然体からさし穂をとってさし木に移したものであるから、形態的にはいろいろなものが混合している。人によっては、3系統5種類にも細分されてそれぞれ名前がつけられているがひとまとめにしてオキノヤマスギとしても実用上差し支えない。

クモトオシ - 熊本県菊池郡水源村(現菊池市)で武藤品雄氏がヨシノスギの中で成長が一段とよい個体を選びさし木で繁殖し、雲を通り抜けるほど成長がよいという意味でこの名をつけた。現在では全国各地に植えられ、一時苗木は年間50万本も生産されたことがある。原産地では、早生品種でしかも肥沃、湿潤地を好むところから、30年生で板材を生産するような短伐期の施業に用い、谷間の肥沃地を選んで植えている。全国各地に試植された例をみると10年生位では他のさし木品種に比べて抜群の成績を得ている。しかし、スギノハダニに弱いともいわれていて、壮齢期以上になると諸害をうけ成長が悪くなることもあるので、適地をよく吟味して植える必要がある。

表2-6 | 天然しほ品種適地基準

品種名	適地		
	肥沃地	中間地	やせ地
中源	○	◎	○
雲外	◎	○	×
広河原	×	○	×
三五	◎	○	×
ウメダ	◎	○	×
奥山	○	◎	○
クロ	○	◎	○
よしべ	×	◎	○
古念谷	×	◎	○
秀の手	○	○	—
月夜	◎	○	×
打合	◎	○	×

◎最適地 ○適地 ×不適地

(若水豊 1980)

ヒタスギ - 有名な九州の日田林業を中心に、小国林業、八女林業など筑後川の上流にある林業地帯で植えられているさし木品種の総称である。この地方では、他の有名林業地のように特殊材の生産を目的とするばかりでなく、むしろ適地適品種という栽培技術を目指して品種を育成してきたのである。この地域は福岡、大分、熊本の3県にまたがり、地質的にみれば古生層や第三紀層から火山礫や火山灰などの堆積した新しいものまで様々なものがある。また地形も複雑であり標高差もかなりあるところから、森林の環境は多種多様である。そのため、それぞれの土地に適した品種の育成が必然的に行われたものらしく、多数のさし木品種がある。代表的な品種を挙げると、高冷、乾燥地帯に向くアオスギ、成長は遅いが、耐寒、耐雪性のあるホンスギ、火山灰質土壤に適するヤブクグリ、古生層地帯の北向き斜面にのみ適するといわれるウラセバルなどがある。この他、晩生品種とされているアヤスギ、ネジカワなどもある。これらのさし木品種は、各地の天然林または実生の人工林からさし木に移されたもので、長い間の人為的淘汰を経て成立した混合クローンである。したがってこの中にもさらに細かく分類されたものがあり、いろいろな呼び名がつけられている。

オビスギ - 宮崎県南部の飫肥林業地帯で育成されたさし木品種の総称である。約400年前から造船用の弁甲材を生産するために育てられてきた。材の特徴としては、疎林にして大径木を育てるので節は多いが、軽くて偽年輪が多く、造船材に適するといわれていた。この中にも多数の品種があるが代表的なものを挙げると、オビオカ、タノアカ、アラカワ、トサグロ、ハングロ、クロ、ヒキ、ガリンなどがある。

メアサ(サツマメアサ) - 鹿児島県の霧島火山群の噴出物が風化してできたシラス土地帯で、古くから育成されてきたさし木品種である。かなり広範囲の地域であるから育成された地区によって別の名がつけられているものもある。しかし全体としての目立った特徴は、年間を通じて葉色が浅黄色で、とくに芽のところが黄色になることである。深根性で耐乾性はあるが生長は晩生である。また材は強靱であるといわれている。九州では各地に広められ国有林にも、このスギの造林地がある。

4. 品種の識別法

品種の識別は、かなり専門的、経験的な眼識が必要であるが、さし木では古くは外部形態による識別方法も行われていた。しかし、実生の集団を含め、林業上のいわゆる品種には、形態的に明確に区別できるものは少なく、外見だけでの判定は極めて困難であり、ほぼ不可能といってもよい。科学的な方法として、以前はタンパク質の抗原抗体反応や、電気泳動で分離した酵素の活性を比較するアイソザイム分析などが用いられたが、ゲノム解析技術の進展により、DNA分析による品種識別が可能となっている。DNA分析では、品種ごとにゲノムDNAの複数の領域の塩基配列を利用して、特定の品種を識別する。同一のDNA領域において個体ごとあるいは品種ごとに異なる塩基配列が認められることを「多型」と呼び、この多型を利用して個体や品種の識別を行う。識別するためのゲノム上の目印を「DNAマーカー」と呼ぶ。林木の品種識別に使用される代表的なDNAマーカーについては、次項で解説する。

引用文献

- 井出雄二・白石進(2012)森林遺伝育種学, 文永堂出版, 296pp
- 石川健康(1956)日本の有名松, 林野庁指導部研究普及課, 209pp
- 松尾孝嶺(1965)育種学, 養賢堂, 361pp
- 農林水産省(2022)品種登録制度と育成者権,
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/hinshu/act/etc/seido_pamph_R4.pdf (2024年10月3日取得)
- 佐藤敬二(1949、1950)林木育種学, 朝倉書店, 521pp
- 高橋松尾(1960)カラマツ林業総説, 日本林業技術協会, 381pp
- 武田和義著(1993)植物遺伝育種学, 裳華房, pp249
- 戸田良吉(1953)林木育種, 朝倉書店, 107pp
- 全国林業改良普及協会(1969)スギのすべて, 全国林業改良普及協会, 629pp

3 林木の遺伝と育種の基礎知識

1. 遺伝子とDNA

遺伝というと、親と子供が似ている特徴、例えば背が高い、目の形が似ている、という表面に表れている特徴や、ABO血液型を思い浮かべる人が多いであろう。このような特徴は「形質」と呼ばれ、経験的に親の形質は子供に引き継がれ、それが遺伝子によるものであることは広く知られている。

染色体、遺伝子、DNA またDNAマーカー等について詳しく知りたい場合は、次ページ以降のコラムを参照されたい。

1
2
3
4
5
6
7
8

コラム①

染色体、遺伝子、DNA

DNA（デオキシリボ核酸）は、アデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)の4種類の塩基と糖、リン酸からなる二重らせん構造をしている(図3-1)。これは4種類の塩基が連なった2本の鎖状のDNAが、A-T、G-Cが相補的に対になって結合をしている。この状態を二本鎖DNAという。これが糸のように折り畳まれて核内に凝縮したものが染色体である。染色体は多くの高等生物では母親と父親からそれぞれ対となる1セットを受け継いでおり、二倍体と表される。各生物で染色体数は決まっており、ヒトは46本、スギ、ヒノキは22本、マツは24本である。染色体を含むすべての遺伝情報をゲノムと呼ぶが、ゲノムの大きさは生物ごとに決まっており、針葉樹は一般的に非常に大きく、ヒトゲノムは約30億塩基対であるのに対して、スギゲノムは約110億塩基対もある。真核生物は核ゲノムの他に、エネルギーを産生する細胞小器官であるミトコンドリア内のミトコンドリアゲノムを、植物は光合成を司る葉緑体内に葉緑体ゲノムを持つ。いずれのDNAも、細胞分裂の際に複製が行われる。通常二本鎖として存在するDNAは、複製時には結合が外れ、一本鎖DNAとなる。離れた一本鎖DNAは鋳型(テンプレート)となり、DNAポリメラーゼという酵素の働きによって鋳型となる一本鎖DNAに対合するように、相補的なDNAが複製される。このDNAポリメラーゼという酵素を利用して、人工的にDNAを複製するPCR技術が確立されている。PCR技術は分子生物学を飛躍的に発展させた技術である。

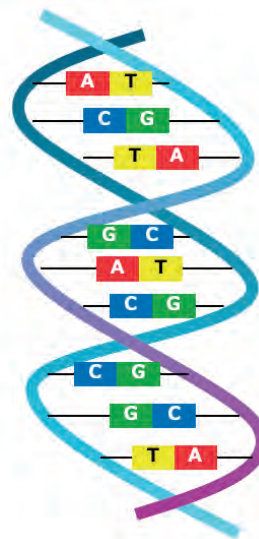


図3-1 DNAの二重らせん構造の模式図
(林木育種センター 業務資料より)

骨格はデオキシリボースとリン酸が結合し、らせんを描きながら鎖を形成している。塩基は内側に向かって相補的な塩基と水素結合している。

		2 番目の塩基								
		U		C		A		G		
1 番 目 の 塩 基	U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン	U
		UUC		UCC		UAC		UGC		C
		UUA	ロイシン	UCA		UAA	終始コドン	UGA	終始コドン	A
		UUG		UCG		UAG		UGG	トリプトファン	G
	C	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン	U
		CUC		CCC		CAC		CGC		C
		CUA		CCA		CAA	グルタミン	CGA		A
		CUG		CCG		CAG		CGG		
	A	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン	U
		AUC		ACC		AAC		AGC		C
		AUA		ACA		AAA	リジン	AGA	アルギニン	A
		AUG	メチオニン（開始コドン）	ACG		AAG		AGG		G
	G	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アルバラギン酸	GGU	グリシン	U
		GUC		GCC		GAC		GGC		C
		GUA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA		A
		GUG		GCG		GAG		GGG		

3
番
目
の
塩
基

図3-2 コドンとアミノ酸の対応表(林木育種センター 業務資料より)

4種類の塩基の3つの組み合わせ(4³=64)に対して20種類のアミノ酸が定義されるため、重複するものも多い。

(注釈) コドンはDNA塩基として表示する場合もあるが、ここでは通例にしたがってRNA塩基として表示してある。すなわち、Tの代わりにUを用いている。

1
2
3
4
5
6
7
8

現在では、遺伝子とはDNAのことである、というのは広く知られている。DNAの互いに隣り合う3つの塩基が1つのアミノ酸に対応しており、20種類のアミノ酸の設計図(コドンという)となっている(図3-2)。DNAのコドンが指定する順番にアミノ酸が鎖状の配列に配置されることによってタンパク質が構成される。

遺伝情報であるDNAの塩基配列は、同一の生物種内ではほとんど配列は同一で、タンパク質を作らない配列部分では個体によって配列に変異があり、その変異を利用して個体の識別を行うことができる。一方で、タンパク質が作られる配列部分に変異があると、形質に大きな違いが表れる。コドン表を見ればわかるとおり、突然変異等によりもし1塩基が他の塩基に変わっただけでも、全く異なるアミノ酸が作られる可能性がある。1塩基の違いを一塩基多型(Single-nucleotide polymorphism、SNP)と呼ぶが、このSNPにより形質が決定される場合や、病気の原因となる場合もあり、ヒトの鎌状赤血球症はSNPにより引き起こされている。SNPの他にも、一部の配列がなくなっている欠失や、挿入される場合もある。これらの変異は親から子へと受け継がれ、遺伝していく。次の項では、遺伝様式について述べる。

コラム②

質的遺伝

遺伝に関して初めて体系的にまとめたのは、かの有名なメンデルである。メンデルは修道院の庭にエンドウを植え、その種子の形や子葉、種皮の色、サヤの硬さや色、花の付く位置、茎の高さなど7つの形質を用いて交配実験をし、その遺伝法則を慶応2(1866)年「植物雑種の研究」という論文にまとめた。彼の功績は存命中には評価されなかったが、没後複数の研究者がほぼ同時にメンデルが発見した法則と同じものを提唱した(再発見した)ことで脚光を浴びることとなった。メンデルの遺伝法則とは、次のようなものである。

形質には相対立する形質があり、これを対立形質という。メンデルはエンドウを用いたが、種子の色が「黄色」と「緑色」のもの、「丸」と「しわ」のものがそれぞれ対立形質である。これら2つの形質が異なる個体を交配して、2つの対立形質の遺伝様式を明らかにした。この交配実験を模式的に表したのが図3-3である。「丸」と「しわ」を交配すると、その子供は全て「丸」になった。次に、その子供同士を交配(自家受粉)すると、「丸」と「しわ」は3:1の割合で現れた。この形質は1対の対立遺伝子により制御されており、片親が遺伝子型AA「丸」を、もう片方の親が遺伝子型aa「しわ」を保有するとき、両者を交配した子供は一方の親からAを、一方の親からaの配偶子を受け継ぐため、子供の遺伝子型は全てAaとなる。この時、AAとaaのように同一の対立遺伝子の個体を「ホモ接合体」、Aaのように異なる対立遺伝子の個体を「ヘテロ接合体」という。

この対立形質は1対の対立遺伝子によって支配されており、形質は「丸」のみになることから、「丸」は顕性(優性)形質であり、「しわ」は潜性(劣性)形質であるという。この法則はメンデルの「優性の法則」と言われている。さらにその子供を自家受粉させると、その子供の遺伝子型はAA:Aa:aa=1:2:1となり、形質は「丸」:「しわ」が3:1で現れる。子供の個体によって形質が分離して伝わることを「分離の法則」という。このとき、同様に、「黄色」Bと「緑色」bは対立形質であり、上記の「丸」「しわ」の形質と同様に分離する。「丸くて黄色い種子」AABBと、「しわで緑色の種子」aabbを交配すると、子供は「丸くて黄色い種子」AaBbとなる。さらに自家受粉すると子供はAABB:AABb:aABB:aabb:2AABb:2AaBB:4AaBb:2Aabb:2aaBbとなり、「丸くて黄」:「丸くて緑」:「しわで黄」:「しわで緑」は9:3:3:1に分離する。これを各対立遺伝子で見ると、2世代目(F₂)では「丸」:「しわ」、「黄色」と「緑」がいずれも3:1に分離している。このように、各対立形質は他の形質に関係なく独立して分離することを「独立の法則」という。実際には複数の遺伝子が独立しておらず、互いに作用し合うこと

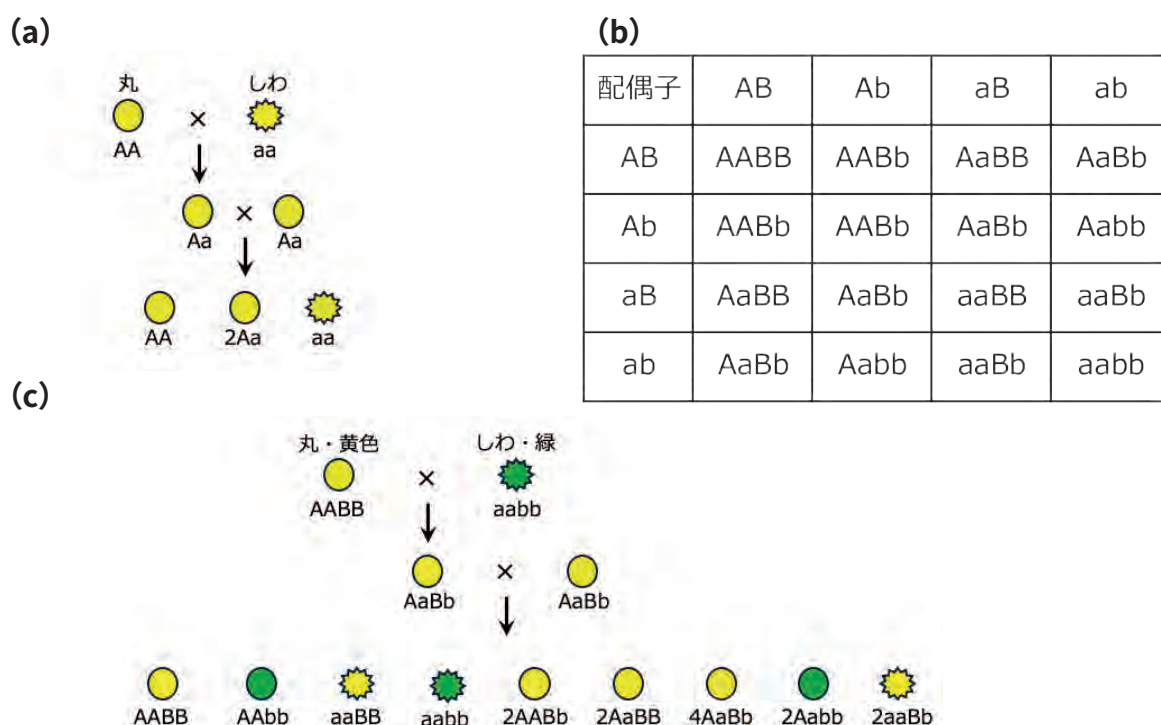


図3-3 メンデルの法則による対立遺伝子の後代の遺伝子型と分離比(林木育種センター 業務資料より)

- (a)エンドウマメの丸としわの遺伝様式
- (b) 2つの対立遺伝子について、自家受粉させた場合の配偶子の組み合わせ
- (c)自家受粉させた場合のエンドウマメの色と形の分離比

もあるが、このメンデル遺伝は作物だけでなく動物など全ての生物に普遍的に存在し、もちろん樹木にも当てはまる。

メンデル遺伝に従う1つまたは少数の対立遺伝子によって形質が決まる遺伝様式のことを質的遺伝という。質的遺伝とされている形質として、スギでは無花粉スギ原因遺伝子のメンデル遺伝が最もわかりやすいだろう。

無花粉スギとは雄花は形成するが花粉が形成途中で止まる、または異常な花粉が形成されることで、花粉が飛散しないという突然変異体である。スギにおいて平成4(1992)年に富山県で最初に発見された(平ら 1993)。一方、この個体の雌花は正常に機能するため育種素材として利用可能である。無花粉スギの利用は、花粉症が社会問題となっている我が国において、有効な花粉症対策の一手段と考えられている。正常な花粉を形成する対立遺伝子をA、花粉を形成しない対立遺伝子をaとすると、正常なスギAAと無花粉スギaaを交配すると、子供は全てAa(花粉あり)となり、子供同士(Aa×Aa)を交配すると無花粉スギaaは4分の1の確率で現れる(図3-4)。無花粉スギaaとヘテロAaを交配すると、その子供は半分が無花粉スギとなることから、無花粉スギ(aa)を採種母樹とし、ヘテロ個体(Aa)を花粉親として、外部から飛散する花粉を遮断できる閉鎖型の採種園で種子を生産する手法が取られている。この無花粉スギには複数の種類があり、最も利活用が進んでいるのはMSIと呼ばれている遺伝子による無花粉スギである。この遺伝子には4塩基あるいは30塩基の欠失が認められる(Hasegawa *et al.* 2021)。

また、近年別の種類の無花粉スギについても、原因遺伝子(MS4)が特定され、花粉壁の生成に関わる酵素を合成する遺伝子にみられた1つのSNPにより無花粉となっていることが示された(Kakui *et al.* 2023)。他に1対の対立遺伝子に制御されている例として、針葉が螺旋状に巻き付くような特殊な形態

をしているヨレスギや、冬季になっても葉が赤くならないミドリスギなどが挙げられる。作物では花の色や病虫害抵抗性などにも質的形質がある。無花粉スギのように、原因遺伝子が特定されているものや、原因遺伝子の近くに存在する変異が特定されている場合は、その変異を利用したDNA マーカーが開発されており、DNA マーカーによる選抜が行われている (Mishima *et al.* 2018; 坪村ら 2019)。質的形質は関わる遺伝子の数が少ないため、遺伝子が特定されればこのようなマーカーの開発と利用が比較的容易であるが、樹木、特に針葉樹はゲノムサイズが大きく、作物やモデル植物に比べて遺伝子の情報の整備が進んでいないため、実際にDNA マーカーによる選抜が行われている例は現段階では無花粉スギの場合に限られる。

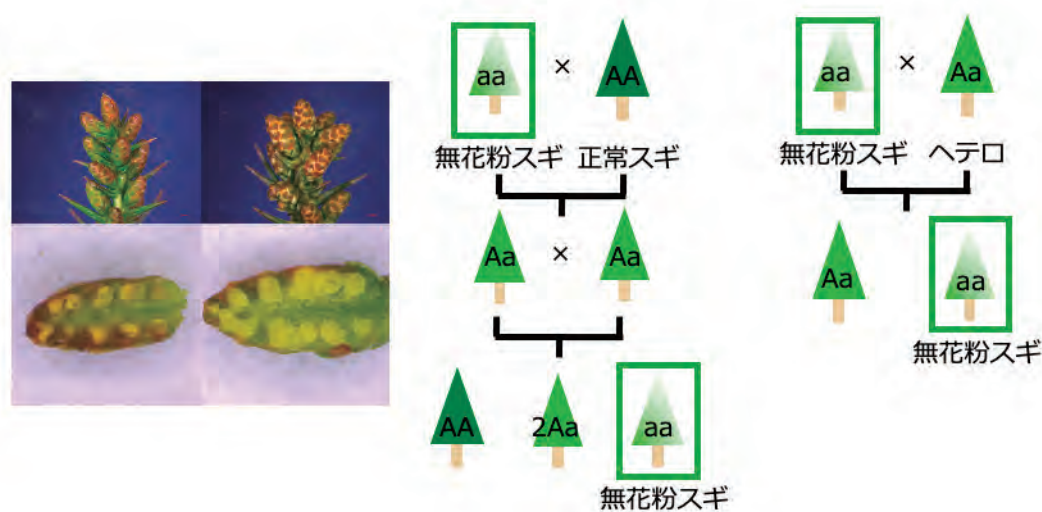


図3-4 | 無花粉スギと正常なスギの雄花(左)と、無花粉スギの遺伝様式(右)(林木育種センター 業務資料より)

コラム③ 量的遺伝

一つ、もしくは少数の遺伝子により支配されている質的遺伝に対し、複数の遺伝子の効果の総和によって支配される形質を量的形質といい、ヒトの身長や体重、作物の収量、林木では樹高や直径などの成長形質、雄花の着花量、材の密度やヤング率など育種にとって重要な形質はほとんどが量的遺伝する形質であるといえる。量的形質では、質的形質のような明確な分離を示さず、子供のとり値は連続的に変化し、平均値に近いものが最も多く、多数の個体を調査した場合、各個体の示す値は正規分布に近い頻度分布を示す。また、形質の値には遺伝要因だけでなく環境要因も影響する。成長等の量的形質については、形質に関与する遺伝子は未解明であるが、交配、評価、選抜を進めることによって改良が進められている。

量的形質を改良するため、ある集団の中から一定の基準で選抜を行い、選抜した個体を親として交配した子供の平均が、選抜対象とした集団の平均からずれる場合、その量的形質は遺伝的要因に支配されていることになる。ある林分において多数の個体の樹高を調査し、図3-5のように横に樹高をとり、縦に本数の頻度分布をとると、上の図のような曲線になる。この曲線は中心で最も本数が多く、中心が集団の平均値(M)となっており、それより大きく、あるいは小さくなるに従って本数が少なくなる正規分布を示している。この集団の中で成長が良好な個体(分布の右端)を選抜し、選抜個体間で交配して子供を育成し、再度樹高を調査して同様に頻度分布を作成すると、下の図の②のように、元々の曲線①よりも改良された曲線を示す。もし成長が良い要因が遺伝的な要因によってのみ決定されている場合には③の曲線となるが、実際には表現型は環境によるものと遺伝によるものの和であるので、②の曲線になる。

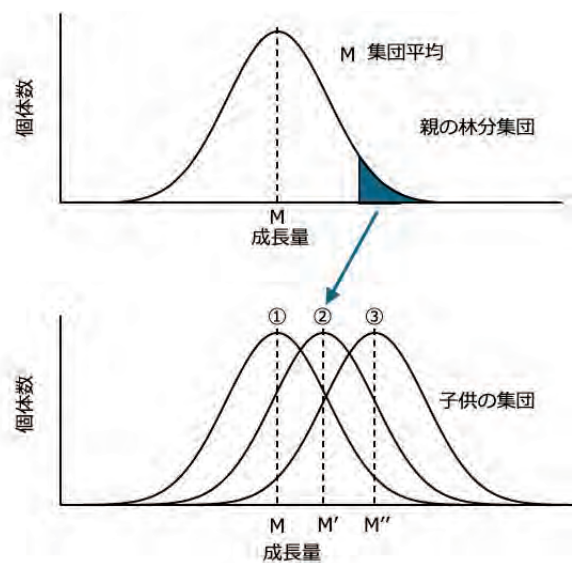


図3-5 | 親と子の林分集団の関係(林木育種センター 業務資料より)

量的形質は多くの遺伝子が累積的に働いた結果であると考えることができ、このような遺伝子をポリジーンと呼んでいる。ポリジーンの中には効果の大きな主働遺伝子と、効果の小さな微働遺伝子がある。

林木の遺伝は上記の量的形質がほとんどであるが、どのように遺伝的に改良していけば良いのであろうか。実は、一般的な造林事業の中でも、ある程度の改良が行われている。林木は本来他家受粉するので、親木がある遺伝的に不良な形質を支配する遺伝子を持っていても、多くの場合ヘテロでもっているため、表現型には表れない。しかし自家受粉する場合もあれば、偶然このような遺伝子をもった親木同士との交配もあり得るので、不良遺伝子がホモとなり、潜性形質が表れる苗木がしばしば出てくる。

まず、種子を採取する場合、たとえ1本の母樹から採取しても種子は1粒ずつ異なった組合せの遺伝子を親から受け継いでいる。この種子を播種すると、発芽直後に、黄子や白子と呼ばれる致死遺伝子をホモで持つ個体が出てくることがある。これらは1～2週間たつと枯死して消えるので、ほとんど気付かれないうちになくなってしまふ。この種の遺伝子は造林成績には関係ないが、得苗率が低くなるので、なるべく少ない方がよい。また致死遺伝子ではないが、他の不良遺伝子を持っているため著しく成長が抑制されたり(矮性化)、活力の弱い苗木となる場合もあるが、これらも間引きや床替えの際、毛苗の段階で取り除かれる。こうして不良遺伝子は育苗段階でかなり除去されている。天然更新の場合も同様で、稚樹間の競争で活力の弱いものは淘汰を受けている。一方、現在は苗畑ではなくコンテナによる育苗を行う生産事業者が多く、コンテナでは床替えや間引きを行わないため、不良形質を持つ個体が育苗の最終段階まで残る可能性が考えられる。ただ、苗木の出荷には規格が決められているため、矮性化した個体はその段階で出荷対象から外れると期待される。出荷された苗木は、数年間は下刈りをするので個々の樹木同士または雑草との競争は少ないが、やがて成長して樹冠が重なりあうようになってくると、個体間競争により大きな個体と小さな個体の差が大きくなる。そこで、林分全体の樹木が持っている実力を最大限に発揮できるように、不良木の除伐や間伐が行われる。ここでも、保育作業を通じて意図せず不良遺伝子がある程度除去されている。

ではさし木苗ではどうだろうか。さし木苗は親木のクローンであるので、すべての苗木に遺伝的な違いはない。ただし、実生の林分からさし穂をとってきてさし木苗を育てるとすると、まずさし床で発根性の悪いクローンは除かれる。次にこの苗木を造林すると今度は成長の悪いクローンが除伐、間伐されてしまふ。こうしてさし木苗による造林を2、3世代繰り返すと、発根がよく、その土地に適応するクローンの集まった混合クローン構成となる。それ以後の変化は少なくなるが、クローンの数は常に少な

1
2
3
4
5
6
7
8

くなる方向で動いていく。さし木苗生産が行われている九州地方では、数百年にわたってこのサイクルが繰り返され、さし木に適したクローンが選抜されている。

実生でもさし木でも、森林の保育作業は終始不良個体を淘汰している。最初植えた苗木の本数に対し、収穫時の本数はおそらく30%以下になっているので、いわば、30%の選抜率で優良個体を選んでいることになる。立派な林分を仕立てれば、その林分においてすでに遺伝的質が高められているともみなせよう。森林は壮齢期までに、かなり不良木を淘汰しているが、伐期になって材積を調査してみると、まだ非常に不揃いである。そうすると、この不揃いの林木の中で、材積が大きいものだけを育てるようにすれば、もっとよい林分にすることができると考えられる。林木の育種はこのような考え方で、多くの個体の中から非常に優れた個体を「精英樹」として選び出すところから出発している。

コラム④ DNAマーカー

林木における品種や個体の識別に用いられる代表的なDNAマーカーについて以下に解説する。

1 SSR (Simple Sequence Repeat)分析

SSRマーカーは、林木育種において現在最も広く使われているDNAマーカーで、ゲノムDNA中のマイクロサテライト領域を標的としている。マイクロサテライト領域とは1～数塩基の短い塩基配列が繰り返し存在する領域のことで、この繰り返し数は突然変異が生じやすく、品種ごとに異なることが多いため、高い識別精度を持つ。解析はPCRと電気泳動を用いて行われ、操作は比較的簡便だが、SSRマーカーの開発には労力と予算が必要である。まず、ゲノムからSSR領域を抽出し、数多くの候補(ゲノム中のSSR領域は、イネでは数万とされている)から、多型があり、再現性が高い、分析にあった領域を選び出す必要がある。SSR分析で使用する電気泳動装置は高価だが、外部委託で分析することも可能であり、必ずしも設備の整備は必要でない。複数のSSRマーカーを組み合わせ、複数のマイクロサテライト領域を同時に分析することで、品種特有の繰り返し数の組み合わせが明らかになり、高い精度での品種識別が可能である。さらに、一定の条件が整えば、親子鑑定にも利用可能な非常に有用なDNAマーカーである。

2 SNP (Single Nucleotide Polymorphism)分析

SNP分析は、ゲノムDNA上に存在する1塩基の変異(多型)を標的としている。次世代シーケンサーの開発と普及により、低コストで様々な植物のゲノム情報が解読されており、林木においても網羅的なSNP情報の蓄積が進んでいる。SNP分析では、条件によっては一度に数十から数十万箇所のSNPを分析できるため、大量の遺伝子座を一度に解析することが可能である。これにより、品種識別、個体識別のみならず、血縁関係も高精度で推定できる。また、SSR分析がDNAの長さを比較するのに対して、SNP分析は特定のDNA配列の違いを直接判定するため、より信頼性の高い分析が可能である。現時点ではまだ高度な技術と分析用のコストが必要だが、今後の技術革新によって分析コストが低減されると、より幅広い場面での活用が期待される分析方法である。

引用文献

- Hasegawa Y, Ueno S, Wei F-J, et al (2021) Identification and genetic diversity analysis of a male-sterile gene (MS1) in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). Scientific Reports 11:1494 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80688-1> (2025年3月3日取得)
- Kakui H, Ujino-Ihara T, Hasegawa Y, et al (2023) A single-nucleotide substitution of *CjTKPR1* determines pollen production in the gymnosperm plant *Cryptomeria japonica*. PNAS Nexus 2: 8. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad236> (2025年3月3日取得)
- Mishima K, Hirao T, Tsubomura M, et al (2018) Identification of novel putative causative genes and genetic marker for male sterility in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). BMC Genomics 19:1–16. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4581-5> (2025年3月3日取得)
- 平 英彰・寺西秀豊・劔田幸子 (1993) スギの雄性不稔個体について. 日林誌 75:377–379
- 坪村美代子・平尾知士・三嶋賢太郎・高橋 誠 (2019) 雄性不稔スギ「爽春」の雄性不稔原因遺伝子を持つ個体を検出する簡易DNA マーカーの開発. 日本森林学会誌 101:155–162. https://doi.org/10.26355/eurrev_201801_14106 (2025年3月3日取得)

4 林木の育種

1. 林木育種とは ー考え方と役割ー

01 林木育種の基本的な考え方

ある生物種(以下「種」という。)に個体がある時、その個体は様々な性質や特徴を有している。樹木であれば、樹高や胸高直径、幹の通直性と形態的なものや、寒さや病気などに対する耐性などがある。これらを「形質」という。複数の個体あるいは複数の集団の間で形質が異なっている時、その違いを「変異」という。変異のうち、遺伝的な要因で異なっていることが明らかな場合には明示的に「遺伝変異」や「遺伝的変異」という場合もある。「育種」とは、種が有する遺伝変異を利用し、利用価値の高い個体を選抜し、交配により新たに人為的に作り出し、改良することである。育種はイネやムギ等の農作物、柑橘類やブドウ等の果樹、ウシやブタ等の家畜、マス等の魚類といった多様な種で行われている。樹木でも育種は行われており、主に林業樹種の育種を「林木育種」という。

スギ等の林業樹種の成長には、土壌、気候条件などの環境及び下刈りや間伐などの施業管理といった環境要因の影響が大きいことは経験的によく知られている。一方、国有林等の一般造林地の一部に造成された試験林(検定林)における定期的な調査結果を解析してみると、成長や材質には遺伝変異がみられ、系統によって遺伝的能力が異なることが明らかにされている。林木育種は、日本だけでなく海外においても取り組まれている。ニュージーランドではラジアータマツの育種を進めており、成長量の大幅な向上に成功している。この他にも、アメリカにおけるテーダマツや、ブラジルやオーストラリアにおけるユーカリ、北欧におけるヨーロッパアカマツやヨーロッパトウヒの例を挙げることができる。海外の先進林業地では、林木育種により生み出された優良種苗の活用が成功要因の一つになっている。

育種を行うためには、改良する形質を定め、その形質を調査して遺伝変異を明らかにし、優れた変異を有する個体を明らかにして選抜する。この育種の原理は、基本的にはイネや野菜などの他種における育種と同じである。しかし、林木には、農作物などとは異なる特異な点がいくつかある。①寿命が長く、また収穫までの期間が長い、②個体が長大になる、③野生性が高く、繁殖は基本的に他殖性で、自殖等の近縁個体との交配により遺伝的によくない形質が現れる。①は、工夫をしなかった場合、育種に長い年月を要することを意味する。②は、施設等を用いて人為的に育成環境を制御する困難性が高く、自然の環境にさらされる実際の林地への植栽により育種を進めることになる。③は、育種を行う対象集団の遺伝的多様性を保ちながら育種を進める必要があることを意味する(詳しくは、高橋(2024)を参照され

1
2
3
4
5
6
7
8

たい)。このような林木の生物としての特異性が、林木育種を農作物の育種とは異なるものとしている。

林木育種で基本となる育種法は、「集団選抜育種法」である。形質が極めて優れた少数系統のみで育種を進めるのではなく、遺伝的多様性を維持できるよう、形質が優れた一定程度の系統数を用いて行う。また、形質が遺伝することが明らかな場合、形質が優れた個体からは、不良な個体が生じることは稀で、優良な個体が生まれる可能性が高いと期待できる。また、40年程度で伐採するような場合、年次間で形質に相関があることが多いため、40年生時の形質は20年生等の林齢の測定結果から40年生時の形質を推定することができる。40年生時の形質を実際に測定する方法を決定論的な方法とすれば、より若齢時の結果から推定する育種の進め方は、確率論的な方法とみなせる。林木育種では収穫までの年数が長いという制約があるなか、育種を効率的に進めるために、確率論的な手法と決定論的な手法を組み合わせ取組が進められている。昭和30（1955）年頃から成長や通直性等の形質（表現型）が優れるものが精英樹として選抜された。これら精英樹クローンで採種園や採穂園を造成し、一方で（確率論的に）林業種苗としての普及を進めながら、他方試験林（検定林）等で評価（検定）を進め、検定林調査から得られた結果に基づいて、（決定論的に）採種園や採穂園の中から不良な系統の除去や優良な系統への入れ替えといった体質改善が図られてきた。現段階において、この確率論的な方法も含めつつ進める集団選抜育種法は、伐期の長い林木にとって現実的な育種法である（白石 2014）。

02 林木育種の役割と目的

平成2（1990）年に林野庁に設置された林木育種検討会の報告書によれば、林木育種の役割について、次のように述べている。「林木育種は森林を遺伝的に管理し、望ましい方向へ変化させ、あるいは望ましい状態を維持することを目標としている。具体的には、遺伝的に優れた『品種』を創出し、その種穂を定常的に生産する仕組みをつくり出すことにより、林木の遺伝的素質の改善を行うとともに、天然林における森林の遺伝的構成を優れたものにしていく管理技術確立することである」。さらに、「このように、林木育種は、森林を整備するに当たって、人工林、天然林を問わず、森林を遺伝的に管理して、その量的、質的な向上を図り、森林の諸機能を高度に発揮させるための根幹的な役割を担っている」としている。

育種の効果は、一般的に、①収量の増大、②品質の向上、③抵抗性の付与、④適応性の拡大及び⑤経費節減などと集約されている（大庭 1991）。育種の効果を高めるには、育種対象樹種の樹種特性も踏まえつつ、改良対象とする具体的な形質を定め、その改良に最も適した育種法によって育種を進めるとされている。林木育種事業の目的は、ここに述べた育種の効果が十全に発揮されるように育種を進めつつ、今日求められている多様な森林の機能の発揮や省力化等の多様なニーズに応えていくことである。林業種苗には、基本的には①から⑤のすべてにおいて一定の性能を有していることが求められる。そのうえで、樹種や地域等に応じて、個々の効果をさらに高めるべく、形質間の相対的な重みづけを変えながら柔軟に林木育種事業を進める必要がある。

2. 林木育種の基礎

01 検定、選抜、交配

育種は、大きく「検定（評価）」、「選抜」、「交配」の3つのプロセスから成っている。

まず、検定について述べる。育種では、改良形質について、対象集団中の変異を調査し、優れた変異を有する系統を選抜するが、測定できる値（表現型値）には環境要因と遺伝要因が影響しているため、形質への環境要因の影響を排除しながら、遺伝的特性を評価する必要がある。環境要因には光条件や土壌の肥沃度、水分条件等、様々な要因に起因するものが考えられる。この環境要因の影響を取り除きながら、遺伝的特性を評価することを「検定」という。検定を適切に行うためには、一定の試験設計に基づ

いた上で検定する必要がある。多数の系統を植栽して検定するための試験林を「検定林」という。林分が異なれば、気候や土壌条件、水分条件の環境条件は、大きく異なる可能性がある。そのため、検定林は1か所だけではなく、環境条件が異なる複数の箇所に設定することが望ましい。また、各検定林には反復を設ける。これも環境要因の影響を除くための工夫である。1検定林には通常20系統以上の多数の系統を植栽する。この時、検定林をいくつかの区画に区分し、各区画に全ての系統を植栽するようにする。この1区画が1反復にあたる。仮に1区画だけに植栽した場合、ある系統が優れた成長を示したとしても、植栽箇所が、偶然良好だったためという可能性がある。そのため、複数の区画(反復)に植栽することによって、その偶然性の影響を排除できる可能性が高まる。また区画内においても系統植栽配置をランダムにすることで、ミクロな環境要因の影響も取り除く配慮を行う。複数箇所の検定林の調査データを統合し、統計的な手法を用いて解析することで、様々な環境要因の影響を除くことができ、各系統の遺伝的能力を適切に評価できるようになる。つまり、遺伝的に優れた系統の選抜が可能となる。検定林における定期調査は、樹種にもよるが林齢が20年生または30年生になるまで初年度、5年、以後5年ごとに行われる。調査する形質については、スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ及びエゾマツは主に住宅等の構造材としての利用を考えるため、材積、樹幹の通直性、材の強度(剛性)であるが、花粉症の原因となっているスギやヒノキでは、雄花着花性が加わる。材の剛性と関係性が高いのはヤング率である。従来は、伐倒して得られた材幹(丸太)を用いた測定が用いられていたが、伐倒・運搬のための費用や労力がかかるため、現在はヤング率と相関性が高い応力波伝播速度を立木状態で測定する方法が行われている。材の強度には、材密度も強く関連している。材密度についても、立木状態で測定が可能な、直径2.0～2.5mmのピンを一定の力で貫入する調査器具が開発されており、この調査器具を用いて簡易に評価する方法が広く用いられている(Fukatsu *et al.* 2010)。このような調査によって得られたデータに基づいて遺伝的評価を行い、その結果に基づいて、採種園や採穂園では、不良系統の除去と、優良系統への入れ替えによる体質改善が行われる。この体質改善によって、生産される種苗の遺伝的な能力が改善されることになる。

検定により得られた遺伝的能力を表す指標をもとに優良な系統を選ぶことを「選抜」という。遺伝的な能力を示す指標のみに基づいて上位個体から選抜個体を選定しようとする、優秀な親からつくられた特定の家系に選抜個体が偏ってしまうという状況が生じる。遺伝的に優れた親からは、優れた後代個体が生じるということは、遺伝学的に考えると当然の結果であるが、このような結果に基づいて機械的に選抜を行うと、遺伝的多様性が著しく低下してしまう可能性が高まる。このため、林木育種の現場では、家系の選抜と家系内の選抜を組み合わせている。例えば、まず家系の順位を決め、上位3分の2程度を選び、各家系の中から上位1～3個体選抜するといった具合である。

選抜により優良な個体を選抜すると、選抜個体間で交配を行う。効率的に交配を行うために、複数の交配デザインが考案されている。林木育種において、1形質を改良する方法としてはハーフダイヤレル交配(図4-1)、2形質を同時に改良する方法としては要因交配(図4-2)が代表的な方法である。これらの交配デザインでは、少ない労力で、遺伝的に多様な後代個体を作出することや、遺伝性の指標である遺伝率を推定することができるようにするといった配慮がなされている。

		雄親							
		1	2	3	4	5	6	7	8
雌親	1		○	○	○				
	2			○	○				
	3				○				
	4								
	5						○	○	○
	6							○	○
	7								○
	8								

図4-1 | ハーフダイヤレル交配(林木育種センター 業務資料より)

		雄親							
		1	2	3	4	5	6	7	8
雌親	1					○	○	○	○
	2					○	○	○	○
	3					○	○	○	○
	4					○	○	○	○
	5								
	6								
	7								
	8								

図4-2 | 要因交配(林木育種センター 業務資料より)

コラム⑤ 遺伝的改良に影響する要因

親の特性が後代(子)に遺伝する程度を表す指標として、遺伝率がある(遺伝率には複数の種類がある。詳しく知りたい方は、量的遺伝学等の教科書を参照されたい)。遺伝率(h^2)は、見た目のばらつき(表現型分散)に占める遺伝的な能力に起因するばらつき(遺伝分散)の割合として定義される(式1)。

$$\begin{aligned} \text{遺伝率}(h^2) &= \text{遺伝分散}(V_G) / \text{表現型分散}(V_P) \\ &= \text{遺伝分散}(V_G) / (\text{遺伝分散}(V_G) + \text{環境分散}(V_E)) \cdots \text{式1} \end{aligned}$$

遺伝率は数値が大きい程、親の特性が後代に伝わりやすいことを表す。もし、遺伝率がゼロであれば、その形質は遺伝的ではないということになる。環境分散には、気候、土壌、水分などの環境条件のばらつきや測定誤差など、遺伝的要因によらない他の全ての要因に起因する分散が含まれる。林木では実生苗を植栽する場合とさし木苗を植栽する場合がある。さし木苗の場合、遺伝分散はクローンごとの平均値のばらつき、クローン間分散となる。この遺伝分散の表現型分散に対する割合が遺伝率になる。なお、表現型分散(V_P)は、遺伝分散(V_G)と環境分散(環境誤差) (V_E)の和として表すことができる。次に、実生苗の場合の遺伝率について説明する。実生苗の場合には遺伝分散 V_G が相加的遺伝分散(V_A)と非相加的遺伝分散(V_{NA})に分かれる。相加的遺伝分散は、両親の2個体の特性の間になるような遺伝を示す部分の分散、非相加的遺伝分散は、遺伝はしているが相加的ではない分散を意味する。相加的遺伝分散は、よい親からよい子供が生まれると言い換えることができ、採種園での普及を考える場合に相加的遺伝分散がどの程度かが重要となる。非相加的遺伝分散は、遺伝はしているが、どのような形で遺伝するのかは様々なため、実生苗での普及を考える場合、このような遺伝分散を利用することは難しい。このため、実生苗の場合の遺伝率は、 V_G 中の V_A の部分がどれだけの割合であるかを考え、 V_A / V_P として表す(スギにおける様々な形質の遺伝率についてはTakahashi et al. (2023)にまとめられているので、参考にされたい)。

遺伝率を利用することで、調査した形質について、個々の系統がどのような遺伝的な能力を有しているのか、その系統の後代はどの程度改良されうるのか、その推定値(育種価)を得ることができる。育種価とは、ある系統における相加的遺伝効果の総和を表す。つまり、採種園において自然交配した場合に、その系統から得られる苗木がどれくらい改良されるかに相当する。育種価はある系統の子供の平均値の集団平均からの偏差の2倍と定義される。

表4-1 | 3試験地における自然交配家系の樹高の偏差と育種価の予測値

家系	試験地 1	試験地 2	試験地 3	平均偏差	育種価値の予測値
A	+0.6m	+0.2m	+1.0m	+0.60m	+0.36m
B	+1.0m	+1.0m	0.0m	+0.67m	+0.40m
C	-0.3m	-0.3m	+0.6m	0.00m	0.00m
D	-0.3m	0.0m	-1.3m	-0.53m	-0.32m

(林木育種センター 業務資料より)

育種価の推定例を表4-1に示した。家系A～Dは、それぞれ系統A～Dを母樹として自然交配で得られた苗木を同じ本数ずつ3つの試験地に植栽した場合の各家系の樹高の平均値である。ここで遺伝率は0.3とする。多数の系統を植栽した試験地1における家系Aの平均は、試験地平均を0.6m上回っていた。家系Aは試験地2と3において、+0.2mと+1.0mであった。これらの偏差の3試験地における平均(平均偏差)は+0.6mであった。表現型としては0.6m上回っているが、このうち遺伝的要因によるも

のは、遺伝率を乗じた $+0.6\text{m} \times 0.3 = +0.18\text{m}$ となる。ここで、この例では花粉親は任意の系統の花粉が関与しているため、家系 A の子供の各個体は母樹である系統 A からの遺伝子の半分の受け継がれている。そのため、系統 A の本来の遺伝的な能力である育種価を推定するためには 2 倍する必要があると考え、系統 A の樹高の育種価は $+0.36\text{m}$ となる。以上のことを数式で表すと系統 A の育種価は、式 2 のようになる。

$$\text{系統 A の育種価} = +0.6 \times 0.3 \times 2 = +0.36 \text{ (m)} \cdots \text{式 2}$$

実際の遺伝的評価においては、試験地ごとに植栽系統の種類や、系統ごとの植栽本数が異なる等、データに偏りがあることが多い。そのような場合には、育種価の推定方法はより複雑になる(育種価の推定方法の詳細については、統計遺伝学等の教科書を参照されたい)。

コラム⑥ 改良効果と遺伝的多様性

育種により、選抜前と比べてどれだけ改良されるか、改良効果を表す「ものさし」となる指標に遺伝的獲得量 (Δ_G) がある。この遺伝的獲得量は、親世代における選抜前の平均値に対して子世代の集団の表現型値の平均値がどれだけ改良されたかを、その差で表している。その遺伝的獲得量 (Δ_G) は、式 3 で表すことができる。

$$\Delta_G = i \times h^2 \times \sigma_p \cdots \text{式 3}$$

ここで i は選抜強度、 h^2 は遺伝率、 σ_p は選抜前の親集団の表現型値の標準偏差の平方根を表す。この式は「育種家の方程式」と呼ばれる。

選抜強度は、優れた上位個体のみを選ぼうとすると、値が大きくなり、上位個体から幅広に選ぼうとすると小さくなる。 σ_p は、選抜前の親集団の表現型値の標準偏差であるため、表現型分散が大きいほど値が大きくなる。改良効果が大きくなるのは、元々の表現型のばらつきが大きく、遺伝率が高く、選抜強度を高めた場合ということになる。改良しようと考えても、表現型にばらつきがみられない、遺伝率が低い、選抜強度が低い場合には、改良効果は得られないことになる。選抜強度と遺伝的多様性の間にはトレードオフの関係がある。選抜強度を高めると、それに伴って遺伝的多様性は低下することになる。林木育種では遺伝的多様性の維持が重要であることを既に述べたが、改良効果と遺伝的多様性の両立を図るためには、選抜強度に配慮する必要がある。

02 育種集団と生産集団

概念的に、選抜強度を低くした選抜を「弱い選抜」、選抜強度を高めた選抜を「強い選抜」とする。強い選抜を行った場合、短期的にみて早く大きな改良効果が得られることは容易に想像がつく。しかし、理論的な研究によると、弱い選抜と強い選抜をそれぞれ複数世代にわたって継続した場合、強い選抜を継続した集団では改良効果が相対的に早く頭打ちになり、逆に弱い改良を継続した集団では改良効果は持続し、結果的に強い選抜を継続した場合より高い改良効果が得られるとされている(図4-3)。

選抜強度と遺伝的多様性のトレードオフの関係を踏まえつつ、改良効果を追求する育種の進め方に、集団を役割に応じて、育種集団と生産集団に分ける方法がある(図4-4)。育種集団では、遺伝的多様性を維持することに主眼をおき、弱い選抜を行い、生産集団では、普及する種苗の改良効果を高めるために強い選抜を行う。実際の林木育種場において、現状では育種集団はエリートツリー等により構成され、育種の効果を何世代にもわたり持続させる役割を担っている。生産集団は、エリートツリーの中でも優れたものとして特定母樹に指定されている系統や、雄花着花性が少ないあるいは抵抗性が高いといった特定のニーズに応えうる優良品種等の系統で構成されている。育種集団と生産集団に役割を分けることにより、育種による持続的な改良効果と森林整備の現場に都度優れた種苗を供給することの両立を図っている。

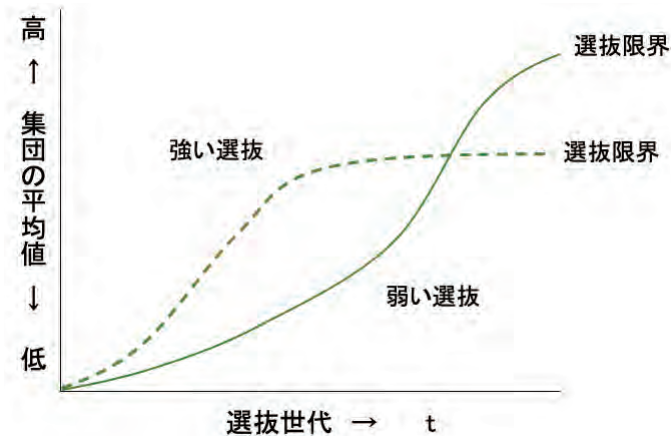


図4-3 | 強い選抜と弱い選抜による選抜限界(林木育種センター 業務資料より)

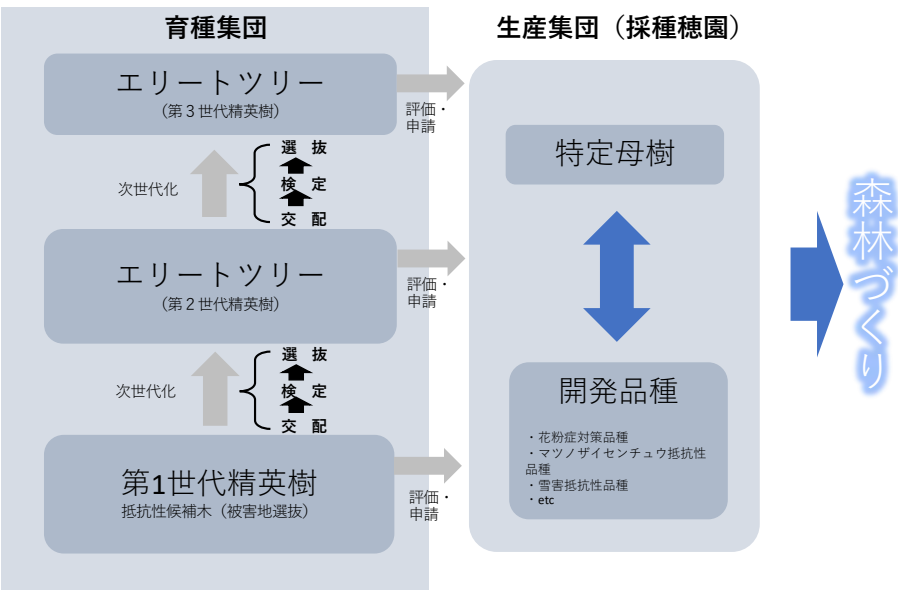


図4-4 | 育種集団と生産集団の関係(林木育種センター 業務資料より)

1
2
3
4
5
6
7
8

林木の育種

03 遺伝と環境との交互作用

成長などの量的形質は、気温や降水量、降雪量といったマクロな環境要因の影響を受けていることが多い。これらのマクロな環境要因は、人為的に制御すること困難である。このようなマクロな環境に対して形質値が変動する場合、その変動にはいくつかのパターンがある(図4-5)。例えば材積に変動はあるがその変動は環境要因に対して平行的に生じる場合(左図)、系統ごとに異なった変動が生じるが順位変動は伴わない場合(中図)、異なる変動を示し順位変動を生じる(右図)といった類型を考えることができる。中図や右図は遺伝子型×環境交互作用(GEIまたはGE交互作用)があるといい、左図のような状況は交互作用がないとされる。左図の場合、試験地AとBに品種1と品種2を植栽した場合、品種1と品種2の差はともに等しい。中図の場合、GE交互作用はみられ、試験地AとBで品種の順位は同じであるが、品種間の差には違いがみられる。右図の場合、GE交互作用がみられ、順位変動も生じている。試験地Bでは品種1の材積が減少しているが、品種2では増加し、結果として順位が逆転している。このような交互作用がある場合は、場所や環境によって、適した品種が異なることを示している。

GE交互作用がみられる場合、育種の推進方法や、種苗の利用に当たって注意を要する。特に右図のような順位変動が顕著な場合には、育種の推進地域や種苗の配布地域を見直す等の対応が必要となる。

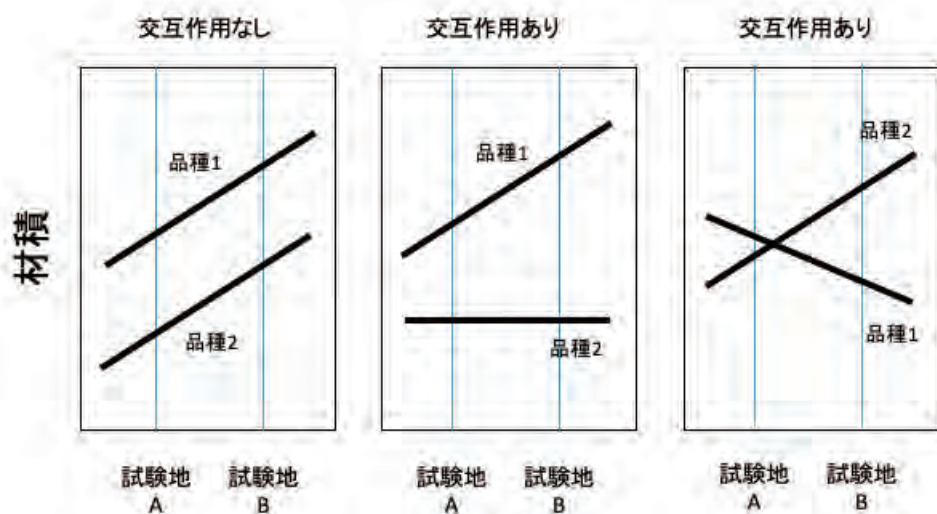


図4-5 | 遺伝子型×環境交互作用(GEI)のパターン(林木育種センター 業務資料より)

スギにはオモテスギとウラスギというのがある。これは本州中部の脊梁山脈を境にして、太平洋側の雪の少ない地方のものをオモテスギとし、日本海側の多雪地帯のものをウラスギとしたものである。ウラスギは雪に強いタイプであり、オモテスギは雪に弱く大雪が降ると枝や幹が折れるおそれがある。これは明らかに雪に対する適応性の違いが関係していると考えられる。また日本海側に植えた同じウラスギ系の苗の成長でも、試験地と産地の距離の間に負の相関が認められ、産地と植える場所が離れるほど、成長が低下したとする報告がある(糸屋 1998)。スギ精英樹クローンが選抜地(出身地)を異なる環境で生育した場合の成長について、温暖環境から冷涼環境へ、寡雪環境から多雪環境へ種苗を移動した場合に低下することが明らかにされている(三浦ら 2015)。このことから、スギでは、全国が7つに区分され、種苗配布区域と種苗配布区域間の移動可能の方向を定めることによる種苗の移動制限が設けられている。この林業種苗法で定められた種苗の移動の方向を守ることが、遺伝子型と環境交互作用による成長の低下といった不利益を防止できると考えられる。

林業種苗法は林業種苗であるスギ等の樹種の配布について定めているものであり、現状では広葉樹の種苗の配布(移動)に対する規定は定められていないところであるが、DNA分析の結果などに基づいて、広葉樹の種苗の移動に関する遺伝的ガイドラインが作成されている(森林総合研究所 2011)。広葉樹は天然集団のものが大半を占めており、その地域集団に保持されている遺伝変異は、地史的な年代に遡る

長年月の中で氷期や間氷期といった様々な気候変動に適応しながら、分布域の変遷を伴いつつ生き残ってきた、その種の歴史が刻まれたものとみなせる。このため、人為的な遠距離での種苗の移動は、自然が作り上げた遺伝構造を損なう可能性も考えられるため、生物多様性を保全する観点から推奨されることではない。将来に不可逆的な影響を及ぼさないように、予防原則に則り、このようなガイドラインをもとに、種苗の移動範囲を制限することは、遺伝子型と環境交互作用による負の影響を減らす上で重要であると考えられる。

04 DNA分析技術の育種への応用

林木育種を効率的に進めるために、林木育種事業においてDNA分析技術が利用されている。そのいくつかの例を次ページ以降のコラムで紹介する。

1
2
3
4
5
6
7
8

林木の育種

現在、林木育種による優良品種の開発の主な部分は、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター（以下「林木育種センター」という。）が進めている。林木育種センターは、都道府県等の要望に応じて、特定母樹や開発した優良品種等をさし木やつぎ木でクローン増殖した苗木や穂木を原種として配布している。配布された原種は、都道府県等の採種園・採穂園の新規造成や既存の採種園・採穂園の改良に利用される。例えば少花粉品種は雄花着花性が少ない特性を有するため、そこから生産される種苗も少花粉特性を有することが期待される。しかし、万が一誤って意図しない品種を配布してしまった場合、そこから生産される種苗に少花粉の特性を期待することができないことになる。正しい品種の原種を確実に配布することが肝要である。このため、配布する原種が適切であるかどうかを確認するためにDNA分析が行われている。DNA分析による品種の識別は、果樹やダイズ等の農作物の品種判別においても主要な技術となっている。

スギ花粉症は、国民の約4割が罹患しているといわれている国民病である。そのため、花粉症対策に資する優良品種として、少花粉スギや無花粉スギ等の開発が進められている。無花粉スギの品種開発に当たっては、DNAマーカーの利用が事業化されている。「爽春」に代表される無花粉スギは、無花粉遺伝子座を潜性ホモ接合(aa)の状態では保有している(花粉をつける個体では、この遺伝子がAA又はAaとなっている)。この無花粉スギを利用した交配によって新たな無花粉個体を得るためには、2回の交配を行う必要がある(図4-6)。そのため、無花粉スギの開発には長い年月がかかっていた。無花粉遺伝子をホモあるいはヘテロで保有する個体(ヘテロ個体)をDNAマーカーで簡易に見つけられれば、交配の回数を減し、短期間で無花粉品種を開発することが可能となる。

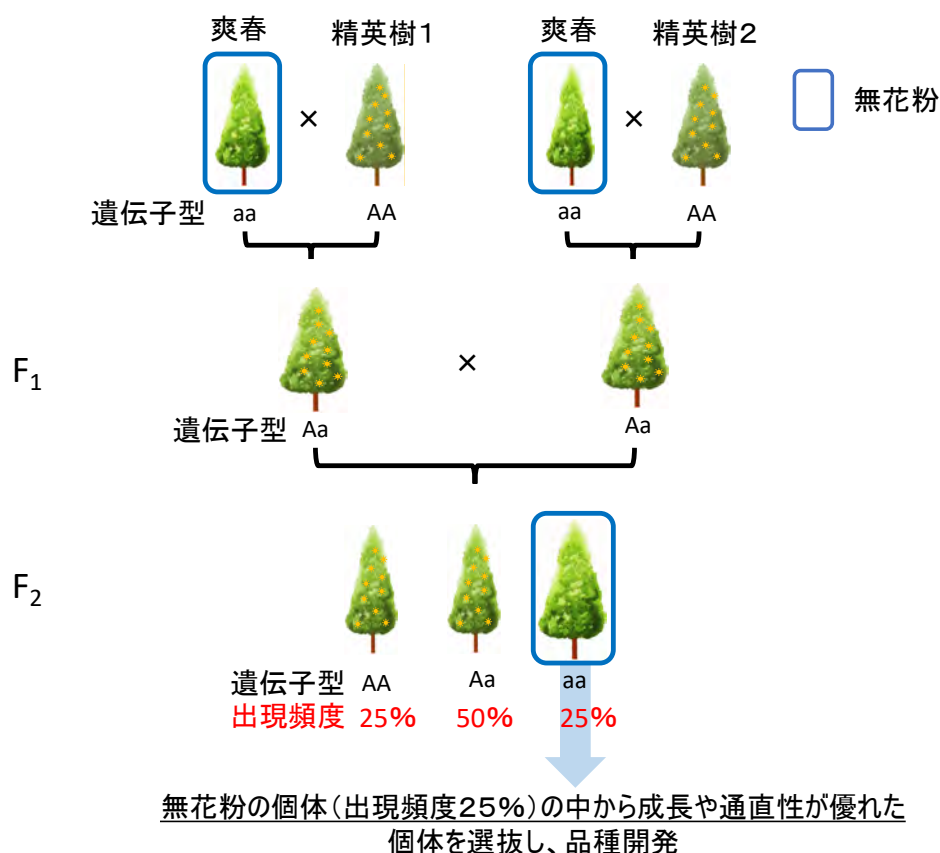


図4-6 「爽春」を用いた初期成長に優れた無花粉スギ品種の開発経過(林木育種センター 業務資料より)

1
2
3
4
5
6
7
8

そこで無花粉遺伝子をホモで有する個体(ホモ個体)だけではなく、ヘテロ個体を高い精度で検出できるDNAマーカーが開発された(Mishima *et al.* 2018)。この方法を使うと直接無花粉遺伝子を有する可能性の高いホモ個体、ヘテロ個体をマーカーで簡単に見つけることができ、スギの第1世代精英樹の中から無花粉遺伝子をヘテロで保有する系統が20以上あることが明らかにされている。また、無花粉スギの育種の過程で、マーカーを用いてF₁の個体の中からヘテロ個体を確認できれば、そのヘテロ個体を交配親に使う人工交配を行い、F₂の中から効率的にホモの個体を作出したり、新たなヘテロ個体を作出することができるため、遺伝的に多様かつ優良な形質をもつ無花粉スギ品種を短期間で開発することが可能になる。

ゲノム情報取得技術は飛躍的な進展を遂げている。ゲノム情報から優良系統・個体を選抜する新たな育種(ゲノム育種)手法が可能になりつつある。ゲノム育種は、選抜までに要する期間の長い林木には特に有効であることから、育種の高速化につながるとの期待は大きい(平岡 2024)。

3. 主要な林木育種事業とその成果

01 精英樹選抜育種事業

精英樹選抜育種事業は、人工林や天然林から成長や通直性等の形質が優れる個体を「精英樹」として選抜し、さし木やつぎ木によりクローン増殖したクローン苗を用いて採種園や採穂園を造成して、そこから生産される種子や穂木(種穂)を用いて造林用苗木を生産・供給する事業である(図4-7)。さらに、精英樹からクローン苗や実生苗を育成して試験林(次代検定林)を造成・調査し、精英樹の特性を明らかにしている。検定林の成長・材質等のデータ(クローン苗や実生苗の成績)から、親である精英樹の能力を評価し、採種園・採穂園から比較的劣った精英樹の除外、または特に優れた精英樹だけに絞るなどして採種穂・採穂園の改良(体質改善)を行っている。

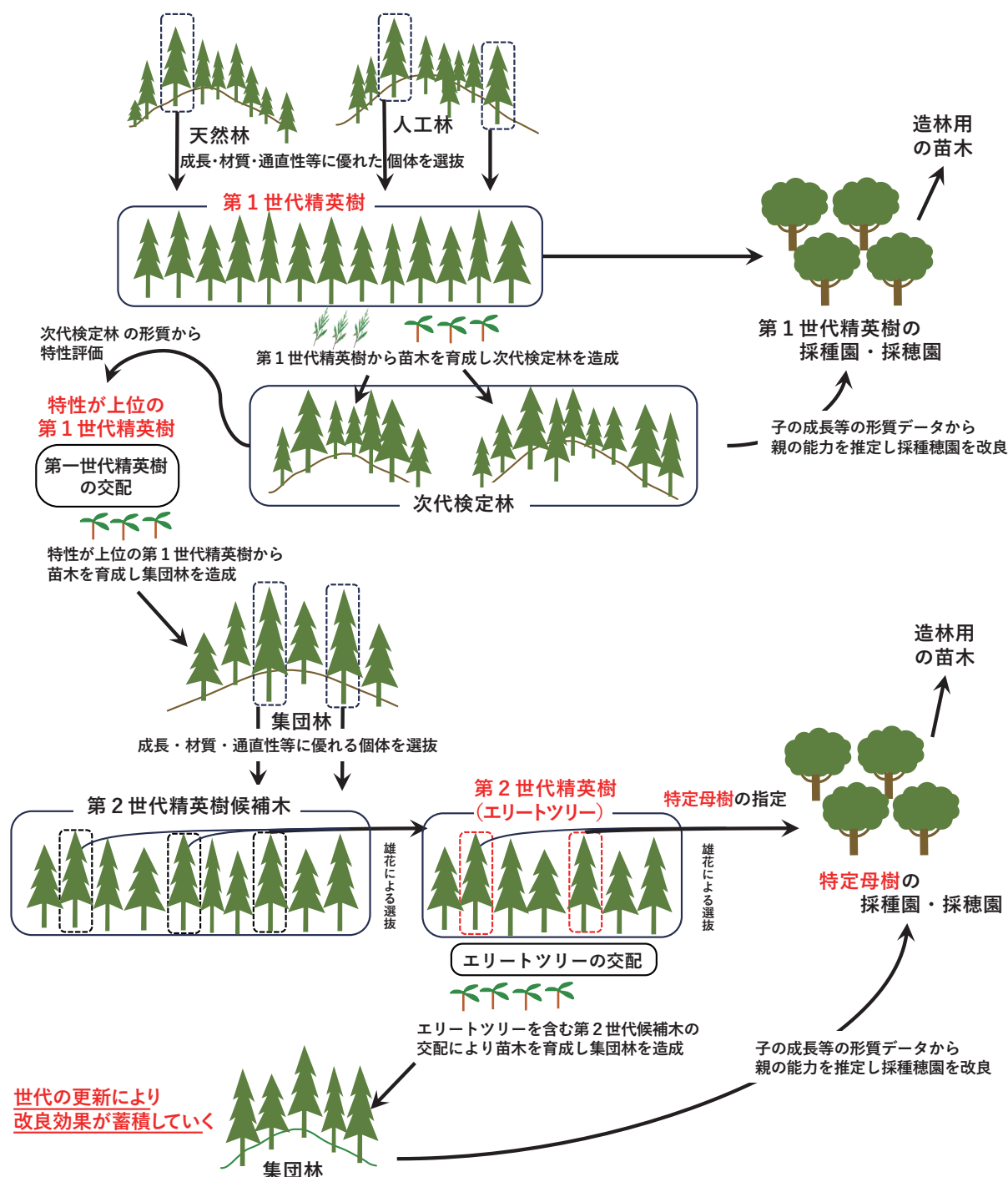


図4-7 | 精英樹選抜育種事業の流れ(林木育種センター 業務資料より)

精英樹は育種事業の根幹をなす育種素材であり、マツ属樹種を除く主要樹種の造林素材はほとんどが精英樹選抜育種事業の中から生み出されている(後述するが、マツ属樹種はマツ材線虫病による被害があるため、異なる方法が行われている)。人工林や天然林から選抜された精英樹を第1世代精英樹と呼ぶ。特性が上位の第1世代精英樹を交配親として育成した苗木を用いて改めて試験林(育種集団林)を造成・調査して、その中から成長等の特性が優れた個体を第2世代精英樹として選抜している。第2世代以降の精英樹を「エリートツリー」と総称している。このように、第1世代精英樹から得た種子由来の個体の全てがエリートツリーとなっているわけではない。その理由は、第1世代精英樹を交配親として作出した個体間には成長、材質及び着花性等の特性にばらつきがみられるためである。実際の選抜にあたっては、成長が優れた個体(5段階評価のうち4以上)で、さらに材質、通直性その他の特性に欠点がないことを確認したものを、まず第2世代精英樹候補木として選抜する。さらにスギ・ヒノキでは、第2世代精英樹候補木の雄花着花性を評価し、雄花の着花が多くないことを確認し、基準を満たした系統が第2世代精英樹として選抜される。この過程で、第2世代精英樹の遺伝的多様性に配慮する観点から、選抜個体が特定の家系に偏ることがないように配慮している。

特定母樹は、成長に優れた種苗の母樹であり、「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法(間伐等特措法)」が平成25(2013)年に改正された時にその規定が盛り込まれた(石崎 2022)。特定母樹は、エリートツリーや第1世代精英樹等の中から、特定母樹の指定基準(表4-2)に合致し、農林水産大臣が指定した系統である。これらの基準はエリートツリーとほぼ同様であるが、花粉量については、より厳しい基準となっている(石崎 2022)。

表4-2 | 特定母樹の指定基準

形質	指定基準
成長性	単木材積の平均値が、環境及び林齢が申請個体等と同様の在来系統の個体(対照個体)の平均値(基準材積)と比較して、おおむね1.5倍以上
剛性	剛性の指標となる測定値が、環境及び林齢が申請個体等と同様の個体(対照個体)の平均値と比較して優れていること
幹の通直性	曲がりがないか、若しくは曲がりがあっても採材に支障がないもの
雄花着生性 (スギ・ヒノキ)	一般的なスギの花粉量のおおむね半分以下。自然着花調査又はジベレリン処理による調査のいずれかの調査による。

(林野庁 2024b)

02 気象害抵抗性育種事業

気象害とは、低温、乾燥、風及び積雪等の気象現象によって、葉や樹木全体の枯れ、傷、幹の曲がりなどが林木に発生する被害である。これらの気象害への対策として、林野庁は昭和45(1970)年から5か年にわたって「気象害抵抗性育種事業」を実施した(井出・白石 2012)。この事業では、現存の林分から凍害、寒風害及び雪害に抵抗性を示した個体を選び、それらをクローン増殖して各種気象害に対する検定を行い、抵抗性品種として選抜している。この事業によって、下記4つのタイプの抵抗性品種が開発された。

1 凍害抵抗性品種

低温によって形成層や芽が凍結することによって起こる被害に対し抵抗性がある品種。スギで51クローン、ヒノキで25クローン、トドマツで31クローンが選抜されている。

2 寒風害抵抗性品種

土壌の凍結による吸水障害と、乾燥した寒風による脱水で発生す



写真4-1 雪害抵抗性のある品種(出羽の雪1・2号)とそれ以外の系統の雪害被害の様子(林木育種センター 業務資料より)

る冬季の乾燥害に対して抵抗性がある品種。スギで38クローン、トドマツで22クローン選抜されている。

3 寒害抵抗性品種

凍害及び寒風害の複合被害に対して抵抗性のある品種である。スギで91クローンが選抜されている。

4 雪害抵抗性品種

雪による被害としては、積雪により幹が曲がる被害、あるいは樹冠への着雪によって幹が折れる被害がある。雪害抵抗性は、幹が曲がる被害に対する抵抗性であり(写真4-1)、スギで46クローンが選抜されている。

03 マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業

マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業は、マツ材線虫病を引き起こす病原体のマツノザイセンチュウに対してマツ属樹種(令和6(2024)年ではアカマツ・クロマツ・リュウキュウマツ)の抵抗性を品種改良によって高める育種事業であり、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター(以下「林木育種センター」という。)及び都府県の公立林業試験研究機関によって行われている。この抵抗性育種事業は、昭和53(1978)年にまず西日本地域で始まった。その後、被害が東日本、北日本に拡大するのに伴って、抵抗性育種事業の実施地域も拡大した。この事業では90%以上の被害を受けた林分から健全な生存個体を探索して候補木として選抜し、クローン増殖のための枝(穂木)を採取し、つぎ木で増殖し、その苗木に人工的に一定数のマツノザイセンチュウを接種して、その個体の抵抗性を評価した。抵抗性があるテーダマツと同等以上の抵抗性を目標として、昭和59(1984)年までにアカマツでは10,767の候補木から92クローン、クロマツでは13,827の候補木から16クローンがマツノザイセンチュウ抵抗性品種として合格した(藤本ら 1989)。その後も日本各地で選抜が続けられ、令和5(2023)年度までにアカマツで326品種、クロマツで285品種が開発されている。被害林分から選抜された品種は、第1世代のマツノザイセンチュウ抵抗性品種と呼ばれている。さらに、抵抗性品種を親とした実生苗から第2世代のマツノザイセンチュウ抵抗性品種の開発も進んでいる。

マツノザイセンチュウ抵抗性品種はつぎ木等によりクローン増殖され、その苗木が採種園に導入される。採種園は抵抗性品種のみで構成されるため、採種園からは抵抗性品種を親とする抵抗性が高まった種子を得ることができると期待できる。抵抗性採種園から得られた種子から育成された実生苗は、現在「抵抗性マツ」「スーパーマツ」等の名称で市販されている。なお、静岡県や九州各县など一部地域では、より抵抗性の高い苗木を生産するために、採種園産の実生苗に対してマツノザイセンチュウを人工接種し(写真4-2)、病徴が出なかった苗木のみを出荷している場合がある(写真4-3)。



写真4-2 苗木にマツノザイセンチュウを接種する様子(林木育種センター 業務資料より)



写真4-3 抵抗性品種の採種園産の実生苗にマツノザイセンチュウを接種した後の様子(林木育種センター 業務資料より)
病徴がない健全な苗木のみ出荷される。

マツ材線虫病に罹ると最終的には枯損することが多いため、抵抗性マツは「枯れない」と考えられがちであるが、発病は気象条件やマツノザイセンチュウの侵入数(野外においては媒介昆虫であるマツノマダラカミキリの密度)などによって変動し、発生が連続的であることから、現状においては「枯れにくい」特性を持った個体群であると考えるのが妥当であろう。

04 花粉症対策育種

国民の多くが罹患しているスギ・ヒノキの花粉症の発生源対策として、花粉症対策育種が進められ、花粉が発生しない、または花粉が少ない品種の開発が行われている。花粉症対策品種は、下記の種類に分けられる。

1 無花粉スギ品種・無花粉ヒノキ品種・無花粉遺伝子を有するスギ品種

無花粉スギ・ヒノキ品種は、花粉が全く発生しない品種である。無花粉スギ品種は、単一の潜性遺伝子(雄性不稔遺伝子)に支配され、メンデルの法則に従って遺伝することから、無花粉スギ品種を母樹、無花粉遺伝子を有するスギ品種を花粉親とした交配により、無花粉の苗木と有花粉の苗木が1:1の割合で出現する(図4-8)。無花粉の苗木を実生苗として生産するには、苗畑あるいはコンテナで実生苗にジベレリン水溶液を噴霧し、強制的に雄花を着花させた上で無花粉か有花粉であるかを判定する必要がある(齋藤 2020, 写真4-4)。一方、無花粉スギ品種をさし木等無性繁殖で栽培した場合、同じ無花粉の形質を持つ苗木を得ることができる。

2024年現在、無花粉ヒノキ品種は神奈川県「神奈川無花粉ヒ1号」の1つのみである。神奈川無花粉ヒ1号は両性不稔であり、雄花・雌花ともに機能しないため、さし木等無性繁殖でのみ栽培が可能である(齋藤 2017)。

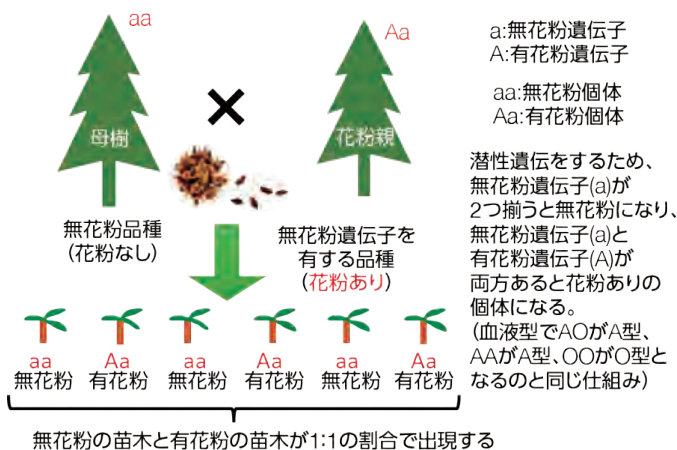


図4-8 無花粉品種と無花粉遺伝子を有する品種の交配による次世代への遺伝様式(林木育種センター業務資料より)

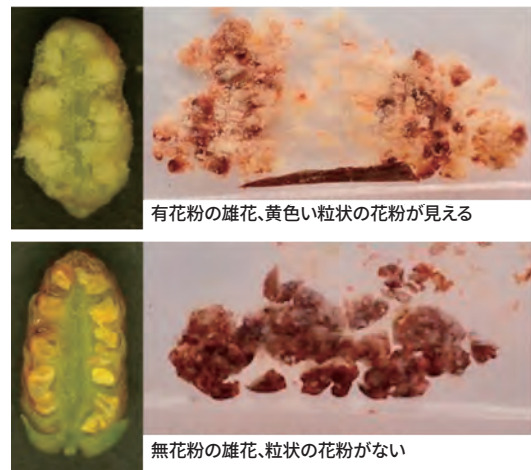


写真4-4 花粉の有無の判定方法(林木育種センター 業務資料より)

雄花をチャック付ポリ袋等に入れペンチで潰し、ルーペや顕微鏡で花粉の有無を確認して無花粉かどうかを判定する。(詳細は引用文献(齋藤 2020)を参照)

2 少花粉スギ品種・低花粉スギ品種・少花粉ヒノキ品種

少花粉スギ・ヒノキ品種は、通常のスギ・ヒノキに対して著しく雄花の着花量が少ないか、ほとんど雄花が着花しない形質を持つ(写真4-5)。低花粉スギ品種は、少花粉スギ品種ほど着生量は少ないが、通常のスギと比較すると花粉の着生量が低い形質を持つ。なお、無花粉スギ・ヒノキとは異なり、少花粉・低花粉の形質は量的遺伝をするため、気象条件等によって着花量は変動する。また、種子から

育成した場合、実生苗での少花粉・低花粉の形質にばらつきが発生する。

スギの少・低花粉品種は15年次以上の林分で原則5年以上自然着花を調査して、スギ花粉発生源対策推進方針(林野庁 2024a)に定められた総合指数値が1.1以下(少花粉品種)または1.3以下(低花粉品種)の評点となったものか(図4-9)、あるいはジベレリン処理による5回以上の調査で既存の少・低花粉スギ品種と比較して雄花の着生量が少ないものが選ばれている。



写真4-5 少花粉スギ品種(左)と普通のスギ(右)の着花状況(林木育種センター 業務資料より)

雄花の着花量は量的遺伝形質のため、気温や降水量等の影響によって変動する。

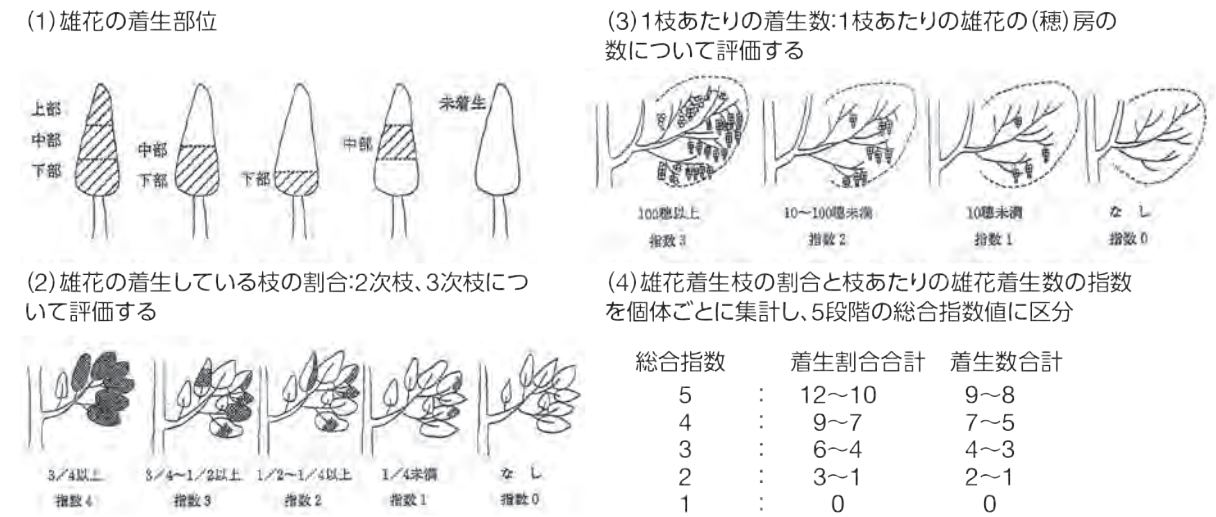
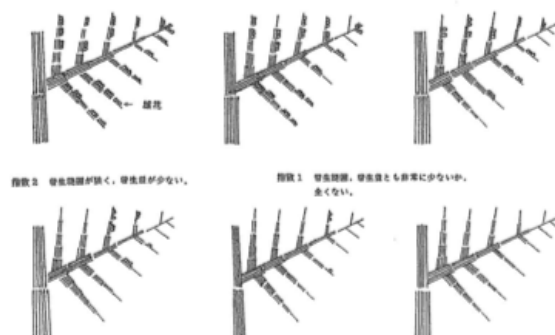


図4-9 スギの雄花着花性に関する特性調査要領のうち自然着花調査の方法(林野庁 2024a)

(1)調査を行う個体の樹冠を上~下部に区分し、(2)樹冠のそれぞれの部位について雄花が着生した枝の割合を5段階に評価し、(3)樹冠のそれぞれの部位について雄花の房の数を4段階に評価し、(4)2・3の値を個体ごとに集計して総合指数値に区分する。

図表 5 雄花着生範囲が広く、着生量が非常に多い。 図表 4 雄花着生範囲が広く、着生量が多い。 図表 3 雄花着生範囲、着生量とも中程度。 図表 2 雄花着生範囲が狭く、着生量が少ない。 図表 1 雄花着生範囲、着生量とも非常に少ないか、全くない。



指数	雄花の着生状況
5	雄花の着生範囲が広く、着生量が非常に多い
4	雄花の着生範囲が広く、着生量が多い
3	雄花の着生範囲、着生量とも中程度
2	雄花の着生範囲が狭く、着生量が少ない
1	雄花の着生範囲、着生量ともに非常に少ないか、全くない

図 4-10 ヒノキの雄花着花性に関する特性調査要領(林野庁 2024a)

調査を行う個体ごとに、ジベレリン処理をした3枝について1枝あたりの雄花の着生の範囲と総量を評価し、5段階に区分する。

少花粉ヒノキ品種は、複数箇所の採種園等でジベレリン処理を行い、原則5年以上の調査して雄花の着生範囲や着花量が非常に少なかったもの(総合指数2.2以下)が選ばれている(図 4-10)。

05 その他

気候変動により世界中の全ての地域において多くの気象と気候の極端な現象に影響を及ぼしていることから、森林分野においても気候変動に対する対策が求められている。気候変動に対する育種的対策としては、①二酸化炭素の吸収・固定能力の高い品種の開発(緩和策)、②変動した気候環境下においても生存する品種の開発(適応策)がある。二酸化炭素の吸収・固定能力の高い品種として、スギ・ヒノキ・カラマツ及びトドマツを対象として、幹重量(二酸化炭素吸収・固定能力)の大きい品種が開発されている。これらの品種は、成長が良くて材積が大きくなるだけでなく、材の密度が高いため、二酸化炭素をより多く固定・吸収するという特性を有している。一方、変動した気候環境下において生存する品種としては、スギを対象として気候変動適応性に優れた品種(耐乾性)が開発されている。気候変動が進んだ場合に想定される気候下におけるスギの生存と成長を考えた場合、高温ストレスより乾燥ストレスへの対応の重要性が相対的に高いと判断され、特に根系が十分発達していない植栽後数年間の造林初期段階のリスクが最も高いと考えられる。このことから、さし木苗に人工的に乾燥ストレスを与え、乾燥ストレス下でも葉の生理活性を維持できる系統が気候変動適応性に優れた品種(耐乾性)として開発されている。

スギの材質を劣化させる害虫に対する抵抗性の品種改良を行うため、地域虫害抵抗性育種事業(①スギカミキリ抵抗性育種事業と②スギザイノタマバエ抵抗性育種事業)が行われた(大庭・勝田 1991)。スギカミキリによる被害は、スギの立木の材を腐朽させる「ハチカミ」であり、中国地方を中心に広い範囲で見られ、材価を著しく低下させる。スギカミキリ抵抗性育種事業では、被害林分で成長及び材質の優れた無・微被害の候補木を選び、原木に簡易検定を行った上で候補木を選抜する。候補木を増殖したクローン苗を網室で育成し、網室内に交尾した雌成虫を放って産卵状態を調べ、さらに幼虫を接種して木部まで侵入しなかったものが抵抗性品種として開発されている。一方、主に九州地方を中心に分布するスギザイノタマバエによる被害は、幼虫がスギの樹皮下に潜り込んで消化液を出すことによって現れる小判状のシミ(皮紋)によるものである。消化液が木部に達すると木部が褐変し、材斑と呼ばれる材質劣化の被害を受ける。スギザイノタマバエ抵抗性育種事業では、スギカミキリ抵抗性育種事業と同様、被害林分で被害がない・ほとんど受けていない個体を選抜し、その個体に簡易ケージをかけてケージ内に幼虫100～200頭を目安に放つことで接種する。簡易ケージ内において被害がない・少ない系統をクローン増殖し、網室あるいは簡易ケージへの接種によって再度被害が発生しづらいことを確認した系統が抵抗性品種として開発されている。令和5(2023)年度までにスギカミキリ抵抗性品種は76系統、スギザイノタマバエ抵抗性品種は39系統が開発されている。

4. 林木育種事業の行政的な枠組み

林木育種事業は、森林整備に資するため、新たな優良品種を開発するとともに、それら優良品種を増殖し、必要に応じてそれら優良品種の原種苗木*をいつでも供給する体制を整える必要がある。林木育種は、他の生物と比較して異なる特徴があり、育種には長い年月にわたる膨大な試験・調査を要する。我が国では、従来から国家的な事業として、育種対象の樹種の優良種苗生産の元となる、採種園・採穂園に植える優良品種を開発するまでは、林木育種センターが行ってきた。開発された優良品種等は、主として各都道府県が採種園・採穂園を造成し、種苗生産に必要な種子や穂木(種穂)の生産を行い、都道府県が生産した種穂の配布を受けて生産事業者が山行き苗を生産してきた。ただし、特定母樹については、意欲と能力を有する民間活力を活用する観点から、都道府県知事から認定を受けた認定特定増殖事業者が採種園・採穂園を造成・管理することも可能となっている。

* 原種苗木：花粉症対策品種等の優良品種や特定母樹を接ぎ木や挿し木によりクローン増殖した苗木。採種園や採穂園に植栽するための苗木として林木育種センター・育種場が都道府県等の要望に基づいて生産し、配布している。

01 林木育種事業の推進体制及び推進計画

林木育種事業を推進するためには、その計画が必要である。森林・林業基本法に基づき「森林・林業基本計画」が策定されており、その中で、優良種苗の確保に向けた採種園・採穂園の整備等の施策の推進が謳われている。これらの施策の推進に向けた技術開発の方向性を示すものとして「森林・林業・木材産業分野の研究・技術戦略」が策定されている。この戦略のなかで、林木育種分野については、エリートツリーの開発、花粉症対策品種やマツノザイセンチュウ抵抗性品種等の優良品種の開発の方向性、育種技術開発、林木遺伝資源の収集・保存、育種事業の推進体制(5育種基本区と19の育種区)等が位置付けられている。これらの基本計画、戦略はおおむね5年ごとに見直されている。

上記の戦略を踏まえつつ、全国5つの地域(育種基本区)において、5年ごとに5か年間の「林木育種事業推進計画」が作成され、これに基づき、林木育種事業が推進されている。林木育種事業推進計画の作成と進捗管理は、林野庁が毎秋各地域ブロックで開催する林業研究・技術開発推進会議の育種分科会において行われている。

02 育種基本区と育種区

林木育種で開発された品種から育成された種苗は、既に述べたように50年以上の長きにわたり自然環境下の林地で生育し、その後伐採・収穫されるといった特徴を有することから、林木の育成品種の地域適応性は他の作物品種より重要性が大きい。これまでも、種苗の種子産地の特性を軽視する、あるいは種子や穂木(種穂)の流通範囲を拡大することによる失敗は何度も経験されている。このため、林木育種における優良品種の配布や利用の基本は、各地域の変異の中から優良な系統を選抜し、その地域内で利用することが最も育種による改良効果が得られる確実性が高い方法と考えられる。

育種基本区と育種区は、林木育種事業を推進するための地域区分であり、育種効果の最も確かな範囲を示し、育成品種の適応範囲ともいえるものである(第1部の「種苗配布区域」は林業種苗法における種苗の配布の範囲を定めたものであり、育種基本区、育種区とは別のものである)。本来は樹種毎に定められるべきものであるが、現在のところ、育種基本区と育種区は、樹種の分布、林業の形態、気候、土壌などの立地条件と行政区界を考慮して、図4-11に示すように、全国が5つの育種基本区と19の育種区に区分されている。

- 齋藤央嗣(2017)ヒノキ両性不稔個体の発見. 日本森林学会誌99: 150-155
- 齋藤央嗣(2020)雄性不稔スギ実生苗生産のための簡易な検定手法の開発と精度検証. 日本森林学会誌102: 311-316
- 白石進(2014)わが国の林木育種における戸田良吉の功績—総説「日本における、国の事業としての林木育種外観」にみる理念—, 森林科学71:11-12
- Takahashi et al. (2023) Research and project activities for breeding of *Cryptomeria japonica* D. Don in Japan. Journal of Forest Research 28: 83-9
- 高橋誠(2024)林木育種とは, 新しい林業を支えるエリートツリー林木育種の歩み—, 森林総合研究所林木育種センター編著, 林業改良普及叢書205, 13-28

参考文献

- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所(2019)写真でみる 林木の気象害と判定法. 44p.

5

採種園の造成・管理

1. 採種園の目的と種類

我が国の人工林は本格的な利用期を迎えており、主伐の増加が見込まれる中、再造林に必要な苗木の安定供給が一層重要となっている。こうした中で、再造林の低コスト化に資するエリートツリー等の優良種苗の普及が求められている。また、近年、優良種苗の種穂の採取源の充実を図るとともに、優良種苗の供給の拡大が求められており、ますます採種園の重要性やそれらの役割が増しているところである。

採種園は、山行き苗(実生苗)を生産するための元となる種子を生産するための樹木園である。採種園の設計に当たっては、特定母樹や少花粉スギ品種等、原則として9種類以上の優良品種の系統を採種母樹として植栽するが、系統の配置については、系統間で任意に交配するよう、また同一の系統間または血縁が近い系統間での交配が起こりにくいよう、複数の系統をランダムな配置(または一定の法則により配置)で植栽して、遺伝的に優れた種子を生産することができるように配慮している。

なお、我が国における主な採種園の種類は、以下のとおりである。

01 通常の採種園

通常の採種園は、林木育種事業の当初から造成されている基本となる採種園である。林野庁が示している「採種園の施業要領(39林野造第1720号)」(林野庁 1964)に基づいて造成・施業が行われており、採種園を造成することによって、次のような利点が示されている。

- ① 採種木が精英樹クローンなので、遺伝的に優れた素質をもつ種子が得られる。
- ② 適切な保護、管理によって充実した良質の種子を生産できる。
- ③ つぎ木クローンを使用するので結実期が早まる(スギ・ヒノキにおいてはジベレリン処理が可能であり、その場合実生苗でも着花を早めることが可能)。
- ④ 植栽間隔が広く、はじめから枝を十分に張らせ、剪定、肥培等、育成管理を適切に行うことができるので、多量の結実量が期待できる。
- ⑤ 枝を大きく張らせ、樹高を適宜調節して仕立てるから採種が容易である。
- ⑥ 肥培、剪定等の集約的な施業によって結実の調整が可能であり、結実の豊凶差を少なくすることができる。

なお、5 ha以上の面積が望ましく、1 ha未満の採種園の造成はさけることとされており、広い面積を確保する必要があることや、10年目以降からの採種を目安としており採種までに時間を要すること、

外来花粉の侵入を防げない等に留意する必要がある。

02 ミニチュア採種園

通常の採種園は、精英樹等の種子を多量に生産することを目的としており、種子生産が行われるようになるまでは10年程度の期間を要するが、ミニチュア採種園は、花粉症対策品種や気象害抵抗性品種の種子の生産など、育種の目標を明確にして効率よく種子生産を行うことができ、時代のニーズに対応した種子生産を短期間で行える採種園であり、次のような利点があるとされている。

- ① 植栽後概ね4年で種子採取が可能であり、最新の品種を採種木として優れた種子を早期に生産できる。
- ② 採種木が小型で更新が容易なことから、新品种の開発状況に応じて最新の品種を採種木として導入しやすい。
- ③ 小面積で多様な採種園を造成できるので、ニーズに応じた種子生産ができる。なお、採種園をミニチュア化するには、採種木のクローン増殖が容易であることや、萌芽枝が発生しやすく剪定により樹形を維持できること、ジベレリンで葉面散布等の着花促進ができること等の樹種特性が求められる。

03 雑種採種園

通常の採種園は同一樹種で採種園を構成するが、雑種採種園は交配可能な近縁樹種で構成し、種間交雑による F_1 雑種(ハイブリッド)種子を生産することを目的とした採種園である。

北海道では、カラマツ造林地においてネズミの食害による生存率の低下が問題となっているが、カラマツよりも食害が少ないグイマツを導入して、グイマツを母樹としてカラマツを花粉親とする種間交雑により得られるグイマツ雑種 F_1 から育成した苗木を用いた造林が進められている。このグイマツ雑種 F_1 はグイマツより成長が早く、カラマツより幹の通直性と材の強度が高く、グイマツとカラマツより生存率が高いという特徴がある。その中でもグイマツ精英樹中標津5号を採種母樹とし、カラマツ精英樹の花粉が交配することで得られる種子から育成した苗木はクリーンラーチ(特定苗木)と呼ばれ、北海道内の造林に広く用いられている。

04 施設型採種園(閉鎖型採種園)

ここまで記した採種園は、野外に設定されるものであり、園内花粉により交配することを期待して、自然交配で得られる種子を採取して種子生産を行うものだが、このような自然交配では外来花粉との交配による目的外の交配が生じるおそれがある。この解決策の一つとして、ビニールハウスや温室を用いた施設型(閉鎖型)採種園を造成し、特定母樹同士等の交配による種子生産を行う方法が、地方自治体等で徐々に取り入れられている。施設型採種園の利点は、前述したとおり、採種園内の系統間の確実な交配が期待できることや、母樹を小さく仕立てることで面積が少なくて済むこと、閉鎖型であるため虫害対策にも効果があること等が挙げられる。考慮する点としては、施設の造成や維持管理の費用、きめ細かい温度や水分管理等が必要なことである。

2. 採種園の造成

01 造成地の選定(環境条件等の把握)

採種園の造成に当たっては、灌水や病虫害防除用の薬剤散布、ジベレリンによる着花促進等、現地に

頻繁に赴き集約的な施業管理を行う必要があるため、アクセスの良い場所が適している。また、土壌が肥沃で、日当たりの良い場所、各種機械が利用しやすい平坦地又は緩斜地が理想である。また、採種園では、採種園外周辺の未改良な同一樹種の花粉が園内に飛散してくることは、優良種子としての育種効果の低減につながるおそれがあるので、同一樹種の林分からなるべく隔離されている場所、500m以上離れている場所に造成することが望ましいとされている。この他、ネズミやウサギ等の獣害や病虫害の防除対策なども考慮する必要がある。

02 採種園の設計

採種園では種子の遺伝的多様性の面から、同じクローン同士の交配をできるだけ避ける必要があるため、同じクローンの個体なるべく近接しないように配置する。理想とされる採種園の構成クローン数は、25クローン以上を利用した25型(25～48クローン)を基本(図5-1)とするが、用地面積の規模が9型(9～24クローン)に比べ約3倍以上必要となるほか、25クローン以上の植栽系統を準備する必要があり、設計・植栽等の手間が掛かり増しとなる。しかしながらできるだけ多くのクローンを導入できるように設計することが望ましい。なお、クローン配置の設計には、パソコンを利用した配置図作成が一般的であるが、表計算ソフト(Excel)上で動作する「単木混交配置図作成プログラム」が開発されており、それを利用することで設計を効率的に行うことができる。

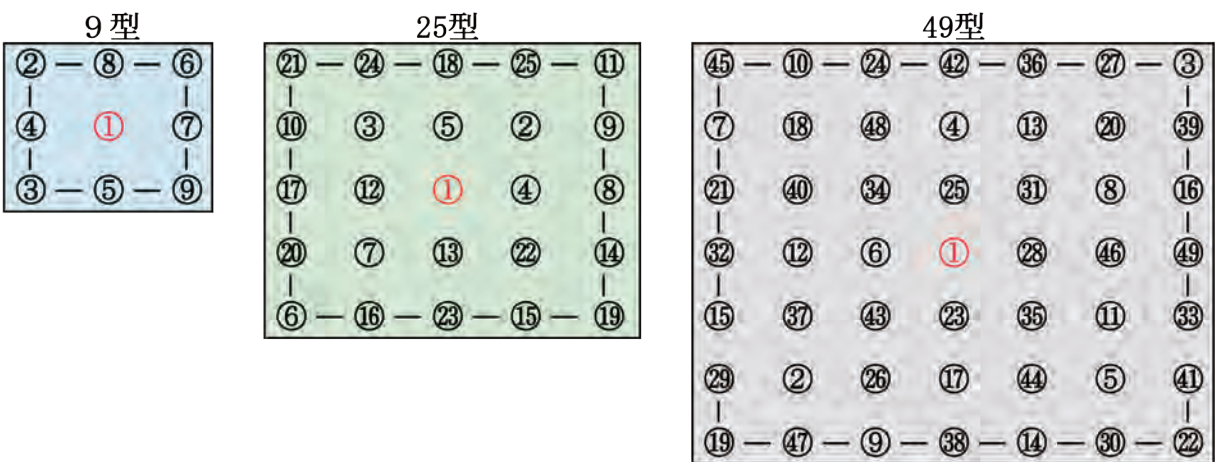


図5-1 | クローンの配置型(古越隆信・谷口純平 1982を改編)

03 母樹の入手・植栽・施肥

生産事業者においては、これまで各都道府県から少花粉スギ等の種穂の提供を受けて苗木生産を行っていたが、平成25(2013)年の「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法(間伐等特措法)」の改正により、農林水産大臣が「特定母樹」を指定する制度が開始され、これにより特定母樹については、各都道府県知事が特定増殖事業計画を認定した民間事業者は、認定特定増殖事業者として林木育種センターから、認定された特定増殖事業計画を実施するために必要な原種苗木等の配布が受けられる。具体的には、特定母樹による採種園を造成する場合、各都道府県を通じて種苗配布要望計画を提出し、特定母樹の管理を厳密に行うため、林木育種センターと「特定増殖事業計画実施のための特定母樹の種苗配布に関する基本合意書」を締結した後に原種配布が受けられる。

採種園における植栽間隔は、設定箇所の地形や形状及び面積、植栽するクローンごとの本数だけでなく、刈払機や薬剤散布機等、保有している作業機械等を総合的に勘案して決定する。一般的に、通常の採種園では当初植栽間隔を2.5m程度とし、スギミニチュア採種園では1.2m程度にすることが最も効率的と考えられている。

採種園における施肥の目的は、土壌の地力の維持とその活用を確実に図ることにある。特にミニチュア採種園では、採種木が若齢時からジベレリン処理による着花促進が行われ、採種後には低い位置での断幹や強度の剪定が行われることから、採種木の樹勢が衰えやすい。このため、採種木を健全に育成・管理していくためには適切な施肥管理が必要である。一方、各採種園の土壌・気象条件は異なっているため、それぞれの採種園における施肥量は、土壌・立地条件、採種木の生育状況等を勘案して決める必要がある。なお、林野庁の「採種園の施業要領」では、表5－1のような施肥基準量が示されている。

表5－1 | 1個体当たりの標準施肥量

樹 齢	要素量(個体あたり g)			施肥量(個体あたり g)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硫酸アンモ ニア(21%)	過リン酸石 灰(18%)	硫酸カリウ ム(48%)
1	8	12	12	38	67	25
2	12	8	8	57	44	17
3	14	10	10	67	56	21
5	16	10	10	76	56	21
7	20	20	20	95	111	42
10	25	25	25	119	139	52

(林野庁 1964 を改編)

3. 採種園の管理

01 採種計画量の決定

「1. 採種園の目的と種類」で述べたように、採種園は、効率的に管理してエリートツリーや優良品種等の優良な系統から遺伝的に優れた林業用種苗生産用の種子を生産するために造成されるものであり、各地域の森林整備に必要な優良種苗を不足なく安定供給するために適正な規模の採種園を造成する必要がある。ここではスギミニチュア採種園を例に、ミニチュア採種園の生産目標と規模について述べる。

ミニチュア採種園の生産目標は、生産事業者や造林者等のニーズを十分に把握した上で、それらニーズに合致した特性をもつ品種を選定し、各品種の生産量を計算する必要がある。ニーズに応じた品種ごとの生産量が決まると、ローテーションを行う区画数と採種木1本当たりの種子の生産量から、区画ごとの採種木の本数、区画の数と総面積を決定することができる。参考として、目標生産量を10kg、採種木1本当たりの種子生産量を25gとした場合の採種園の規模の計算方法の例を表5－2に示す。

前述したとおり、各地域の森林整備に必要な優良種苗を不足なく安定供給するために適正な規模の採種園を造成するためには、採種木1本当たりから生産される種子量をどのように見積もるかが重要である。

なお、各都道府県によって採種計画量の算出方法は様々あると思われるが、ある都道府県では今後の造林面積や年間の種苗の需要量から逆算して、現在管理している採種園の年間種子生産量の把握と、それに伴う新たに増設が必要となる採種園の種子生産量を求めて、採種計画量を算出している事例などもある。

各都道府県が管理しているスギ・ヒノキの採種園における採種木1本当たりの種子量を整理したのが表5－3である。この表の数値は、各都道府県が事業用としてその年に必要とする種子採取を行った際の数量を基にしており、全量採種ではない場合もあることに留意され、今後、新規の採種園造成や既存の採種園を改良する際の参考とされたい。ただし、表をみてわかるように、採取方法が画一的ではないこともあり、採種木1本当たりの種子量には大きな変動がある。このため、各地域において一定程度事前の調査を行う必要がある。

表5-2 | スギミニチュア採種園の規模計算例

区分	項目	記号	単位	計算式	数量(事例)
計算因子	目標種子生産量 (1年当たり)	W	g		10,000g/年
	採種木1本当たりの種子生産量	S	g	—	25g
	採種木1本当たり占有面積(植栽間隔から計算)	P	m ²	—	1.2m×1.2m=1.44m ²
	1サイクルの年数	C	年	—	3年 (①育成(剪定・追肥)・ ②GA処理・③採種)
	区画数	r	区画	—	3区画
	付属地面積	α	m ²	各区画周囲 (4m幅)	1,086m ² (約362m ² ×3)
計算結果	1区画当たりの採種木本数	n	本	W÷S	400本
	1区画当たりの面積	f	m ²	n×P	576m ²
	採種木総本数	N	本	n×r	1,200本
	総敷地面積	F	m ²	f×r+α	2,814m ²

(林木育種センター 業務資料より)

表5-3 | 採種木1本当たり種子量

単位:g/本

樹齡別			スギ			ヒノキ		
樹齡(年)	採種園種類 GA処理の有無		普通	ミニチュア	施設型	普通	ミニチュア	施設型
1～5	有	最少	-	1.3	1.0	2.9	45.2	0.1
		平均	-	30.3	7.8	2.9	45.2	1.1
		最大	-	104.9	14.6	2.9	45.2	2.1
	無	最少	-	1.5	-	-	3.0	-
		平均	-	2.7	-	-	16.7	-
		最大	-	3.8	-	-	37.0	-
6～10	有	最少	-	1.4	3.0	2.7	1.3	-
		平均	-	45.4	15.5	7.7	28.4	-
		最大	-	290.0	28.1	25.6	87.7	-
	無	最少	-	8.0	-	-	13.1	2.3
		平均	-	10.7	-	-	25.9	2.3
		最大	-	13.0	-	-	36.8	2.3
11～15	有	最少	92.7	0.1	2.3	2.9	-	-
		平均	284.1	33.2	27.9	2.9	-	-
		最大	604.4	273.6	56.3	2.9	-	-
	無	最少	91.9	17.2	-	6.4	9.1	-
		平均	117.2	17.2	-	161.2	10.3	-
		最大	142.5	17.2	-	277.3	11.5	-
16～20	有	最少	7.3	2.9	-	-	-	-
		平均	82.5	30.2	-	-	-	-
		最大	120.0	73.0	-	-	-	-
	無	最少	76.1	-	-	2.0	44.3	-
		平均	76.1	-	-	33.0	44.3	-
		最大	76.1	-	-	89.3	44.3	-

21以上	有	最少	5.3	29.3	-	0.9	-	-
		平均	85.7	39.5	-	65.5	-	-
		最大	279.7	60.4	-	285.7	-	-
	無	最少	9.0	-	-	1.3	-	-
		平均	65.6	-	-	76.3	-	-
		最大	268.7	-	-	207.9	-	-

(注釈) GA はジベレリン処理

(林木育種センター 業務資料より)

02 樹形誘導

採種木は良質の種子を継続して多量に生産でき、採種や土壌管理、消毒などの諸作業が効率よく安全にできるような樹形に仕立てることが重要であり、樹形誘導の主な作業としては、断幹と整枝・剪定が挙げられる。

1 断幹

断幹とは、主幹を切断する作業である。断幹により採種木が高木にならないようにし、種子の採取等の作業を容易に行なえるように樹高を調整するとともに、枝葉を充実させることを目的としている。写真5-1と写真5-2は、スギミニチュア採種園における断幹前後の写真である。前述したように諸作業が効率よく行えるように、採種木の植栽後、おおむね3年目の冬期に、樹高が1.2m前後程度になるように断幹する。

また、通常の採種園では、例えば、採種木を樹高3.5mに仕立てようとする場合は、樹高が4.5m前後の時に3.0mの位置で断幹する。スギで植栽後7年目頃、ヒノキで9年目頃が目安である。断幹後は、枝が立ち上がるので、2～3mごとに繰り返し枝の剪定を行う。



写真5-1 | 断幹前(林木育種センター 業務資料より)



写真5-2 | 断幹後(林木育種センター 業務資料より)

2 整枝・剪定

整枝・剪定は、採種木の枝を剪定して樹形を整える作業である。充実した種子が多数採取できるような樹形に誘導していくことを目的としている。写真5-3と写真5-4は、通常のヒノキ採種園の整枝・剪定を実施した前後の写真である。採種園では、樹種の特성에応じて樹形誘導を行う必要がある。スギ

やヒノキでは、最も下の枝まで十分陽光が当たるように樹形誘導をすることが重要であり、重なり枝や内向枝などを間引きながら骨格となる枝を残すようにする。一般に定植後2～4年頃は主につぎ木台木から発生する萌芽枝を剪定、5年目以降において、採種木の生育状況もみながら円錐型仕立て等に誘導していく。作業は、上部から下部の枝へ向かって行い、採種木の上から下まで陽光が入るように、枝の重なり具合を考慮しながら主枝を配置する。なお、多雪地帯では、雪害防除の観点から、全般的に枝を短めに剪定し円筒状に近い形に誘導していく。また、傾斜地では谷側の枝が伸びやすいので、谷側の枝を山側の枝よりも少し短く剪定するとよい。

スギミニチュア採種園の場合、植栽後おおむね5年目の球果採取後に、枝の間引きや残す枝については長さ調整を行って採種木の骨格決めを行い、植栽後おおむね8年目以降は、球果採取後に樹形の維持と採種量を確保するための萌芽枝の育成を目的として行う。

整枝・剪定の時期は各地域によって異なるが、通常の採種園、ミニチュア採種園ともに樹液の流動が少なく樹体への影響が少ない、種子採取後の冬季に行うことが望ましい。なお、強度の整枝・剪定を行うと、夏季の猛暑による母樹の衰弱や病気が見受けられる地域もあることから、留意が必要である。



写真5-3 | 整枝・剪定前(林木育種センター業務資料より)



写真5-4 | 整枝・剪定後(林木育種センター業務資料より)

03 着花促進処理

着花促進の方法にはいろいろあるが、ここでは、スギ・ヒノキに対して行われる薬剤処理による方法や、カラマツに対して行われる物理的な処理による着花促進の方法について記述する。

1 薬剤処理(ジベレリン処理)

ジベレリンは植物ホルモンの一種である。ジベレリンには細胞伸長を促進させたり、種子の発芽促進や休眠状態からの活動促進、老化の抑制などに関わっているとされている。ジベレリンには複数の種類があるが、スギやヒノキの花芽分化時期(6～8月頃)にジベレリンの一種、GA₃を処理すると着花が促進される。処理方法には、採種木全体にジベレリン溶液を散布する「葉面散布」と、採種木の樹幹や枝の一部を剥皮してジベレリンペーストを注入する「剥皮注入」の方法がある。

(ア)葉面散布

この方法は、主にスギの採種園において行われる。粉末のジベレリンを水に溶解させて100ppmの濃度に希釈して用いる。液量は1本当たり300～400mlとされている(表5-4)。

表 5-4 | ジベレリン(粉末)の使用目的及び使用方法

作物名	使用目的	使用濃度	使用液量	使用時期	使用回数	使用方法	ジベレリンを含む農薬の総使用回数
スギ (採種樹)	花芽分化促進	ジベレリン 100ppm	1 樹当たり 300 ～ 400ml	6 ～ 8 月頃の 花芽分化期	3 回以内	葉面散布	3 回以内
		胸高計 5 cm の 樹 1 本当たり 100mg	—	7 月上中旬の 花芽分化期	1 回	樹幹基部 剥皮挿入	3 回以内
ヒノキ (採種樹)		ジベレリン 200ppm	1 樹当たり 300 ～ 400ml	6 ～ 8 月頃の 花芽分化期	4 ～ 5 回	葉面散布	5 回以内

(「植物成長調整剤 ジベレリン水溶剤 住友ジベレリン粉末 農林水産省登録第 24247 号」の使用説明書を参照)
(林木育種センター 業務資料より)

葉面散布は、枝葉が十分濡れて、かつ滴下しない程度とし、特に当年枝に丁寧に散布する(写真 5-5)。また、花芽分化時期は地域によって異なるが、6 月下旬頃～7 月上旬頃の処理は雄花の、7 月中旬頃～8 月上旬頃の処理は雌花の分化を促進させるとされている。



写真 5-5 | ジベレリン散布の様子(林木育種センター 業務資料より)

(イ)剥皮注入
この方法は、主にヒノキの採種園において行われており、ここではペースト状のジベレリンを使用した剥皮注入について述べる。なお、ペースト状のジベレリンは、ヒノキでは枝を剥皮して注入する(表 5-5)。使用量は、1 回の処理枝当たり(枝の径は 1.5cm 程度が目安で、それより細いと処理が難しくなる。) 100mg とする。処理する時期は、6 ～ 8 月頃の花芽分化期で、1 枝に対する使用回数は 1 回である。

表 5-5 | ジベレリン(ペースト)の使用目的と使用方法

作物名	使用目的	使用濃度	使用液量	使用時期	使用回数	使用方法
ヒノキ (採種樹)	花芽分化促進	-	100mg/ 1 枝	6 ～ 8 月頃の花芽分化期	1 回	枝を剥皮し注入

(「植物成長調整剤 ジベレリン塗布剤 住友ジベレリンペースト 農林水産省登録第 24248 号」の使用説明書を参照)
(林木育種センター 業務資料より)

枝への剥皮注入の方法は、先端を加工して鋭利にしたマイナスドライバー等の道具を用いて、枝の繊維に沿って辺材(樹皮に近い部分の木材)にまで達する切り込みを入れ(写真 5-6 a)、切り込みを入れた部分の樹皮を持ち上げ(写真 5-6 b)、樹皮を持ち上げた状態で、形成層と木質部の間に所定量のジベレリンを注入する(写真 5-6 c)。注入後、ジベレリンの漏出や雨水の侵入を防ぐため、持ち上げていた樹皮で蓋をして、ビニールテープ等で固定する(写真 5-6 d)。処理に当たってはジベレリンペーストに付属の説明書に記載の手順に従って注意して作業を行う必要がある。ヒノキは薬害(処理枝の枯損)が出やすい傾向にあることから、樹体の大きさやジベレリンを注入処理する枝の太さに注意する必要がある。

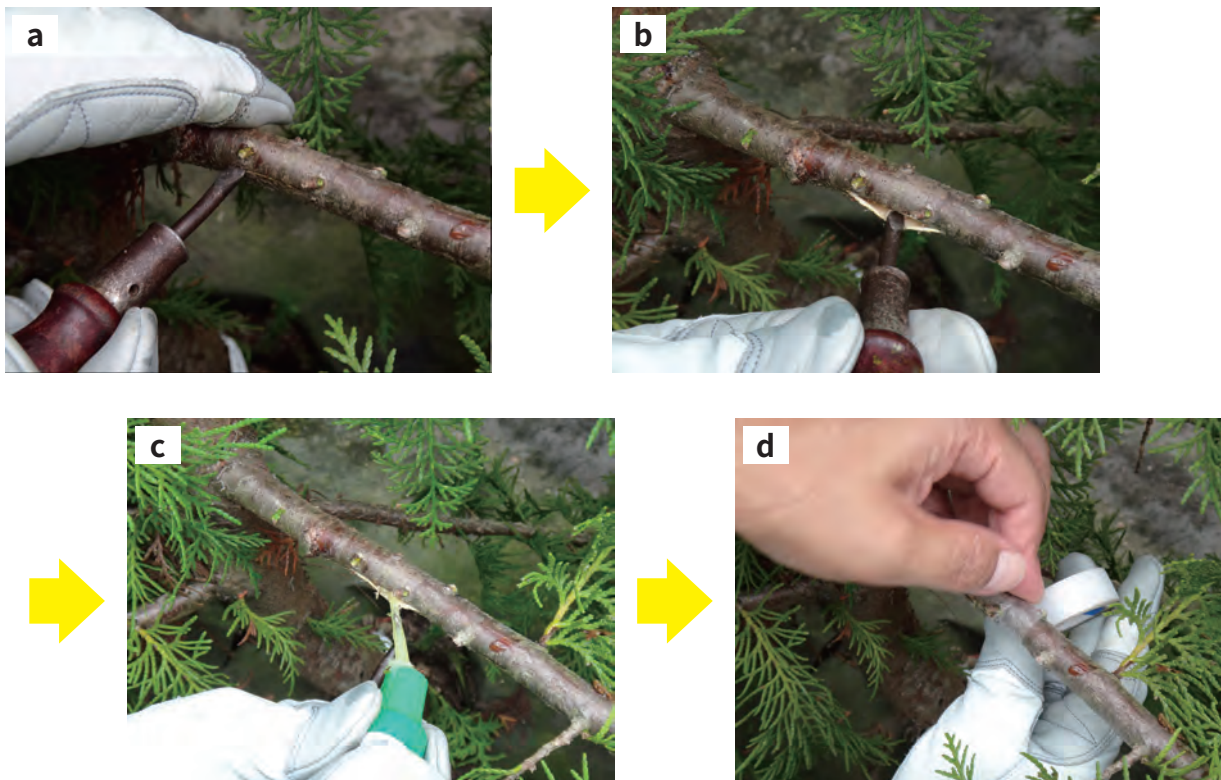


写真5-6 | ジベレリンペーストの枝への剥皮注入方法(林木育種センター 業務資料より)

2 物理的刺激処理(環状剥皮)

カラマツの種子生産には顕著な豊凶がみられる。前述したように、スギではジベレリンの葉面散布を適期に行うことで人為的に花芽形成を誘導する技術が確立しており、また、ヒノキについても、枝にジベレリンを埋め込むことが有効であるとされているが、カラマツではそのような効果的な技術が確立されていない現状にある。ここでは、現在行われている物理的刺激処理である環状剥皮とスコアリングのうち、環状剥皮について述べる。

花芽分化は樹木の栄養状態に強く影響を受け、上部の枝葉に養分が蓄積されることで花芽分化が促進されると考えられている。環状剥皮は樹木の樹皮の一部を剥皮(幹周囲の半分程度を2箇所)することで、葉で作られた養分が根の方に降るのを遮り、上部の枝葉に養分を蓄積させるという手法である。

写真に示す番号の内容	
(I) 剥ぎ取る幅	2 cm程度
(II) 剥ぎ取る長さ	幹周囲長の半分程度
(III) 上下の間隔	幹直径の半分
(IV) 上下の重なり	幹周囲長の10%

上下の重なり目安	
直径(cm)	重なり(cm)
21～30	7～9
31～40	10～13
41～50	13～16
51～60	16～19
61～70	19～22
71～80	22～25

図5-2 | カラマツの環状剥皮方法(林木育種センター 業務資料より)

環状剥皮の実施方法は図5-2に示したとおりであり、(Ⅰ)剥ぎ取る幅を2cm程度にして、(Ⅱ)剥ぎ取る長さは幹周囲長の半分程度、(Ⅲ)上下の間隔は幹直径の半分、(Ⅳ)上下の重なりは幹周囲長の10%として、木材チョーク等で2か所の剥ぐ位置に印を付け(写真左)、専用の剥皮鎌や鋸・鉋で樹皮を剥皮する。実施時期は、花芽分化の3～5週間前がよいとされ、関東森林管理局内のカラマツ採種園では、5月下旬から6月上旬を目安に実施している。

04 交配

品種改良において、交配は雌花に異系統などの花粉を掛け合わせて種子を生産することであり、交配には、自然交配と人工交配がある。自然交配は、人為的に花粉を制御せずに自然状態で交配させることで、風媒花は風による花粉の飛散で受粉し、虫媒花は昆虫の媒介によって受粉が行われる。

林木育種事業では都道府県等が種子の採取源として採種園を設定している。採種園の多くは野外に設定されており、自然環境の中で花粉が飛散するため、自然交配により種子生産を行っている場合が多い。

人工交配は、人為的に交配させる花粉を制御する方法であり、品種改良を行うためにしばしば用いられてきた。人工交配に用いる花粉は、検定林調査等を通じて得られた特性情報に基づいて選定する。

人工交配を行う手順等は次のとおりである。

1 花粉採取

雄花が開花して花粉が飛散する前に、系統ごとに花粉を採取する。スギの場合には、雄花が着生した枝ごと切り取り、雄花着生部位に袋(不織布)を掛けて、枝の切り口を水に漬ける(写真5-7)。写真は、プラスチックの水槽(90cm×60cm程度)に基盤の目の仕切り板を取り付けて、そこに塩ビパイプ(直径5cm、長さ20cm程度)を鉛直方向に固定し、袋掛けした枝を1本ずつ挿し込んでいる状態である。水槽には水を満たしているため、水ざしした枝先は水についた状態となっている。水に漬けた後、袋内で雄花が開花して花粉が袋内に飛散するので、これを採取する。採取した花粉は、交配に利用するが、交配に用いなかった余剰な花粉は、含水率を調整した後に冷凍保存することにより翌年利用することができる。



写真5-7 スギ花粉採取のための水ざし(林木育種センター 業務資料より)

2 雄花の除去(除雄)

人工交配は、雌花に特定の花粉を交配させる作業であるため、受粉を行う交配袋を掛ける前に雄花は全て除去し、交配袋内は雌花だけにする必要がある。交配後に袋を取ったときに1つでも雄花が残っていた場合は、目的とした交配が失敗した可能性がある。

3 袋掛け

除雄が完了した枝には、意図しない花粉が交配することを防ぐために、袋の口の部分にあたる枝に綿を巻きつけるなどして紐で固定する。交配母樹ごとに数個の交配袋を掛ける。多くの場合、袋毎に異なる花粉を注入するため、ラベル等で交配する花粉を表示するとともに、記録を取る(写真5-8)。



写真5-8 スギに交配袋をかけた様子(林木育種センター 業務資料より)

4 交配作業

交配適期は、雌花が開花し、珠孔液(花粉を捕えるための液)が出ているタイミングが最適である。定期的に雌花の状況を観察する。交配袋の表面に珠孔液のシミが付いている時は適期である。袋内で雌花の開花は数日続くことから、袋掛けした枝ごとに数回(受粉期間中3回程度)花粉銃を利用し、袋内に花粉を注入する(写真5-9)。



写真5-9 花粉注入の様子(林木育種センター 業務資料より)

5 交配後の管理

近年カメムシによる球果の吸汁被害が多くなっている。カメムシに種子を吸汁されると、発芽能力が低下することから、種子生産においてカメムシ防除用のネット(目合いは0.5～0.8mm程度)の設置(写真5-10)は重要である。設置する際には球果がネットに密着すると外からカメムシに吸汁されるので留意する必要がある。また、設置する時期は、地域やその年の気候等によっても異なるが、カメムシの発生時期に留意して設置する必要がある。



写真5-10 ネットを設置した様子(林木育種センター 業務資料より)

05 着果状況の確認

採種園に植栽された樹木は、精英樹を親とする優良な種子を採取できることが期待されるが、これらの樹種は年によって着果量に差があることから、毎年球果が確認できる6～7月頃に着果状況を確認し種子生産量の予測を行うことで、効率的な種子採取や育種種苗の供給量を見通すことができる。



a スギ球果4月頃



b スギ球果6月頃



c スギ球果9月下旬頃

写真5-11 スギ球果の成熟(林木育種センター 業務資料より)



a ヒノキ球果4月頃



b ヒノキ球果6月頃



c ヒノキ球果9月下旬頃

写真5-12 ヒノキ球果の成熟(林木育種センター 業務資料より)

通常、樹木の雌花は受粉後、幼球果の段階を経て、球果となる。多くの樹種では、球果はその年の秋に結実するが、マツ属樹種のように、翌年の秋に結実するものもある。結実には豊凶があり、凶作年には種子の採取が困難な上、種子の発育も悪く、発芽率も低くなるといわれている。豊凶の原因は、養分状態など樹体内の生理的条件や気象などが関係していると考えられている。秋に採取できる種子量を見積もるため、夏期に着果状況を調査するとよい。写真5－11及び写真5－12は、スギ・ヒノキの球果成熟の進み具合を示したものである。この場合、スギでは写真5－11b、ヒノキでは写真5－12bの頃が着果調査の適期である。

写真5－13と写真5－14は、成熟期(9月下旬)のスギ・ヒノキの球果を切断して、断面にあらわれた胚乳(赤表示部分)の様子を撮影したものである。種子内部の成熟度は、種子調査の一つである充実率と密接な関わりがあり、採種量の見積もりや採取時期の決定のための目安として有効である。



写真5－13 | スギ球果成熟期断面(林木育種センター 業務資料より)



写真5－14 | ヒノキ球果成熟期断面(林木育種センター 業務資料より)

06 病虫害等の防除

採種園を管理する上で採種木の病虫害防除は、優良な種子を大量に生産するために重要な作業である。採種園は同一の樹種が集団で植栽されているため、病虫害が発生しやすく、その種類も多様で、その出現時期や被害形態といった症状も様々である。さらに、地域の気象条件に応じて、寒風害や雪害といった気象害の予防のための対策や、シカやイノシシなどの獣害対策も状況に応じて考慮する必要がある。

病虫害名や農薬の種類について、代表的なものを病害防除一覧として表5－6に、虫害防除一覧を表5－7に示した。病虫害防除するために農薬の使用に当たっては、適用方法にしたがって適切に使用する必要がある。

表5－6 | 病害防除一覧表 (令和6(2024)年時点)

樹種	病名	防除法	
		時期	農薬の種類
スギ	赤枯病	発病初期	チオファネートメチル水和剤
		—	マンゼブ水和剤
マツ類	枝枯細菌病	新梢伸長期～発病初期	オキシテトラサイクリン水和剤
	斑点病	発病初期	銅水和剤
	葉ふるい病	生育期	有機銅水和剤
カラマツ	先枯病	—	ポリオキシシン水和剤

(林木育種センター 業務資料より)

1 病害予防

採種園造成後は病害発生に留意して適切な防除を行う。定植する苗木についても病害苗を選別除去して園内に病菌を持ち込まないように努める。また、根雪が1か月以上続くような地域では、定植後1～2年の間、雪腐れ病に注意する必要がある。

スギの病害の代表的なものとして赤枯病がある。スギ赤枯病は *Passalora sequoiae* によって引き起こされる病害で明治33（1900）年代初頭と昭和25（1950）年前後の拡大造林期の2度にわたって大流行し、一時はスギの苗木生産に壊滅的な被害をもたらした。特に1～2年生の苗木で被害が目立ち、病徴は、苗木の地際部に近い枝葉の針葉1本単位から被害が出始め、次第に苗木の上部の針葉にも症状が現れ、針葉だけでなく、緑色の主軸や枝にも形成され、罹病葉は、暗褐色から焦茶色を呈する。スギ赤枯病は苗木のみに限定される病害ではなく、罹病苗を植えた植林地が感染源として機能する可能性も示している。スギ赤枯病は、苗木の衛生管理を入念に行っても、完全に防ぐことは困難であるが、適切に薬剤散布を行うことで防除できる病害である。対策としては薬剤を4月下旬頃から10月上旬頃まで定期的に採種木に散布して防除する。

マツ類は、主に葉ふるい病であり、感染拡大防止のため落葉した葉は焼却するか埋めたりするとともに、6～9月頃まで2週間おきに薬剤を散布する。また、アカマツの主な病害はコブ病であるが、対策としては、中間寄主であるクヌギ、ナラ類を園内又は周囲から除去する。葉さび病についても、中間寄主であるキハダを園内から除去する。カラムツの主な病害は先枯病や落葉病が挙げられ、対策としては薬剤を散布して防除する。

表5-7 | 虫害防除一覧表 (令和6(2024)年時点)

樹種	害虫名	防除法	
		時期	農薬の種類
スギ・ヒノキ	1) 食葉性害虫		
	ドクガ類	発生初期	ダイアジノン水和剤 MEP 乳剤
		若齢・中齢幼虫	MEP 乳剤
	コガネムシ類幼虫	発生初期	アセフェート液剤
		幼虫期	ダイアジノンマイクロカプセル剤
		植付時	イミダクロプリド粒剤
		生育期	クロチアニジン粒剤
		植付時又は生育期(発生初期)	プロチオホス粉粒剤
	2) 穿孔性害虫		
	スギカミキリ	成虫の発生初期又は直前	MEP 乳剤
		伐倒木	カーバム剤
		成虫発生前から発生期間中	粘着剤
	スギザイノタマバエ	成虫の発生初期又は直前	MEP 乳剤
	ヒノキカワモグリガ	成虫の発生初期又は発生最盛期直前	MEP 乳剤
	3) 虫えい害虫		
	スギタマバエ	虫えい形成期	MEP 乳剤
	4) 吸収性害虫		
	スギノハダニ	発生初期	エトキサゾール水和剤
			テトラジホン乳剤
			テトラジホン水和剤
	カイガラムシ類	幼齢木	ジメトエート粒剤
		3月～10月	マシン油乳剤
		発生初期	イソキサチオン乳剤
			アセフェート・MEP 乳剤
		夏期、冬期	アレスリン・マシン油エアゾル

樹種	害虫名	防除法	
		時期	農薬の種類
マツ類	1)食葉性害虫		
	マツカレハ (幼虫マツケムシ)	若齢幼虫期	ジフルベンズロン水和剤
		幼虫期	MEP 乳剤
		発生期直前	アセフェート剤
		幼虫発生前～幼虫発生期	アセタミプリド液剤
			チアクロプリド水和剤
			チアメトキサム液剤
	ハバチ類	若齢～中齢幼虫	ジフルベンズロン水和剤
		幼虫期	MEP 乳剤
	ハマキガ類	幼虫期	MEP 乳剤
	2)穿孔性害虫		
	マツノシンマダラメイガ	幼齢期	MEP 乳剤
		若齢～中齢期	
	マツノマダラカミキリ	幼虫	カーバム剤
		幼虫期(秋期)	MEP 乳剤
		成虫発生前(春期)	
		成虫発生初期及び発生最盛期直前	
		成虫発生 2～3 か月前	ホスチアゼート液剤
		成虫発生直前又は発生初期	プロフラニリド水和剤
		成虫発生初期及び発生最盛期直前	アセタミプリド液剤
		成虫発生直前又は発生初期	チアクロプリド水和剤
		成虫発生初期及び発生最盛期直前	クロチアニジン水和剤
		成虫羽化脱出前	ボーベリア バシアーナ剤
	シンクイムシ類	幼虫期	MEP 乳剤
	3)虫えい害虫		
	マツバノタマバエ	成虫発生最盛期	MEP 乳剤
	4)吸収性害虫		
	カイガラムシ類	幼虫発生期	マシン油乳剤
		夏期、冬期	アレスリン・マシン油エアゾル
		—	クロチアニジン・フェンプロパトリンエアゾル
	ハダニ類	新梢発生前	石灰硫黄合剤
		成虫発生前	ミルベメクチン乳剤
	アブラムシ類	発生初期	アセタミプリド水溶液
			アセタミプリド液剤
カラマツ	1)食葉性害虫		
	マイマイガ	—	テフルベンズロン乳剤
	カラマツマダラメイガ	若齢～中齢幼虫	ジフルベンズロン水和剤
エゾマツ	1)吸収性害虫		
	アブラムシ類	幼齢木	ジメトエート粒剤

(林木育種センター 業務資料より)

2 虫害予防

スギの虫害は穿孔性害虫のスギカミキリ、吸収性害虫のスギノハダニやカイガラムシ類などが代表的なもので、対策としては薬剤を散布して防除する。スギノハダニは、スギの葉を吸汁加害するため、葉の色が退色し木の成長を妨げる。スギの若い造林地の害虫で庭木や生垣などにも頻繁に発生する。雌成虫は体長0.4mm、卵形。雄成虫はやや小さく逆三角の卵形。雌雄ともに橙色。スギの葉に産み付けられた卵で越冬し、4月にふ化し、11月頃までに10回以上発生を繰り返す。一般に密度が高くなるのは5～6月と9月ごろである。梅雨明けごろ葉の退色が目立つが、このときにはダニはむしろ少なく、白

い脱皮柄が多い。梅雨時期に雨の少ない、いわゆる空梅雨の年に大発生する。薬剤による防除方法の例としては、スギノハダニの殺虫剤として農薬登録のあるテトラジホン水和剤または乳剤の希釈液を採穂木全体に噴霧器を用いて、ふ化直後から密度が高くなる4月下旬から5月上旬と8月下旬から9月上旬に薬剤を散布する。断幹前の採穂木の発育促進期の防除を行う場合は、農薬登録のある有機リン系殺虫剤のジメトエート粒剤を3月中旬から4月中旬と8月上旬から中旬に採穂木の根元に散布する。

スギ、ヒノキの場合、吸汁性害虫カメムシの被害がしばしばみられ、種子の発芽率が著しく低下する。採穂木全体あるいは球果が着生している枝をポリエチレン製のネットで覆うなどの対策が必要である。また、カメムシ被害はマツ類にもみられ、現在、外来種であるマツヘリカメムシが国内で急速に広まっており、花芽が吸汁被害を受けると脱落し、球果が被害を受けると種子がほとんどなくなるとの報告もあり注意が必要である。マツ類は、マツカレハなどの食葉性害虫もあるが、マツノザイセンチュウの媒介者として穿孔性害虫のマツノマダラカミキリが代表的で、枯損木は伐倒駆除、生立木は感染防止のため初夏に殺虫剤を散布し防除する。カラマツについてはカラマツアカハラハバチ、カラマツヤツバキクイムシなどの食葉性害虫が代表的なもので、大量発生した場合数年連続して発生することもあるので、早期の防除対策が求められる。

なお、ヒノキに対するMEP系の農薬の使用に当たっては、薬害(落葉や枯損等)を受ける系統もあるので、付近にある場合にはかからないように注意して散布する必要がある。

3 気象害予防

寒風害については、冬期間の低温、風による凍結、乾燥等の防除は風向きや霜道を考慮して防風垣、防風柵、防風ネット等の設置による予防が効果的である。

雪害については、雪折れ防止のための支柱を利用した雪囲い、若齢の場合は荒縄やナイロンネットなどによる縛りなどの方法がある。

4 獣害予防

シカ、イノシシ、クマなどによる食害や皮剥ぎ被害対策として、周囲をネットや電気柵等で囲み侵入を防止する。また、シカの食害対策として、生息密度が低い所では忌避剤を散布して被害を防止する方法もある。

引用文献

- 林野庁(1964)採種園の施業要領(39.林野造第1720号) 20p.

参考文献

- 安藤裕萌・升屋勇人(2020)スギ赤枯病研究の現状と課題. 日本森林学会誌 102:44-53
- 福元信二(2024)林木育種に必要な技術 林業改良普及双書205:60-80
- 古越隆信・谷口純平(1982)林木の育種 100-101
- 一般社団法人日本植物防疫協会(2023)農薬摘要一覧表2023版
- 関東林木育種場・同長野支場(1975)林木育種事業における育種種子の生産技術
- 小林富士雄(1991)スギノハダニ. カラー解説, 緑化木・林木の害虫. 小林富士雄・滝沢幸雄(編, 著), 養賢堂, 150
- 三重県林業研究所(2018)ミニチュア採種園方式によるスギ種子生産マニュアル 14p.
- 大庭喜八郎・勝田柁(1991)林木育種学 文永堂出版株式会社 128
- 東北林木育種場・同奥羽支場(1976)実践採種徳園の管理
- 東北育種基本区ミニチュア採種園技術マニュアル(2011):67p.
- 鶴智之・大生唯統・田村昭夫(2020)外来種マツヘリカメムシ *Leptoglossus occidentalis* の鳥取県からの初記録と分布の拡大状況に関する考察. 鳥取県立博物館研究報告 57:37-43

1. 球果の採取

01 球果の採取場所

スギやヒノキなどの主要な造林用樹種では、優良種苗を確保するため、林業種苗法により、種子の採取区域とその配布区域が定められ、育種母樹林や普通母樹林などの採取源の指定が行われている。採種園は、林木育種事業で開発された優良品種等のつぎ木クローンによって造成された育種母樹林であり、種苗生産のための球果の採取は、原則としてこの育種母樹林から行う。育種母樹林は複数のクローンから構成されているので、球果の採取に当たっては、各構成クローンから均等に採取すること、また普通母樹林では、複数個体から均等に採取することが肝要である。球果を採取したクローン数や母樹数が極端に少ない場合、それらから育成された苗木を用いて造成される森林の遺伝的多様性は小さくなる。

一般に樹冠上部の日当たりの良い枝から採取した球果の種子は、よく充実していて発芽率が高い傾向にあり、球果の採取は母樹の陽樹冠から行った方がよい。また、球果の結実量は年(場所)によって豊凶があり、一般に結実の多い豊作の年(場所)の球果は、種子の品質が良好で採取も容易であるが、結実の少ない凶作の年(場所)の球果は、種子の品質は不良で採取するための労力も多くかかる。

一方、豊作が続くことはまれで、豊作の後は凶作となることが多い。そのため、計画的な種苗生産のためには、豊作年に球果を大量に採取して種子を保存することや、状況に応じて着花促進処理を行うことが必要である。着果促進処理には、樹冠に十分に陽光が当たるように受光伐を行ったり、環状剥皮や巻き締めなどの機械的処理を行ったりする方法があるほか、スギやヒノキではジベレリン処理が極めて有効である。また、開花しても結実しない場合には、受粉の人工媒助などが必要である。スギやヒノキではカメムシ類の吸汁を防ぐため、幼球果に防除ネットをかけると種子の発芽率が飛躍的に向上する。

以上のように、発芽率の高い充実した種子を得るためには、適切な施業が行われている採種園(育種母樹林)から球果を採取することが重要である。

02 球果の採取時期

造林用樹種の球果の採取時期は、林業種苗法により、都道府県知事が必要に応じて採取時期を指定し、その指定に当たっては、林業種苗法施行規則で開始日が定められている(スギ、ヒノキ、アカマツ、クロマツは9月20日以降、エゾマツは9月10日以降、カラマツ、トドマツは9月1日以降)。あまり早く採取すると発芽力が十分に備わっていないことがある。したがって、法令で定められている採取時期以降の、できるだけよく成熟した時期に球果を採取することが重要である。種子の発芽率は、よく成熟した球果ほど高い傾向にある。

球果は完熟が近づくと、含水量が減少して濃緑色から茶褐色へ変色し、その樹種特有の色調や光沢をもつようになる。球果の成熟度の進み具合は、樹種や品種、母樹や樹冠内での着生位置、採種園の立地環境やその年の気候によっても異なり、最近の温暖化の影響により、球果の成熟期が変化しているのではないかという指摘もある。外観によって成熟度を判断し、その年の採取適期を決めるためには、ある程度の経験が必要になり、あらかじめ、球果の外観の変化や含水量と球果の中にある種子の発芽力との関係を検討しておくことが望ましい。球果の採取に当たっては、鱗片が開いて球果から種子が飛散してしまう前に、成熟度を見極めて採取する。

03 球果の採取方法

球果の採取方法には、もぎ取り法、枝摘み法、枝おろし法、伐倒法などがある。もぎ取り法は、球果の着生している母樹の小枝から球果一個一個を果柄のところからもぎ取る方法で、母樹を最も痛めない方法であるが、手間と労力がかかる。枝摘み法は、球果の着生している小枝を母樹から切り取る方法で、球果が小枝に多量に着生している場合には採取の効率が良い。枝おろし法は、球果の着生している枝を母樹から切り落として球果をもぎ取る方法で、樹高の高い母樹などでは効率が良いが、母樹への損傷の影響は大きい。伐倒法は、球果の成熟期に合わせて母樹を伐倒して球果をもぎ取る方法で、採取の効率が良い場合もあるが、次年度以降は球果を採取することはできない。

これらの球果の採取方法は、球果を採取する採種園の樹形や樹種などを勘案して、最適な方法を選択する。採種園(育種母樹林)からの採取では、採種園の施業に関連して、採種母樹の樹形を仕立てて維持するための整枝剪定を兼ねて、枝摘み法や枝おろし法で球果を採取することが一般的によく行われる。採種園の間伐が予定されている時は、それにあわせて伐倒法で球果を採取する場合もある。一方、カラマツの球果は、長枝上の短枝の頂端に着生することから、球果を採取するにあたり、球果が着生する小枝を切り落とすと、来年以降に花芽が着生する短枝を捨て去ってしまうことになる。また同様に、アカマツやクロマツなどの球果は、開花の翌年の秋に成熟することから、成熟した球果の着生する小枝を切り落とすと、その小枝の先に着生する翌年の秋に成熟する幼球果も捨て去ってしまうことになる。したがって、これらの樹種での継続的な球果採取のためには、小枝を切り落とさないで球果一個一個をもぎ取ることが重要である。

各地に造成されている採種園には、林木育種事業の当初から造成されている通常の採種園と、現在主流となっているミニチュア採種園がある。通常の採種園のうち、スギ、ヒノキ、アカマツ、クロマツ、カラマツなどでは、球果採取用に樹高4 m程度で断幹して、樹高が5 m程度に採種木が仕立てられているので、脚立や高さ4 m程度の高所作業車(写真6-1)を利用して球果を採取する。球果が樹冠の上端に着生するトドマツ、エゾマツなどの採種園や普通母樹林では、断幹などの施業を行わず自然型の樹形であり、樹高や枝下高が高いことから、伸縮可能な竿の先端に鎌を取り付けた道具(写真6-2)や、高さ10 m以上の高所作業車(写真6-3)を利用して球果を採取するほか、専門の業者などにより梯子や昇降機を用いて木登りするなどして採取する。なお、労働安全衛生規則により、2 m以上の高さで行う作業は高所作業となるので、墜落防止の措置やフルハーネス特別教育、高所作業車運転特別教育などの受講が必要である。一方、スギやヒノキなどのミニチュア採種園では、樹高1 m程度で断幹して、樹高が1.5 m程度に採種木が仕立てられているので、脚立などを用いなくて立った姿勢で球果の採取作業が可能である(写真6-4)。

04 球果の採取源等についての記録

球果の採取場所や種類などの情報については、林業種苗法により、種子の生産事業者は、種子を入れた容器や袋などに、樹種、銘柄(精英樹、抵抗性品種、花粉症対策品種や特定苗木の別)、採取場所、採取の年月、指定採取源の種別と指定番号、種子の数量(kg)、生産事業者の氏名と登録番号などを記載した生産事業者表示票を添付することが義務づけられている。球果を採取した後、種子が生産されるまでには、球果の乾燥、種子の脱粒、精選などの工程があるが、これらの工程を経ることで、**採取源の記録が混乱、散逸しないように、採取源に関する情報を確実に引き継いでいく必要がある。**



写真6-1 | 高さ4mの高所作業車による作業(林木育種センター 業務資料より)



写真6-2 | 測竿鎌を用いた作業(林木育種センター 業務資料より)



写真6-3 | 高さ10m以上の高所作業車による作業(林木育種センター 業務資料より)



写真6-4 | スギのミニチュア採種園(林木育種センター 業務資料より)

1
2
3
4
5
6
7
8

種子の採取・調整・貯蔵・品質管理

2. 種子の採取・調整

01 球果の乾燥

採取してきたばかりの球果はかなり多くの水分を含んでおり、そのまま放置するとカビが生えたりするので、採取後なるべく早く乾燥させる。種子は球果の中に含まれているので、球果を乾燥させることにより鱗片を開かせて、種子を取り出す作業(脱粒)を行う。乾燥方法には、自然乾燥法と人工乾燥法がある。球果に付着している果柄や針葉、球果に混じった枝やゴミなどは、この後の精選作業における夾雑物となるので、あらかじめ乾燥前にできるだけ丁寧に取り除いておくことが重要である。

自然乾燥法は、風通しの良い所で、防水シートなどを敷いて球果を薄く広げたり(写真6-5)、えびら(平かご)に球果を広げたりして(写真6-6～写真6-8)、自然に乾燥させる方法である。比較的簡便であるため、種子の採取事業ではよく用いられている方法であるが、乾燥には数週間を要する。自然乾燥法には、直接日光を当てて乾燥させる陽光乾燥(天日干し)と、通気の良い室内で乾燥させる日陰乾燥(陰干し)があり、時々、均一にかき混ぜて乾燥を促す。採取した球果をすぐに陽光乾燥させると、種子の発芽率が低下したりすることがあるので、日陰乾燥による予備乾燥を1週間程度行った後に、陽光乾燥を行った方がよい。野外での陽光乾燥では、鳥などによる食害に注意が必要である。



写真6-5 | カラマツ球果の自然乾燥(林木育種センター 業務資料より)



写真6-6 | スギ球果の自然乾燥(林木育種センター 業務資料より)



写真6-7 | ヒノキ球果の自然乾燥(林木育種センター 業務資料より)



写真6-8 | アカマツ球果の自然乾燥(林木育種センター 業務資料より)

人工乾燥法は、送風乾燥機の中に球果を入れて、強制的に乾燥させる方法で、球果を短時間で乾燥させることができる(写真6-9)。球果はえびら(平かご)などに薄く広げて乾燥機に入れる。人工乾燥法には、温度を上げないで送風により乾燥させる通風乾燥と、火力を用いて35～45℃の温風を強制循環して乾燥させる温風乾燥がある。温風が50℃以上の高温にならないように注意が必要である。採取したばかりの含水率の高い球果をすぐに温風で急激に加熱乾燥させると、種子の発芽率の低下を招くので、1週間程度の通風乾燥や日陰乾燥による予備乾燥を十分行ってから、温風乾燥を行うことが重要である。温風乾燥では、2～3日程度で球果が乾燥して開鱗する。

球果を乾燥させても容易に鱗片が開かない場合には、球果が潤う程度に水に漬けてから、再度、陽光乾燥や温風乾燥を行うと、鱗片が開くことがある。また、乾燥によって開いた鱗片は、冷えて湿り気にあうと再び閉じるので、乾燥後速やかに種子の脱粒を行う。なお、トドマツ(モミ属)の球果は、乾燥すると果軸から鱗片と種子が同時に離脱してばらばらになることから(写真6-10)、この後に行う精選作業が重要になる。



写真6-9 | 温風種子乾燥機(林木育種センター 業務資料より)



写真6-10 | トドマツ球果の自然乾燥(林木育種センター 業務資料より)

02 種子の脱粒とハネ取り

スギやヒノキなどの主要な造林用樹種の種子は、球果の鱗片と鱗片の間に着生しているが、乾燥させて鱗片が開くと容易に球果から離脱(脱粒)する。種子の脱粒には、乾燥して開鱗した球果を、箱やえびら(平かご)などの中でかき回す方法や、振とう機を用いて篩(ふるい)にかける方法がある(写真6-11)。篩では、球果と種子の大きさを勘案して、篩目が5～10mmのものを選択して篩をかけると、上篩に開鱗した球果が残り、下篩に種子が集まって、球果と種子を選別することができる。脱粒したアカマツ、クロマツ、カラマツ、トドマツ、エゾマツなどの種子にはハネ(羽)が付いているので、よく乾燥させた状態で布袋に入れて、手で軽く揉んでハネを除去する(写真6-12)。



写真6-11 篩を用いたスギ球果からの種子の脱粒と精選(林木育種センター 業務資料より)



写真6-12 布袋を用いた種子のハネ(羽)取り(林木育種センター 業務資料より)

03 種子の精選

種子の精選は、球果から種子を脱粒させる時に混ざる夾雑物や除去したハネ、シイナ(中身が空っぽの種子)などの不稔種子を取り除く作業である。機械的に精選するためには、充実種子との物理的な違いに注目して、篩選、風選、液体選の方法があり、それぞれの樹種に適した方法や条件を組み合わせで行う。最近では、近赤外分光法を用いた種子選別機も開発されている。

篩選は、いろいろな目の大きさの篩を用いて、種子と夾雑物とを分ける方法である。種子よりも大きい夾雑物を除く上篩には、篩目が3～5mmの篩を用いて、種子より小さい夾雑物を除く下篩には、篩目が1～2mmの篩を用いて精選する(写真6-11)。篩目の大きさは、樹種や系統、個体による種子の大きさの違いを勘案して選択する。充実種子と大きさの違いがないシイナやシブダネ(褐色のヤニなどが蓄積した種子)、夾雑物などは選別できないため、竹べらなどを用いて目視で選別する(写真6-13)。

風選は、風力による比重選で、穀物の風選に使う唐箕や専用に販売されている精選装置(写真6-14)を用いて、それぞれの樹種に応じた風速に調整した風を送って、種子に混じったハネ(羽)などの夾雑物や充実種子より軽いシイナを分離する方法である。通常、風速を調整しながら数回くり返して行う。アカマツやクロマツは、充実種子とシイナには重さに差があるため、風選でシイナ、ハネ、夾雑物を取り除く。スギのシブダネやヒノキのシイナの選別にはあまり有効ではない。篩選と風選を組み合わせで一体化させた穀物用の精選装置(写真6-15)や、家庭用掃除機を利用した簡易型の種子精選機なども販売されている。



写真6-13 目視による夾雑物などの選別(林木育種センター 業務資料より)



写真6-14 風選による種子精選装置(林木育種センター 業務資料より)



写真6-15 篩選と風選が一体となった穀物用の精選装置(林木育種センター 業務資料より)

液体選は、水選、洗剤水選、食塩水選、エタノール選などがあり、それぞれの溶液の中に種子を入れて選別する方法である。一般に浮いた種子はシイナが多く、沈んだ種子は充実種子が多いが、シブダネが一番早く沈むこともある。篩選や風選を実施した後に、種子の比重が充実種子と不稔種子(シイナ、シブダネ)とで異なることを利用して、種子の充実率(充実種子の割合)を高めるために行う選別である。水選の場合、選別後すぐに播種する場合は問題ないが、種子を貯蔵する場合は、水選後直ちによく乾燥させる必要がある。

水選では、種子を水に入れた直後は充実種子もシイナも浮くが、時間の経過と共に充実種子から沈み始め、その後遅れてシイナが沈み始める。そのため、それぞれの樹種に応じた充実率が最も高まる時間を検討し、その時間までに沈降した種子を選別する。例えば、シブダネの多いスギでは、水に浸漬して短時間に沈む種子(シブダネ)を取り除き、攪拌後およそ12時間以内に沈降した種子を選別する。洗剤水は界面活性剤の働きで表面張力が水よりも低下し、これが種子の沈下を容易させる効果があり、特にヒノキの精選に適している(写真6-16)(他の事例については、浅川ほか 1981を参照)。

エタノール選は、水より比重が軽いエタノールを用いた方法で、水選とは異なり、種子をエタノールに浸漬すると数秒で充実種子とシイナに分かれる。沈んだ種子(充実種子)はすぐに取り出して乾燥させる(エタノールを飛ばす)。アカマツやクロマツなどで充実率を上げる効果がある。一方、樹種や種子の成熟度によっては、エタノールによる薬害が発生して、発芽率が低下することがあるので特に注意が必要である。

新たな種子の精選方法として、近赤外光の反射特性に基づく充実種子の選別法が考案されている。充実種子に含まれる胚乳は、近赤外光領域のある一定の波長の光を吸収する性質があることから、この性

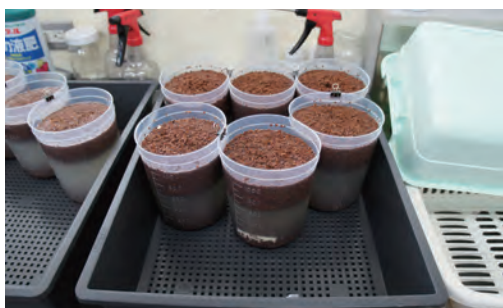


写真6-16 ヒノキ種子の洗剤水選(林木育種センター 業務資料より)

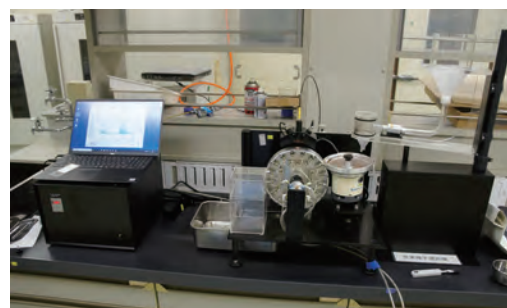


写真6-17 近赤外分光法を用いた種子選別機(林木育種センター 業務資料より)

質を利用して、種子1粒1粒に近赤外光を照射して、充実種子を選別する装置が販売されている(写真6-17)。これまでの精選方法では、充実種子を確実に選別できなかったが、近赤外光を利用した選別装置は、光を照射するだけなので、非破壊で高精度に充実種子を選別することができる。

04 種子の乾燥

陽光乾燥や温風乾燥により球果を乾燥させて脱粒した種子は、十分に乾燥しているが、脱粒、ハネ取り、精選の過程で吸湿している可能性があるので、精選後に種子の含水率を測定して乾燥状態を確認しておくことが望ましい。この後、種子を冷凍保存する場合は、含水率の確認は重要である。スギやヒノキなどの種子は、含水率が高いと短期間でその発芽力を失う。液体選を行った場合には、乾燥処理が不可欠である。特に、長期にわたって種子を保存する場合や種子を凍結保存する場合は、十分に乾燥させておく必要があり、含水率を10%程度以下に調整する。

3. 種子の保存

調整(精選、乾燥など)が終了した種子は、翌春の播種まで保存しておく必要がある。また、球果の結実量には豊凶があり、計画的な種苗生産のためには、豊作年にできるだけ多くの種子を生産して保存し、凶作年に備えることが重要である。一般的に豊作年は2～5年周期といわれていることから、次の豊作年まで、数年間は発芽力を保ったまま保存する必要がある。スギ、ヒノキ、カラマツなどの種子は、室内に放置すると一夏から1年で発芽力を失い、比較的寿命の長いアカマツやクロマツでも、室内で放置すると3年程度で発芽力を失ってしまう。

スギやヒノキなどの主要な造林用樹種の種子は、含水率を10%程度に乾燥させて、密閉容器を用いてシリカゲルなどの乾燥剤と一緒に冷蔵保存(0～3℃)または冷凍保存(－10～－20℃)(写真6-18)すると、冷蔵保存で数年間、冷凍保存で10年以上の期間、発芽力を維持して保存することができる。

保存するに当たって、採取源の記録が散逸しないように注意する。また、途中で室内に取り出して結露したり吸湿したりした種子を、再度冷凍保存すると発芽力が失われるので注意が必要である。

ちなみに、乾燥させて低温・凍結保存できる種子をオーソドックス種子、乾燥・低温によって発芽力を失う種子をリカルシトラント種子と呼んでいる。



写真6-18 種子の冷凍保存(-20℃)(林木育種センター 業務資料より)

4. 種子の品質

林業種苗の生産において、種子の品質は苗木育成に必要な資材の利用効率や作業効率、ひいては採算性に直接影響する。そのため、種子の品質を示す重要な指標である発芽率を把握し、発芽率を損なわないよう種子を管理することが重要である。

01 発芽率

発芽率は、受粉の状態や虫害などの影響を受けることが知られている。例えば、受精の失敗などによって胚と胚乳部分を欠く「シイナ種子」は発芽能力を持たない。虫害によって胚や胚乳を失った「虫害種子」は発芽能力を失ったり、発芽後の成長が阻害されたりする例もみられる。これらの問題は種子採取前の成熟過程で生じるものだが、球果の採取時期やそれ以降の種子精選方法、保存条件などの様々な作

業段階における種子の取扱いも発芽率に影響を与える。例えば球果の採取時期が早ければ、胚の成長が不十分な「未成熟種子」が含まれるため、発芽率は低下する。また、胚の成長は十分であっても、精選以降の保管条件など、何らかの理由により発芽能力を失った「死亡種子」も存在する。

シイナ種子、虫害種子、死亡種子、未成熟種子のように様々な理由によって発芽能力を持たない「不稔種子」が生じ、発芽率は変化する。林業の主要樹種であるスギやヒノキでは発芽率が30%を下回ることも珍しくなく、これらの樹種ではカメムシによる球果への吸汁が影響することが指摘されている。例えば生方ら(2014)が265系統のスギを調べた例では、平均発芽率は17%であったが、系統平均は5～70%にばらついていた。種子精選の過程でこれらの不稔種子を取り除くことができれば、種子の発芽率を向上することができる(121ページ「2. 種子の採取・調整」「03 種子の精選」を参照)。

02 発芽試験

種子の発芽能力は発芽試験を行うことで知ることができる。発芽が可能な発芽床、温度、光量、休眠打破など、最適な発芽条件は樹種によって異なる。スギ、ヒノキ、カラマツなどの有用針葉樹については、古くから発芽実験が行われており、国際種子検査協会(International Seed Testing Association, ISTA)により発芽率評価のための発芽条件が国際種子検査規程として定められている(浅川ら 1981, 農林水産省種苗管理センター 1991)。例えば、スギでは20℃ 16時間・30℃ 8時間の条件で28日育成し、発芽能力を評価する。シャーレに敷いたろ紙を水で湿らせて発芽床とし、吸水させた種子を100粒ずつ播種した発芽床を複数用意して試験を行う。発芽の確認は、播種後7日目から行う。国際種子検査規程では、根茎、地上茎、子葉など、その後の発育に必要な構造がみられた状態を発芽したとみなしている。発芽率は播種後28日間で発芽した種子の累計をもとに算出する。なお、主要な林業樹種の発芽条件は表6-1のとおりである。

また、植物種によっては低温湿層などの特別な休眠打破処理が必要な場合もあるため、注意が必要である。「低温湿層処理」とは、発芽を促進するために吸水させた種子を低温条件に一定期間置き、疑似的に冬季のような条件に曝す処理で、「予冷処理」とも呼ぶ。国際種子検査規程では、1～5℃の間の温度で、樹種に応じて2週間から12か月の期間処理保存することを定めている(農林水産省種苗管理センター 1991)。例えば、カラマツやブナなどの樹種の発芽には低温湿層処理が有効であり、発芽試験に必要な前処理として記述されている。一方、スギやヒノキではこの処理を行わずとも発芽がみられることから、国際種子検査規程ではこれらの樹種の発芽条件に低温湿層処理は記載されていない。このように、スギなどの発芽に必須ではない低温湿層だが、これを行うことで播種した種子の発芽時期のばらつきが減り、発芽勢が揃うことが指摘されている。

03 発芽試験以外の種子の品質を確認する方法

発芽条件がわかっていない植物種では、発芽試験で発芽能力を判断することは困難である。発芽試験期間内に発芽しなかった種子が不稔種子であるのか、未発芽な健全種子であるのかを判断するのが難しいからである。その場合は切断法や還元法を用いた胚の染色が有効である。

切断法は剃刀などで種子を切断し、胚の有無と状態を目視で確認する方法である。特別な器具を必要とせず、迅速に行える方法であり、野外でも行えるため種子の成熟状態を知る上でも有効である。ただし、胚の状態を目視することから、この手法を適用できるのは種子がある程度大きい樹種となる。また、種子を切断するため、確認に用いた種子は発芽能力を失う。

平成27(2015)年に種子に近赤外光を照射し、その反射スペクトルを解析することで種子の内容物を推定し、種子を選別する近赤外分光法が報告された(Matsuda et al. 2015)。この近赤外分光法を用いた種子選別機が実用化されており(写真6-17)、この機器を使えば、種子を網羅的に評価し、シブダネやシイナ種子を高い精度で取り除くことができる。

切断法も近赤外分光法も充実種子が死亡した場合の判別は困難である。種子の生存／死亡を知るには還元法を用いた胚の染色が有効である。これは、吸水させた種子をテトラゾリウム塩溶液などに浸し、胚を染色させることで種子の生存を確認する手法である。この時、染色溶液の濃度は染色時間や植物種ごとに調整する必要がある。例えば、マツ属やモミ属の種子では、溶液濃度は1％、室温30℃、染色時間18～24時間が推奨されている。染色に使用する種子は水中で18時間吸水させ、胚が露出するように、切断することが望ましい。なお、染色法に用いた種子も、切断法と同様に発芽能力を失うことに留意する必要がある。

表6－1 | 国際種子検査規程による発芽条件

樹種	調査開始日	調査終了日	休眠打破等
スギ	試験開始後 7日目から	試験開始後 28日目	
ヒノキ	〃	試験開始後 21日目	
アカマツ	〃	〃	予冷(3～5℃ 14日間)
クロマツ	〃	〃	
カラマツ	〃	〃	予冷(3～5℃で21日間)有り無しで重複試験
エゾマツ	〃	〃	予冷(3～5℃で21日間)有り無しで重複試験
トドマツ	〃	試験開始後 28日目	予冷(3～5℃で21日間)

(国際種子検査規程を改編)

発芽床はいずれも「紙の上」と規定されている。シャーレにろ紙を敷き、湿らせたものが多く使われる。

温度はいずれも「20℃ 16時間、30℃ 8時間」と規定されている。これらの樹種において、光条件については必須ではないが、高温期8時間での光照射(約750～1,250ルクス)が推奨されている。

引用文献

■ 浅川澄彦・勝田 柁・横山敏孝(1981)日本の樹木種子 針葉樹編. 林木育種協会, 150p.

■ Matsuda O, Hara M, Tobita H, Yazaki K, Nakagawa T, Shimizu K, Uemura A, Utsugi H (2015) Determination of seed soundness in conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* using narrow-multiband spectral imaging in the short-wavelength infrared range. PLOS ONE: e 0128358

■ 農林水産省種苗管理センター (1991)国際種子検査規程定. 東京

参考文献

■ 阿部正信(2002)スギ、ヒノキ、マツのタネの取扱い. 林木育種技術ニュース13:2-3

■ 福田陽子・花岡創(2020)トドマツ種子の水選およびエタノール選の精選効果. 北方森林研究68:49-52

■ 福田陽子・中田了五・花岡創(2022)自動種子風選機を利用した針葉樹種子の精選効率. 北方森林研究70:23-26

■ 今博計・来田和人(2014)カラマツとクリーンラーチ(グイマツ×カラマツ雑種F₁)のエタノール種子精選および発芽に及ぼすエタノール浸漬の影響. 日本森林学会誌96:187-192

■ 松田修・原真司・飛田博順・宇都木玄(2016)高発芽率を実現する樹木種子の選別技術. 森林遺伝育種 5:21-25

■ 砂川茂吉(1992)北方樹種の長期貯蔵とその発芽率. 林木の育種163:9-15

■ 生方正俊・平井郁明・加藤智子・栗田祐子(2014)－20℃の冷凍庫で10年間保存したスギおよびヒノキ種子の発芽率. 関東森林研究65:91-94

■ 山田浩雄(2003)樹木種子の取り扱い(Ⅰ)採取と調整・精選. 林木遺伝資源情報26:1-2

■ 山田浩雄(2004)樹木種子の取り扱い(Ⅱ)保存と発芽率の測定. 林木遺伝資源情報31:1-2

- 山田浩雄(2009)種子の取り扱い. 森林大百科事典. 森林総合研究所(編). 朝倉書店, 322-324
- Yamanobe, T. (2008) Use of ethanol immersion, forced air and seed coat colour for separating empty seeds from *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* seed lots. Seed Science and Technology 36:243-248
- 柳沢聡雄・斎藤幹夫(1955)界面活性剤によるヒノキのタネの精選. 日本林学会誌 37:549-551

7

採穂園の造成・管理

1. 採穂園の目的と種類

01 目的

主としてさし木に用いる穂木を採取するための木を採穂木(採穂台木)といい、採穂木をまとめて植栽した樹木園を採穂園という。さし木による苗木生産は実生に比べて大量の苗木を作ることが困難である。この理由の一つには良いさし穂を大量に取ることが難しいことが挙げられ、これを補う目的でスギではさし木苗木生産のために古くから採穂木を仕立てた採穂園が利用されてきた。採穂園を利用することで主に以下の効果が期待できる。

1 穂木の発根性の維持・向上

さし木苗木生産において穂木の発根能力は歩留まりに直結することから、より発根性の良い穂木を利用することが重要である。一般に樹木のさし木では採穂木の樹齢が高くなると発根率が低くなる加齢効果(母樹齢効果ともいう。)があることが古くから知られており、元々の発根性がそれほど良好でないさし木が困難な樹種あるいは品種ほどその傾向が強い。北海道ではグイマツとカラマツの雑種F₁のクリーンラーチの苗木は実生とさし木による生産が行われており、さし木に用いる穂木の発根率は採穂木の樹齢の増加に伴い低下し、また芯が立たない枝の性質(枝性)が残ることから、2年生の実生苗木を採穂木として採穂が行われている。

また、樹木のさし木では普通枝(栄養枝)よりも萌芽枝の発根能力が高いことが古くから知られており、剪定などにより新たに発生する生理的に若い萌芽枝を用いることで採穂木の樹齢が経過した後も穂木の発根能力を維持・向上させることができる。スギさし木苗の生産が盛んな地域では、苗木の生産歩留まりを高くするという点に重点がおかれ、造林木の普通枝(栄養枝)よりも発根性の良い萌芽枝を長期間にわたって多数採取することを目的に、古くからスギの採穂園が造成されて利用されてきた。さし木が困難な樹種であるクロマツでは2～3年生(苗高20～30cm)で剪定を開始し、毎年剪定することで加齢による発根性の低下を防ぐことができることから、剪定後に発生する萌芽枝を用いたマツノザイセンチュウ抵抗性クロマツのさし木苗の生産が行われている。

2 真っ直ぐな充実した穂木の生産

樹種によって幹や樹冠など形態的な特徴があるが、同一樹種内においても形態的な違いがみられる。スギの形態的特性には、環境要因と遺伝的要因があることが知られており、枝張りについても遺伝性がある。九州の複数のスギ特定母樹指定系統の若齢木の枝の長さや着生角度、曲がり具合等を調べた結果、第2世代精英樹の中には、樹冠下部で幹から出ている短く大きく曲がった枝(一次枝)を有するもの、らせん状に旋回して曲がった一次枝を有するものが含まれていた。多少の曲がりであれば、発根後の育苗段階において曲がりは改善されるためさし穂に用いることができるが、枝先から数十cmの範囲が大きく曲がった枝はさし穂に適さない。一般にスギも含めた多くの植物では頂芽優勢により、頂芽(主幹)を切除(断幹)することで下部にある側芽や主軸から分かれる葉の根元に出来る腋芽(脇芽)が直立するように成長を始める(写真7-1)。この腋芽が成長したものが萌芽枝である。頂芽優勢は主幹だけでなく枝でもみられる。大きく曲がった一次枝を有するスギの品種、系統でも採穂木として断幹、枝の剪定を行

うことで主幹及び枝の腋芽の成長を誘発し、真っ直ぐで充実した、さし木に適した萌芽枝(穂木)を多数生産することができる。



写真7-1 | 幹の断幹後(左)と枝の剪定後(右)に成長を始めた腋芽(萌芽枝) (林木育種センター九州育種場 2023)

3 維持管理や系統管理の効率化

採穂木の主幹を断幹し、樹高を低く保つことで、採穂、剪定などの作業の利便性が図られる。また、採穂木を集約して植栽することで、赤枯病やスギノハダニなどの病虫害防除のための薬剤散布等のコスト削減を図ることができる。このほか、同じクローンを列状や方形の区画に植栽することで系統管理が容易となり、系統の取り間違いなどのミスの発生を低減できる。ただし、集約して植栽する際には適当な間隔で植栽することが重要であり、密に植栽すると枝の伸長阻害や病虫害の蔓延、系統の取り間違い等が起りやすくなるおそれがあり、かえってデメリットとなる。

4 採穂木の枝葉の入替えや枝葉の量を少なくすることによる副次的効果

毎年、採穂木の採穂、剪定を行い、古い枝葉の多くを切り落として新たに発生する萌芽枝との入れ替えを促進することで、病虫害の大規模発生防止が図られる。例えば、スギのさし木の発根率とその後の成長に悪影響を及ぼすおそれのあるスギノハダニの個体数は、降水量や風に影響を受けることから、採穂木を採穂、剪定することで被害枝を除去するとともに、枝葉の量を定期的に少なくすることで新たに発生する萌芽枝に雨風が当たりやすくなることから、降雨等によるスギノハダニの減少効果を助長できる可能性が考えられる。このほか、さし木の発根やさし木苗の成長に対して影響が考えられる採穂木の着花や結実が抑えられ、優良なさし穂が確保しやすくなる。一方で過度な採穂、剪定を繰り返すと採穂木の樹勢が低下し、スギカミキリ等の虫害や病気などの被害を受けやすくなり、良質な穂木の生産ができなくなることから注意が必要である。

02 種類

採穂木は、穂木となる枝が陽光を十分受けられるようにし、充実した穂木を多量に生産し、諸作業を能率的にできる樹形に仕立てることが重要である。採穂木をどのような樹形に仕立てるかは、第一に採穂数量やさし穂の長さ、採穂作業や管理の効率性、その他に気候条件やクローンの特性、定植本数などの要因を考慮して決定する。スギの採穂木の仕立て方については、昭和34(1959)年から昭和44(1969)年にかけて当時造成されていた採穂園の実態をとりまとめるなどして体系化されたものが多数あり、いずれも採穂木の高さにより分類されているが(表7-1)、区分には明確な基準がなく慣行的に用いられてきた用語であり、地方によって高さは上下する。

低台は冬期の積雪の強大な沈降圧のために起こる採穂木の主幹や枝の損傷を回避することを主たる目標にした仕立て方であり、多雪地帯で採用されることが多い形式である。採穂木が小さいため、採穂木1本当たりの生産数量は高い採穂木より少なく、採取可能な穂木は小さくなる。高台は採穂木1本当たり生産数量が多くなる仕立て方で、大きい穂木の採取が可能で、スギさし木造林が盛んな九州で広く用いられてきた。九州では温暖な気候なため上長成長が旺盛なスギ採穂木は1.5m以上で仕立てられることが多く、これらを一般的に高台仕立てと呼んでおり、宮崎県や鹿児島県など九州南部ではさらに高く

表 7-1 | 採穂木の高さによる分類

区分	採穂木の高さ (m)	穂木(さし穂)の長さ (cm)
低台	約 1.5 ¹⁾ , 標準 0.8 ²⁾ , 0.5 ~ 0.7 ³⁾ , 松島式 0.2 ~ 0.3 ⁴⁾ , 1.5 ~ 2.0 ⁴⁾	20 ~ 30 ^{1), 4)}
中台	2.5 ¹⁾ , 標準 1.3 ²⁾ , 0.7 ~ 1.5 ³⁾ , 2.0 ~ 3.0 ⁴⁾	40 ~ 50 ¹⁾ , 30 ~ 40 ⁴⁾
高台	約 4.0 ¹⁾ , 標準 2.5 ²⁾ , 1.5 以上 ³⁾ , 樹形により 2.0 内外と 4.0 内外 ⁴⁾	35 ~ 45 ⁴⁾

(注釈1) 表中の右肩の数字は、1) 石崎 1959、2) 林野庁造林保護課（林木育種協会）1964、3) 田中 1967 a、4) 百瀬 1969 で紹介されている数値。

(注釈2) 採穂木の高さは、どの時点での高さであるか明確な記載のないものもあるが、採穂前の高さを示すと考えられる。

仕立てられた採穂木が多く見られる。中台は低台と高台の間の高さに仕立てた主に剪定の際に脚立などを必要としない 1 m 前後の採穂木をいう。

また、採穂木の刈り込み方で採穂に幹と一次枝を用いる樹形や、幹は用いずに一次枝のみを用いる樹形などに応じて平刈形や低刈形、高刈形、自然形といった呼称で区分されたり、これに加えて杯形、丸刈形、円筒形、広円筒形、円錐形(形は型が用いられることがある)などの呼称で区分された。現在では、幹の利用の有無に着目されることはほとんどなく、それぞれの採穂木の樹形の見た目に応じた呼び方がされている(写真 7-2)。



低台平刈形



低台丸刈形



高台円筒形



高台丸刈形

写真 7-2 | スギ採穂木の仕立て方の事例(林木育種センター 業務資料より)

どの樹形の採穂木においても重要なことは、さし穂に適した萌芽枝を多数発生させることである。萌芽枝を用いたさし穂の発根率は採穂木の樹形による違いはないが、生産される穂木の形状や採穂木 1 本当たりの生産数量に違いが生じる。一般的に、平刈形では萌芽枝が上方向に成長するため、比較的真っ直ぐな穂木を得やすい。円筒形や丸刈形では、樹冠の上部では比較的真っ直ぐな穂木を採取できるが、樹冠の下部では、他の枝と重なる場合があることから多少曲がった穂木が多くなる。採穂木 1 本当たり

の穂木の生産数量は採穂木の樹冠体積に比例し、一般的には丸形がもっとも多くなり、平刈形は少なくなる。

スギ以外の樹種の採穂園の事例は多くはないが、クロマツやヒノキで採穂園が造成されている。マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツの採穂園が九州のいくつかの県で造成され、低台の採穂木が仕立てられて萌芽枝を用いたさし木苗生産が行われている(写真7-3)。また、ヒノキでは発根性の良い品種、系統の採穂園が造成され、さし木苗生産に利用されてきた(写真7-4)。熊本県阿蘇地域ではヒノキ在来品種のナンゴウヒの中台～高台に仕立てた採穂園が造成され(写真7-5)、採取した穂木を用いて8割以上の高い発根率でさし木苗の生産が行われてきた。



写真7-3 マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ採穂園(佐賀県)(林木育種センター 業務資料より)



写真7-4 ヒノキ採穂園(大分県)(林木育種センター 業務資料より)



写真7-5 ナンゴウヒ採穂園(熊本県阿蘇)(林木育種センター 業務資料より)

1
2
3
4
5
6
7
8

2. 採穂園の造成・管理

01 造成

採穂園では採穂、剪定や病虫害防除などの作業を行う必要があることから、できるだけアクセスがよく、作業能率が良い平坦～緩斜面な地形で排水性の良い場所に造成することが望ましい。コンテナ苗の生産施設や苗畑の敷地内、敷地周辺に造成されることが多く、防風垣的に造成される場合もある(写真7-6)。

造成予定地の水はけが悪い場合は、園内に排水用の溝(明渠)を掘って水はけを改善する。民間の採穂園では耕作跡地に造成されることがあるが、水田跡地は水はけが悪く、植栽後に苗木の活着不良が生じたり、徐々に弱って植栽後数年で枯れることがある(写真7-7)。水田跡地に造成する際は、エンジン式やトラクターのアタッチメントの穴掘り機などを用いて、植栽地の複数箇所に深さ1m以上の縦穴を掘ることで水が地中に抜けるようにするなどの対策が取られている。



写真7-6 防風垣的に造成されたスギ採穂園(樹高約2.5m)(林木育種センター 業務資料より)



写真7-7 水田跡地に造成されたスギ採穂園(徐々に枯れが生じている)(林木育種センター 業務資料より)

耕耘は土壌を軟らかくし通気性をよくするので根系の発育を良好にするのみならず、土壌中の不可給態の養分を可給態に変えるなど、自然地力の改善効果および施肥効果を増大させ、また、雑草の繁茂を遅らせる効果と土中の病虫害の被害の軽減が図られるため、採穂木の植栽前に実施することが好ましい。

植栽した採穂木の成長が良好であるほど樹形誘導や採穂の開始期間は早まるため、植栽前または植栽時に元肥を施用することが望ましい。植栽の前年に牛糞や鶏糞などの多量の堆肥と併せて、土壌の酸性化の防止と土壌改良も兼ねて石灰を植栽予定地の全面にすき込んで地力を十分に向上させてから採穂木を植栽することがある。堆肥の全面施用は、コガネムシ類の幼虫の大量発生を誘引するおそれがあり、植栽後の採穂木に大きな被害がみられることがある。堆肥を全面施用する場合には、併せて植栽前に効果の持続性が期待できる殺虫剤の土壌混和などの防除対策を行う必要がある。この他、施肥直後に植栽可能な堆肥や緩効性肥料を混ぜた土を植栽時に植え穴に入れるなどの方法が行われており、この際にも植栽前に殺虫剤の植え穴への土壌混和を行うなどの対策が取られている。

また、植栽後の数年間の春から初夏の時期に採穂木の枯損が発生することがあり、風通しの良い開けた場所などでみられることが比較的多い。この場合の主な枯損の原因は寒風害、寒害、凍霜害などの冬の気象害が考えられ、採穂木が小さなうちは冬期に寒冷紗等で保護する、採穂園の周囲に防風ネットを敷設するなどの対策を行うことがある。

02 採穂計画量の決定

採穂園における将来の採穂計画量(さし穂の生産数量)は、採穂木1本当たりのさし穂の生産数量×採穂木の本数でおおよそ見込むことができる。目的とする樹形への誘導が完了するとそれ以降は毎年の採穂、剪定前の採穂木の樹冠体積が大きく変わることがないため、採穂木1本から採穂できる萌芽枝の数量(さし穂の生産数量)は徐々に安定するようになる。採穂木の生育状況や品種、系統によって違いはあるが、例えば、九州でスギの採穂木を断幹の高さ150cmの高台丸刈形に仕立てる場合、通常、植栽から5～8年程度で樹形誘導が完了し、本格的な採穂ができるようになった後は、採穂木1本から長さ30cmのさし穂を100本前後採取できるようになる(戸田・立仙 1975, 大塚ら 2022)。中台や低台仕立ての場合は、高台の場合より早い年数で本格的な採穂が可能となるが、採穂木1本当たりの穂木の生産数量は少なくなる。また、採穂木から切り落とした枝(荒穂)から得られるさし穂の数は、さし穂の長さが短いほど多く、長いほど少なくなる。さし穂の生産数量は採穂木の仕立て方やさし穂の長さにより大きな違いが生じるほか、植栽間隔、気候や土地の肥沃さやなどに影響される採穂木の樹勢、系統による萌芽性などによって違いが生じる。これを十分留意のうえ、採穂園造成に当たっての採穂計画量の決定の際の参考として、調査結果を基に示された採穂計画量の例を表7-2に示す。なお、樹形誘導が完了するまでの間は、断幹の際に切り取った部分の梢端と枝や樹形誘導の際に剪定した枝をさし穂に利用できるが得られるさし穂の数量は少なく、採穂木によって数量は異なる。

採穂木から採取する枝(穂木)が陽光を十分受けるようにすることが重要であることから、採穂前の枝が伸びた状態の時に隣接する採穂木の樹冠が重なり合って密にならないように間隔をとって植栽する必要がある。通常、採穂木の樹冠幅は低台に比べると高台で広くなることから、採穂木の植栽間隔は、採穂園の面積、将来の採穂計画量、管理(主に除草)の方法とともに採穂木の仕立て方を考慮して決めることとなる。防草シートの施設や木材チップによるマルチング等で除草の省力化を図る場合以外は、毎年除草を行う必要が生じることから、刈り払い方法に応じた作業の効率性を考慮して植栽間隔を決定する必要がある。例えば、刈り払い機で全面除草を行う場合は行列の幅を等間隔、行列のどちらかを自走式や乗用式の草刈り機を用いる場合などは、草刈り機が走行しやすいように行列の片方だけを少し広く開けて植えることなどがある。

表 7-2 | スギ採穂計画量の例

a) 東北育種基本区

仕立て方	断幹高 (m)	植栽間隔 (m)	ha 当たり本数 (本)	採穂木1本当たりの さし穂生産量(本)	ha 当たりのさし穂生産量 (本)
低台	0.2～0.3	1.0×1.0	10,000	25	250,000
		1.3×1.5	5,120	40	204,800
中台	0.4～0.6	1.5×1.8	3,700	80	296,000
高台円筒形	1.6	1.1×1.5	6,060	100	606,000

(東北林木育種場・同奥羽支場 1976)

b) 九州育種基本区

仕立て方	断幹高 (m)	植栽間隔 (m)	ha 当たり本数 (本)	採穂木1本当たりの さし穂生産量(本)	ha 当たりのさし穂生産量 (本)
高台丸刈形	1.8	約 3.0×2.12	2,000～2,500	100 前後	200,000～250,000

(林野庁九州林木育種場 1970)

(注釈) 九州育種基本区の植栽間隔、ha 当たりの本数は、間伐後の最終的な間隔及び本数を示し、採穂木の配置は千鳥形である。

03 樹形誘導

樹形誘導は、断幹、剪定により樹形を整え、良い形質のさし穂を恒常的に採取できるように剪定を行い、順次目標とする樹形に誘導していく作業をいう。スギで太く長い、比較的大きなさし穂を生産する目的で採穂木を仕立てる場合は、採穂木の枝先や枝の途中に萌芽枝を多数発生させる拠点を作ることを意識して剪定するようにする。この萌芽枝を多数発生させる拠点のことを萌芽拠点や採穂拠点と呼ぶこともある。スギの若齢木に発生する萌芽(不定芽)は、幹と枝との分岐点、あるいは枝と側枝(孫枝)との分岐点に腋芽として発生する。採穂木のように主幹の梢頭を切り落としたり、枝を剪定すると、切り落とした付近から多数の萌芽が発生する(写真 7-1 右)。この萌芽の発生、萌芽枝の切り戻しを毎年繰り返すと切り取られた萌芽枝の基部(萌芽拠点)からさらに萌芽枝が発生し(写真 7-8)、萌芽拠点は次第に大きくなり、多くの萌芽枝を発生するようになる(写真 7-9)。萌芽拠点を育てるように意識しつつ、陽光が十分当たるように毎年採穂、剪定を繰り返すことで、太く充実した長く真っ直ぐな穂木を生産することができる。萌芽拠点を育てることを意識しないで採穂、剪定を繰り返した採穂木は、丸みを帯びた生垣のような枝葉の付き方をした採穂木になることが多く(写真 7-10)、切り落とした部分から発生した萌芽枝は混みすぎているため細く短くなり、大きな穂木が取れないことが多い。小さなさし穂の生産を目的とする場合は、この仕立て方でさし穂の生産数量は多くなる。

スギの採穂木の樹形誘導において、断幹と同時に過度な剪定を行うと樹勢の著しい低下をもたらし、枯損の原因となることもある。このため、いずれの樹形に誘導する場合でも複数年かけて実施すること



写真 7-8 | スギの採穂木の萌芽拠点(林木育種センター九州育種場 2023)



写真 7-9 | 拡大したスギの採穂木の萌芽拠点(林木育種センター九州育種場 2023)



写真 7-10 | 萌芽拠点を意識せずに仕立てたスギ採穂木(林木育種センター 業務資料より)

が望ましい。九州で実際に行われているスギの採穂木の高台丸刈形への樹形誘導の事例(林木育種センター九州育種場 2023)を以下に示す。

1 断幹

主幹を切り落とすことを断幹、芯抜き、台切りなどという。断幹の高さは、植栽間隔、採穂量、作業の利便性を考慮して決定する。例えば、採穂木の樹高が2.3m程度以上となった時点で作業の利便性を考慮し1.5～2mの範囲で断幹を実施する(図7-1 a)。断幹時の樹高に決まった高さはないが、植栽から間もない樹高が2m以下の時点で1.5～2mの範囲で断幹を実施した場合、水平方向に十分に伸長していない枝が立ち上がり、結果として樹冠幅が狭い採穂木になったり、主幹や枝が細い段階で梢端が除去されることで、その後の樹形誘導にかえて多くの時間を要してしまう場合がある。逆に断幹が遅れてしまった樹高5m以上の大きな採穂木を樹高の半分以下の高さで断幹すると枯損するおそれがある。大きくなり過ぎた場合は、はじめに高い位置で断幹して翌年以降に目的とする低い位置で再度断幹を実施する。断幹した部分の梢端や枝はさし穂として利用できる。ただし、幼齢時のスギ採穂木の梢端や梢端付近の分枝は、旺盛な伸長をする節間が広い徒長枝となることが多く、採穂適期の春と秋の採穂時にさし穂に適さない柔らかい状態であることが多い。さし穂に利用する場合は、伸長が止まって枝先が固くなっている時期に断幹し利用する。ただし、寒さが厳しくなった冬場に断幹を実施するとまれに切断部及びその周辺からの萌芽の発生が翌春にみられないことがあるため、真冬の時期の実施はできるだけ避けるようにする。

スギ第2世代精英樹のように初期の樹高成長が旺盛な特性を有するものは、断幹の目安となる樹高により早く若齢で達する。若齢時の樹形誘導の開始がその後のさし穂の生産量に与える影響を調べた結果、断幹から2年後までのさし穂数は断幹前の採穂木の大きさに依存するが、萌芽枝が多くなった3年後のさし穂数は断幹前の樹高に依存せず、また植栽後4年間据え置いてより大きくなった時点で断幹を開始した採穂木に比べ、一年早い植栽後3年で断幹を開始した採穂木のその後のさし穂数が有意に多い結果であった(大塚ら 2022)。植栽後に長く据え置き、採穂木の樹体を大きくしてから断幹した場合、必ずしもその後に多くの萌芽枝(穂木)が得られるわけではなく、一定程度の樹高になった時点で早めに断幹することが萌芽枝の早期獲得に効果的であると考えられる。

2 枝の剪定

樹勢が旺盛で枝長が長く樹冠の幅が広い場合は、断幹と併せて枝の剪定(枝詰め)を行う。樹勢が不良であったり枝長が短く樹冠の幅が狭い場合は、断幹の翌年以降に枝の剪定を行う(図7-1 b)。剪定は上の方の枝から開始し、樹形誘導後の各萌芽拠点に陽光が十分当たるようにすることをイメージしながら、上の方の枝は短め、下の方の枝は長めに残して切り、一度に全ての枝詰めを行うのではなく、断幹後2年程度かけて徐々に全ての枝を詰めるように行う(図7-1 c)。樹形誘導初期は、さし穂を採取することを優先するのではなく、萌芽枝の発生を促すことを目的として萌芽拠点を作る場所を意識しながら剪定を実施する。さし穂を採取することを意識しすぎたり、目標とする樹形に早く近づけようとする過度な枝詰めとなってしまう、かえって樹形誘導に長い年月を要することとなる。樹形誘導初期の一次枝の間引き(除去)は、樹勢を著しく衰えさせたり、萌芽拠点を作る枝の数を少なくしてしまうおそれがあるため、下垂枝や芯のない枝などにとどめて、萌芽拠点を形成できるような枝の除去は極力行わないようにしたほうがよい。

断幹後に断幹部付近から立ち上がった枝や新たに発生した萌芽枝は、旺盛な上長伸長をすることから、枝を残したままにしておくと数年で樹体が大きくなる。断幹翌年以降は適期に採穂するか、剪定することが重要である。

3 枝の間引き

毎年、剪定後に発生した萌芽枝の採穂、剪定と前年に切り残した萌芽枝や不要枝の剪定を行い、ほぼ全ての枝詰めが終わった翌年頃から1～2年程度かけて一次枝の間引きを行う(図7-1 d)。一次枝を多く残せば萌芽拠点の数は多くなるが、拠点が日陰になったり、発生した萌芽枝同士が邪魔し合ったりして、拠点が十分に成長しなくなる。このため全体の樹形を見ながら残す枝数を考慮しつつ、確実に

残す枝の萌芽拠点の邪魔となる枝(重なり枝)や拠点の形成がうまくできていない枝などを除去し(図7-1 e)、目標とする樹形に誘導する(図7-1 f)。残す枝数は、例えば断幹高1.8mの場合、枝の間隔30cmで5段×3方向=15本程度の枝数を目安とする。

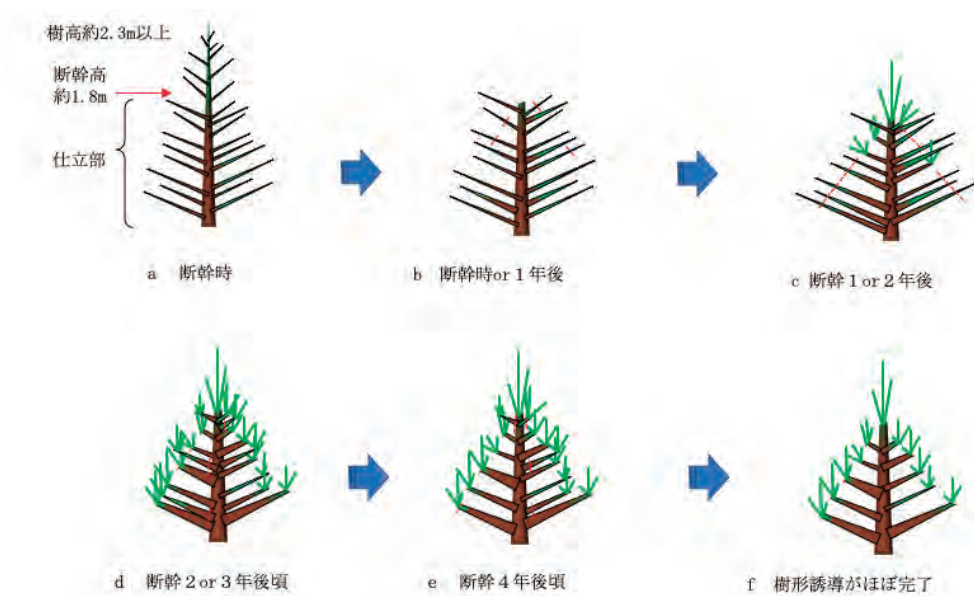


図7-1 | 断幹から枝の間引き(林木育種センター九州育種場 2023)

4 樹形誘導後の毎年の採穂・剪定

さし穂に使用できる大きさに十分に伸びた萌芽枝を採穂し、小さな萌芽枝は次年度以降に採穂するために残しておく。さし穂に適さない芯の立っていない枝は、剪定し除去する。萌芽拠点以外の場所(幹や一次枝の途中など)から発生した萌芽枝は、さし穂に使用できるものは採穂し、小さな萌芽枝は萌芽拠点からの萌芽枝の発生や萌芽拠点の拡大の妨げとなる場合は剪定し除去する。ただし、樹冠全体の葉量が少なくなり過ぎると幹や枝が太らなくなり、樹勢が衰えるおそれがあることから、幹や枝の途中の葉をそり落とし過ぎないようにする(写真7-11)。採穂や剪定において萌芽枝の付け根部分を長く切り残した場合、切り残した部分は枯れてしまうか、新たな萌芽の発生場所となってしまう、当初の萌芽拠点が大きく育たないことがみられる。このため拠点に発生した萌芽枝が必要な穂長よりも長い場合でも、拠点からの新たな萌芽の発生を促進して拠点をより拡大させるために、できるだけ萌芽の発生基から採穂、剪定する方が良いと考えられる。

スギは頂部優勢性が特に強く、採穂木頂部から出る萌芽枝は極めて旺盛な伸長をする節間が広い徒長



写真7-11 | 適度に剪定した採穂木(左)と過度に剪定を行った採穂木(右)(林木育種センター九州育種場 2023)



写真7-12 | 断幹後に採穂木頂部から旺盛に伸びた徒長枝(林木育種センター 業務資料より)

枝となりやすい(写真7-12)。かつてはスギの徒長枝は発根性が悪いというのが広く一般的であり、さし穂に利用しないことから成長が盛んな季節に必要なに応じて年に1～2回徒長枝の剪定を行うことがあった(田中 1967a、林野庁九州育種場 1970)。低台平刈形の採穂木においても春の採穂後に不要な枝と徒長枝を取り除く作業が広く行われていた(田中 1967a)。スギのさし木苗生産が盛んな九州では、昔から野外の温度がさし付けに適した環境となる春期と秋期に苗畑に直にさし付ける露地さしでの生産が多く行われてきた。さし穂は、枝葉が一様に成熟した水持ちが良い萎れにくいものが良く、若すぎる柔らかいものはさし穂には向かないことから、伸長中の柔らかい枝はさし穂に用いず、成熟して固くなった枝が用いられてきた。スギの採穂木頂部の旺盛に伸長する徒長枝は、ほかの枝と比べて春は早い時期に動き始め、秋は遅い時期まで伸長する傾向があるため、採穂時期に比較的柔らかいものが多く、気温によりさし付けの適期が限定され、かつ水分状態が天候に左右される露地さしの場合、徒長枝はさし穂に適さない。現在でも苗畑での露地さしは行われるが、灌水設備の整ったハウス等でさし木が行われていることが多い。このような施設では春先や晩秋から初冬の外気温が低い時期でもハウス内の温度を発根に適した環境に保つことが可能であり、かつ、さし付け後の水分管理を十分に行うことができる。近年、九州のスギさし木苗の生産は、気温が高くなる5月中旬から9月上旬までと真冬以外の時期に採穂し、ハウス内で培地(培土)を入れた育苗箱や直にコンテナ容器にさし付けを行う方法で広く行われている。このため徒長枝は剪定せずに残しておき、十分に固くなった時期に採穂してさし穂として用いることが一般的となっている。

04 施肥

採穂園では、植栽後の発育促進期には採穂木を早く断幹を行う目安の樹高に成長させるため、その後の断幹後の樹形誘導期と採穂期には、整枝剪定と採穂の繰り返しにより樹体から養分を収奪、損失し、樹勢を弱めるので、採穂木の幹や枝の太りといった栄養成長と剪定後の萌芽の旺盛な発生と伸長による充実した大量のさし穂の生産のため、採穂木に対する施肥が重要性である。採穂木の施肥の効果について、採穂数量(萌芽枝の着生数量)と穂木の形質(長さ太さ)に極端な差が生じた事例が報告されている(田中 1967a)。肥料を与えすぎると枝が徒長しやすくなるが、徒長枝は穂木が固くなった時期にさし穂に利用できる。

施肥量は、採穂木の窒素、リン酸、カリウム成分含有量と土壌の成分含有量、養分吸収率を用いることで理論的に算出することができる。土壌の成分含有量は分析調査を行う必要があるが、毎年下草等が繁茂する採穂園の成分含有量は苗畑と比べると均一ではないことが予想されるとともに、造成からの経過年数で変化することとも考えられることから、より正確に行おうとすると多数地点での複数年の分析調査が必要となる。過去にスギ採穂木の伸長量や採穂木の採穂、剪定により失われる窒素、リン酸、カリウムを補給するのに必要な成分量をまかなう施肥の例が示されている(横山 1963、林野庁九州育種場 1970)。発育促進期、樹形誘導期、採穂期の3つのステージに分けて施肥数量及び施用方法を具体的に提示しており、発育促進期、樹形誘導期で施肥量を徐々に増加させることとし、採穂数量が安定してくる採穂期では毎年一定量を施用し、ステージに応じて基肥及び追肥で施用することとしている。さらに土壌改良をかねて堆肥を毎年、または隔年で施用することを推奨している。施肥は下草が繁茂している場合、原則土壌に埋め込まなければ十分な効果は期待できず、堆肥を施用する場合は、土にすき込む作業が必要となり、これらの作業は多大な労力を要する。

九州の採穂園で主に行われている施肥の方法は、造成時の元肥の施用では、植栽前の堆肥と石灰の全面施用や肥効期間が複数年継続する緩効性の固形肥料を植え穴に入れたり、植栽苗木の根元付近に埋め混んだりするなどの方法が行われている。その後は2、3年おきに採穂木の樹冠外側の等間隔3か所の真下付近に緩効性の固形肥料の埋め込みを行う。1か所に埋め込む量は1個当たりの重さと肥料含有量によって決定し、2回目以降は施用量を徐々に増やしながら、3か所の埋め穴の位置を回転させるようにずらして埋め込みを行うなどしている。

05 病虫害等の防除

過度な採穂、剪定を繰り返すと採穂木の樹勢が低下し、スギカミキリ等の虫害や病気などの被害を受けやすくなり良質な穂木の生産ができなくなることから注意が必要である。

スギの採穂園において発生すると特に重大な被害を及ぼすおそれがある主な病虫害と防除方法の例は以下のとおりである。

1 スギ赤枯病

スギ赤枯病については、114ページ「5 採穂園の造成・管理」「3. 採穂園の管理」「06 病虫害等の防除」「1病害予防」の項も参照されたい。スギ実生苗はスギ赤枯病に罹病しやすいが、さし木苗は品種、系統により抵抗性に差異があることが報告されており(戸田 1978)、スギ採穂園に定植する苗木がさし木クローンであっても被害発生のおそれがある。採穂園には健全な苗木のみを植栽し、一見生育が良好に見える苗木でも主軸や枝に暗褐色から焦茶色を呈している部分がある場合などは植栽しないようにする。防除方法の例としては、スギ赤枯病に有効な有機硫黄殺菌剤の登録農薬(農林水産省農薬登録情報提供システムで検索可能)を年に複数回の散布する。スギ採穂園がスギの苗畑(とくに実生苗を生産している場合)に隣接している場合は、苗畑での薬剤散布に併せて、散布回数を増やすなどの対策をとることが必要となる。

2 コガネムシ類の幼虫

コガネムシ類の幼虫は苗木や造林木の根部を加害して致命的な打撃を与えることから根切虫と総称され、大部分の種類の子虫が3歳で老熟する(蛹になる)が、この間に苗木などの生植物の根部を食害する(片桐 1982)。苗畑での根切虫被害はヒノキとスギに特に多く、時にはマツ類やカラマツも被害を受ける。苗木が食害されると生育が著しく悪くなり、枯死する場合も多い。また、若齢造林地での被害も度々観察される。採穂園での被害の発生は比較的多くみられ、激しい被害を受けた場所では植栽から2～3年でほとんどの採穂木が損する場合がある。

防除方法は、植栽前の雑草防除と土壤改良を兼ねた植栽地の十分な耕耘を行うこと、幼虫の餌となる緑肥や未熟堆肥は用いずに完熟堆肥を用いること、効果の持続性が期待できる登録農薬の有機リン系の殺虫水和剤を植栽前に全面に土壤混和することなどが挙げられる。植栽後は、春から秋の成長期に枝葉の濃い緑色が抜けてきて徐々に赤変し枯れが生じ始めた際、地上部分に変わった様子がみられない場合は根元付近の土を掘り起こし、コガネムシ類の幼虫(写真7-13)や採穂木の根の損傷(写真7-14)を確認した場合は、全ての採穂木の根元から樹冠幅程度の範囲に登録農薬のネオニコチノイド系殺虫剤の散布を行うことが望ましい。



写真7-13 コガネムシ類の幼虫(林木育種センター 業務資料より)



写真7-14 コガネムシ類の幼虫による根の被害(林木育種センター 業務資料より)

3 スギノハダニ(スギ採穂園)

スギノハダニについては、115ページ「5 採穂園の造成・管理」「3. 採穂園の管理」「06 病虫害等の防除」「2 虫害予防」の項も参照されたい。スギ採穂園での被害は養分を吸汁されるために葉の色が退色し、褐色へと変化する(写真7-15)。このような枝葉を白紙の上で叩いてみるとたいいてい赤いダニが動いているのが見える。採穂木が枯損に至るようなことはないが、養分が損なわれるため樹勢の低下を引き起こすとともに、さし穂の活力低下が知られており、発根性が悪くなる。また、発根後のさし木苗の成長に大きな影響を与える。このため採穂園では十分な防除が必要であり、防除の基本は採穂後の毎年の剪定である。採穂後に剪定を十分に行わず、翌年に古い枝葉が多数残ったままで樹冠が密になっている採穂園において、被害の発生により複数の採穂木の枝葉の色が悪くなっていることがしばしばみられる。



写真7-15 スギノハダニの被害により葉の色が変色したスギ採穂木(林木育種センター 業務資料より)

引用文献

- 石崎厚美(1959)さし木苗の育てかた, 日本のスギ, 第2巻, 林業改良普及叢書4, 全国林業改良普及協会, 76-127
- 片桐一正(1982)根切虫, 森林病中獣害防除技術, -森林防疫事業三十周年記念出版-, 林業科学技術振興所(編), 全国森林病虫獣害防除協会, 117-122
- 百瀬行男(1969)採種・採穂園の管理とスギのさしき, 農林出版, 163p.
- 大塚次郎・森山央陽・栗田学・久保田正裕・倉本哲嗣(2022)スギ特定母樹若齢木の樹形および台木仕立て過程における採穂量の推移, 九州森林研究 75:45-52
- 林木育種センター九州育種場(2023)九州育種場におけるスギ採穂台木の仕立て方, 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場, 15.
- 林野庁九州林木育種場(1970)九州地方における採穂園の設定と管理, 30p.
- 林野庁造林保護課(林木育種協会)(1964)スギ採穂園に関する実態調査報告書, 総論(上), 林野庁造林保護課, 111p.
- 田中周(1967a)採穂園, 林木種苗の生産技術, 地球出版, 134p.
- 戸田忠雄・立仙雄彦(1975)採穂木の樹型別の採穂量調査, 九州林木育種場昭和49年度年報:94-100
- 戸田忠雄(1978)スギノハダニ抵抗性育種, -スギノハダニのクローン間差について-, 林木の育種 107:27-32
- 東北林木育種場・同奥羽支場(1976)実践採穂園の管理, 東北育種場, 30p.
- 横山緑(1963)静岡県のスギ精英樹増殖, 山林 953, 10月:14-23

参考文献

- 有田学(1964)枝張りの遺伝的性質に関する研究, 日本林學會誌 46 (3):77-82
- 橋詰隼人・谷口紳二(1981)低台式採穂園方式によるヒノキ優良木家系の挿木増殖および挿穂の生理的齢と挿木の発根性との関係に関する二, 三の研究, 鳥大演報 13:1-17
- 石崎厚美(1960)スギ採穂園の仕立て方, 日本林業技術協会, 111p.
- 来田和人・今博計・石塚航・黒丸亮(2019)グイマツ雑種F₁ 優良家系「クリーンラーチ」のコンテナ挿し木育苗方法の開発, 森林遺伝育種 8:8-14
- 小林一三(1982)スギノハダニ, 森林病中獣害防除技術, -森林防疫事業三十周年記念出版-, 林業科学技術振興所(編), 全国森林病虫獣害防除協会, 68-72
- 小林富士雄(1962)第2室戸台風とスギノハダニ, 森林防疫ニュース 11(10):279

- 小林富士雄(1977)スギノハダニがスギ苗の生長に及ぼす影響. 日本林学会誌 59 3:75-79
- 衣川尹久・吉田隆夫(1966)台風によるスギノハダニ個体数の減少について. 森林防疫 15(5):107-108
- 近藤禎二(2012)林木育種の体系. 森林遺伝育種学. 井出雄二・白石進(編). 文永堂出版, 167-188
- 町田英夫(1974)さし木のすべて. 誠文堂新光社, 151
- 森下義郎・大山浪雄(1972)さし木の理論と実際. 地球出版, 87-179
- 森康浩・宮原文彦・後藤晋(2004)クロマツのマツ材線虫病抵抗性種苗生産における挿し木技術の有効性. 日林誌 86: 98-104
- 西村正史(1986)富山県におけるスギノハダニの個体数の季節的变化. 富山県林業試験場研究報告 11:1-6
- 農林水産省農薬登録情報提供システム(2024年7月24日最終更新) <https://pesticide.maff.go.jp> (2024年7月29日取得)
- 大平峰子・宮原文彦・森康浩・大川雅史・宮崎潤二・真崎修一・吉本貴久雄・佐々木義則・山田康裕・三樹陽一郎・田上敏彦・小山孝雄・宮里学・鳥羽瀬正志・黒田慶子・岡村政則・松永孝治・白石進(2010)クロマツの第二世代マツ材線虫病抵抗性種苗生産システムの構築. 林木の育種 235:1-5
- 林野庁造林課(1966)採穂園 採穂園の肥培管理技術. 30p.
- 田中周(1967b)林木育種の技術解説, 採穂園(1), 総論(1). 林木の育種 45:18-19
- 田中周(1967c)林木育種の技術解説, 採穂園(1), 総論(2). 林木の育種 46:17-19
- 丹原哲夫(1994)スギ精英樹クローンにおける材質変異. 岡山県林業試験場研究報告 11:20-30
- 塘隆男(1971)苗畑肥培と林地肥培. 地球出版, 199p.
- 矢幡久・宮島寛・児玉貴・汰木達郎・山本福壽・久保田茂・渡部桂・野上寛五郎・黒木晴輝(1987)六演習林スギ品種試験地の精英樹クローンの樹幹形の変異. 九州大学農学部演習林報告 57:127-147

8

穂木の採取・保存

1. 穂木の採取

01 穂木の採取時期

さし付けを行った場合の活着は、さし木時期により大きく変化する。これには採穂時期により、さし穂の生理的条件と温度、水分や湿度などのさし床における環境条件の変化に影響を受けるためである。

まず採穂時期について、一般的にスギ・ヒノキ等の針葉樹は、成長休止期に穂木を採取するのが最も良い。その理由は、乾燥や腐敗に対する耐性が高く、発根性が比較的安定して高いためである。これは、植物が寒さに備えて栄養を蓄積しているためと考えられている。成長休止期に貯蔵された栄養物質は春の芽吹きとともに消費され、また春以降は柔らかい葉茎が展葉し、光合成に伴う蒸散が活発になり、乾燥や腐敗に対する耐性は低下する。梅雨時期に入り、その年に伸びたスギの枝は、組織が柔らかいため腐敗しやすく、また乾燥に対する耐性が極めて低いため、1年の中で最も発根性が低い(図8-1)。秋に入り、その年に伸長した枝の木化が進み充実してくると、腐敗や乾燥に対する耐性が高まってくる。このため、スギやヒノキにおいては、春に採取した場合に劣らないさし穂が得られる場合がある。

次にさし床の環境条件について、地温が25±2℃が最もよいとされている。苗畑や屋外の施設でさし床を設ける場合は、この気温を目安にしてさし付けすることとなり、春または秋が適期となる。一方、灌水設備を伴う温室やビニールハウス等でさし床を設ける場合は、灌水設備の凍結のおそれがないのであれば、冬にさし付けることも可能である。電熱温床等を用いて地温を上げることで、新芽が動き始める前に発根させることも可能である。逆に気温が30℃を超えるような環境では、自動灌水装置によって乾燥を防ぐことはできるが、腐敗が起りやすいため、避けることが望ましい。

このように、採穂に適した時期とさし付けに適した時期は異なっている。このため、低温貯蔵の施設

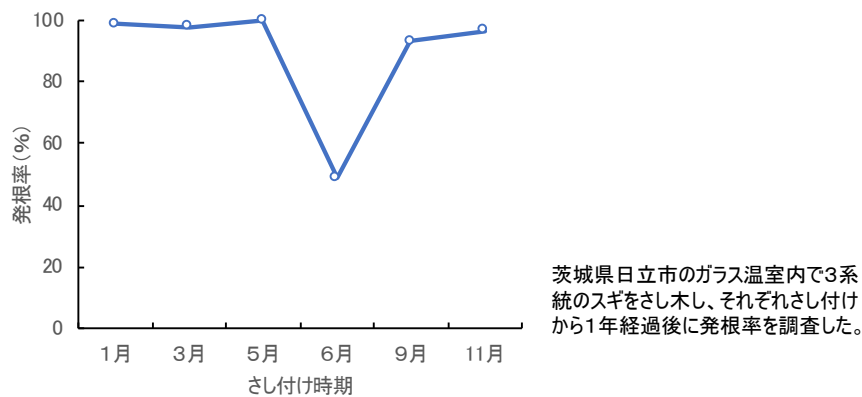


図8-1 さし付け時期と発根率の関係(林木育種センター 業務資料より)

茨城県日立市のガラス温室内でミスト散水下のさし床に3系統のスギを20 cmの長さでさし付けし、それぞれさし付けから1年経過後に発根率を調査した結果である。

がある場合には、成長休止期に採穂した穂木を貯蔵し、さし付けに適した時期まで貯蔵するとよい。

02 採穂木の年齢

一般には採穂木の年齢が高いほど、発根性は低下する。低下する速度は、発根困難な樹種や系統であるほど早い。発根困難な樹種は、林業用樹種ではマツ属、カラマツ属に多く、アカマツ、クロマツ及びカラマツはその代表的な樹種である。発根性が高い樹種としてはスギを挙げることができ、ヒノキは中庸な樹種にあたる。また、採穂木の由来がさし木か実生によっても異なり、一般にさし木由来の採穂木は加齢に伴う発根性の低下は緩やかである。さらに、さし木を繰り返すことによって、すなわちさし木由来の採穂木からさし木苗を得て、それを採穂木として再度さし木苗を育成することを繰り返すことで発根性が維持、あるいは向上する場合がある。

発根性が中庸な樹種であるヒノキでは、樹齢による発根性の低下は系統によって異なることが報告されている。在来のさし木品種であるナンゴウヒでは、加齢に伴って発根性が徐々にしか低下しないが、採穂木が実生由来である場合、より急速に発根性が低下する。発根不良なヒノキ系統では、採穂木が10年程度で急速に発根性が低下している場合が報告されている(森下・大山 1972)。

発根性が高い樹種であるスギでは、成木から取得した枝を使用しても多くの系統でさし木増殖を行うことが可能である。ただし、系統による発根性の差はあり、年齢が高くなると発根しづらい系統もみられる。

03 採穂枝の種類と位置

採穂する枝の種類としては、自然樹形の枝(普通枝)と、剪定して萌芽した枝(萌芽枝)があり、一般に萌芽枝の発根性が高い。また、普通枝に比べ、萌芽枝はサイズが揃っており、芯が立っていて枝性が出づらいいという特徴がみられる。これらのことから、普通枝と萌芽枝がある場合には、まず萌芽枝から採穂するのが適切であるし、毎年採穂木を剪定して萌芽枝を誘導しておくことが望ましい。

自然樹形の木から採穂する場合は、樹冠の下部近くから中央部にかけて発生している枝の発根性が高いことが比較的多く、また採穂する効率もよいので、普通枝を使う場合は樹幹の中央から下部の枝を採穂する(写真8-1)。樹幹の上部は枝が細く徒長気味であることから、苗畑での直ざしに用いる際には避けた方がよい(写真8-2)。また、樹冠下部のうち光が当たらず被圧されている枝や前年にほとんど伸びていない枝、日当たりの悪い場所の下垂した枝、樹冠内部の貧弱な枝は使用を避ける。

また、雄花・雌花が付いている枝は避ける。やむを得ず付いている枝を荒穂とする場合には、雄花・

雌花、特に雌花を除去するようにする(写真8-3)。

04 穂木の採取方法

採穂木から取って穂づくりしていない状態の穂木を荒穂と呼ぶ。採取する荒穂は、貯蔵中あるいは穂づくりに至るまでの間に切り口が痛みやすいので、さし穂より大きめに切り取る必要がある。採穂木の水分量が少ない時や、乾燥しやすい気象条件の時、また採取してからさし付けるまでに1週間以上かかるような場合には、特に大きな荒穂の状態で採取する方が安全であり、さし付けまでにスギ・ヒノキでは50cmかそれ以上の大きさにすることが望ましい(森下・大山 1972)。なお、採取してからすぐにさし付ける場合には、それより短く採取しても問題はない。

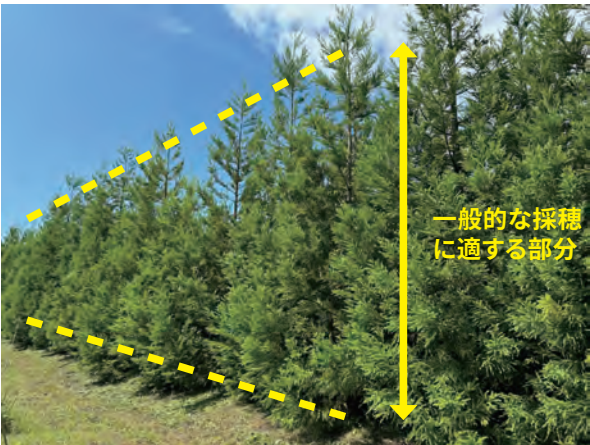


写真8-1 | 自然樹形の木から採取する場合に適した部分
(林木育種センター 業務資料より)



写真8-2 | 樹冠上部(左)と樹冠中部(右)から採取した枝(林木育種センター 業務資料より)



写真8-3 | 荒穂についているスギの雌花(左)と雄花(右)(林木育種センター 業務資料より)
なるべく花が付いていない枝を荒穂とし、付いていた場合は穂づくりの際に除去する。

2. 穂木の輸送と貯蔵

01 穂木の輸送

荒穂として採穂木から切り取った直後の枝は、切り取る前とほぼ同じ速度で蒸散しており、その後緩やかに蒸散量が低下していく。しかし、切り取った後は根からの水分の供給が行われなため、荒穂の水分量は時間の経過とともに低下していく。このことから、荒穂を輸送する場合には、枝の切り口に湿らせた水苔等をあてて水分を供給するとともに、日光や風が当たらないよう苗木貯蔵箱(内部に蒸散防止の薬品を塗布した段ボール)に入れて輸送することが理想である。苗木貯蔵箱がない場合は、切り口

1
2
3
4
5
6
7
8

穂木の採取・保存

に湿らせた水苔等をあてて、ビニール袋等に包み、段ボールに入れる。いずれも輸送中に直接風が当たらないよう、しかも完全な密封状態にならないように包み、輸送後は速やかに包みを解いて、水に基部を浸けて水分の回復を図るのがよい(森下・大山 1972)。なお、採穂から輸送にあたり、穂木を多量に、長時間積み重ねておいたり、通気がほとんど行われなような梱包をしたり、特にビニール袋に入れたままで直射日光を受けたりする場合、蒸れて大きな被害を受けることがよくあるので注意する必要がある。

02 穂木の貯蔵

137ページ「1. 穂木の採取」「01 穂木の採取時期」で述べたように、穂木の採取適期とさし付けの適期には乖離がある。このため、採穂適期である冬季に採取した穂木を貯蔵して、春季にさし付ける方法が行われている。また、作業上採取してからさし付けまでに日数が空く場合にも穂木を貯蔵することがある。貯蔵条件がよければ、さし付け時期が伸びても発根率の低下は少ない。貯蔵に当たって必要なことは、穂木の活動を抑制し、同時に乾燥及び腐敗を防ぐことである。穂木の活動は10℃程度でもある程度抑制されるが、腐敗・カビの抑制にはさらに低い温度(−2～2℃)が必要である。一方、温度が低すぎると穂木が凍結してしまうので、貯蔵中に−5℃以下にならないよう注意する。さし穂の貯蔵としては、次のような方法がある。

1 水仮植

採穂後に流水に漬けておく方法であり、採穂してからさし付けに数日～1週間以上かかる場合や、輸送を行った場合、また休眠期ではなく新芽が膨らみ始めた穂木を一時的に保存する場合に用いる。なお、スギで休眠期に採取した場合、風当たりの少ない木陰、あるいは日が当たらない15℃程度以下の室内などでは、強く束ねたり、横に厚く(20～30cm以上)積み重ねたりしない限り、そのまま2～3日放置しても乾燥や蒸れによって活着率が著しく低下することはない(森下・大山 1972)。貯蔵期間の目安は1週間程度であり、水がよどむ、あるいは水質が悪いと病原菌により水仮植中あるいはさし付け中にさし穂が腐敗するおそれがあるので、きれいな流水に漬けておくのがよい。この場合、コンクリート製の階段式の水槽を用いる方法が便利である。水に漬ける場合は、穂木の基部を長さ3分の1前後までの深さに浸す。なお、水仮植の間は、寒冷紗等を用いて日除けを行う。

2 土中貯蔵・雪中貯蔵

土中で貯蔵する場合、温度を低めに保ち、また過湿による穂木の腐敗を避けるため、なるべく日陰でしかも排水良好な場所を選ぶ必要がある(森下・大山1972)。凍結しない範囲でなるべく地温が低く、かつ温度変化がないことが望ましい。具体的には、50～70cmの深さに掘って貯蔵し、その上に50cm前後の厚さに土をかけておくか、70～120cmの深さに土を掘って荒穂を入れ、土を間に入れて2段に重ねて貯蔵してもよい(百瀬 1969)。埋蔵する場合は、わら等を敷いた上に穂木を斜めに置き、さらにわらを敷いた上から土を被せる。必要に応じて数層重ねても問題なく、さらに地表の上にも30cmほど土を被せる。なお、積雪量が多い地域であれば、積雪を地表近くまで取り除き、荒穂を敷き並べて雪で覆って踏み固め、必要に応じて数層にわたり繰り返し伏せ込んだ上に雪を多めにかけしておく(森下・大山1972)。土中貯蔵では春季で穂木の活動が進まないうちに、また雪中貯蔵では雪がなくなる前に取り出して水仮植に移す。

3 低温貯蔵

大型の低温貯蔵施設がある場合は、−2～2℃の範囲で貯蔵する。この温度帯は、穂木が凍結せず、かつ糸状菌(カビ)等の発生が起こらない温度である。4～5℃でも貯蔵は可能であるが、貯蔵期間が長くなるにつれ糸状菌が発生する危険度が高まるので、貯蔵の目安としては2週間～2か月程度である。なお、低温貯蔵庫に収納する際には、苗木貯蔵箱であれば箱に入れたまま貯蔵が可能である。苗木貯蔵箱がない場合は、箱、ビニール袋等に湿らせた水苔やおがくず等を入れ、その中に荒穂を埋めて貯蔵する(写真8-4)。



写真8-4 低温貯蔵(林木育種センター 業務資料より)

湿らせたおがくずに荒穂が重ならないよう並べて貯蔵している様子(左)

さし付け前におがくずから荒穂を取り出している様子(右)

3. さし穂の作り方

01 さし穂枝の位置

スギの場合は、一般に1本の枝(自然樹形では幹から発生している枝、樹形誘導された採穂台木では拠点から発生している枝)からその先端(主枝)だけを取るのがよく、側枝は発根性やその後の成長性が落ちる場合があるので用いないが、側枝が発達しやすい品種や系統では側枝の発根がよいこともある。ヒノキでも主枝より側枝の発根がよい場合がある。ただし、スギ・ヒノキとも、枝の先端から離れるほど枝性*が出やすく、枝性がある枝を用いてさし木を行うと、幹でなく枝のように成長して真っ直ぐに育たない場合がある。枝性は特にヒノキで強く現れるので、特に注意が必要である(写真8-5)。

*枝性: さし木苗にした後に直立せず斜めあるいは地面と並行に育つ性質。枝性が高い場合は、枝のように横に育つ性質が強く現れる。枝性が高いさし穂では、写真8-5に示すように枝の頂端が不明瞭であり(芯がないともいわれる)、枝の側枝が平面的に配置される。



写真8-5 ヒノキの荒穂の枝性の程度(林木育種センター 業務資料より)

さし穂に適した荒穂は、芯があり、立体的に葉が配置され、直径が太く直立している。不適な荒穂は、芯がないか不明瞭であり、平面的に葉が配置され、直径が細く曲がりがある。不適な荒穂でも発根はするが、さし木苗の成長が悪い場合が多い。

02 さし穂の年齢

ここでのいうさし穂の年齢は、切り口に当たる部分を示す。発根性が低いマツ属樹種やカラマツ属樹種では、春ざしでは前年に伸びた部分、夏ざしでは当年に伸びた部分でなければ発根させることは難しい。

比較的发根性が高いスギ・ヒノキでは、特に貧弱な枝でなければ、春ざしでは前年に伸びた部分、夏・秋ざしでは当年に伸びた部分のほか、その前の年に伸びた部分を使うこともできる。苗畑に直接さし付けるような場合には、前年枝よりも前々年枝を使う方が、組織が固く充実しているために発根が良好である場合も多い。

03 さし穂の長さ

発根性が低いマツ属樹種、カラマツ属樹種では、さし穂の長さが長いほど、さし穂からの発根性が低下する。例えば、クロマツではさし穂の長さ・基部直径と発根の関係を調査し、さし穂が長いほど、直径が大きいほど発根率が低下したと報告されている(松永ら2009)。このため、クロマツ、クリーンラッチでは長さ5 cm程度のさし穂が使われている。

スギ・ヒノキではマツ類とは逆の傾向を示し、一般にさし穂の長さが短いと発根性が低下する。ミスト散水装置のある温室内といった乾燥のおそれのないさし床にさし付けた場合、15～30 cmのさし穂に比べて10～15 cmのさし穂で発根性が低下した(永吉2019; 大平2024)。ただし、発根性が低下する状況はさし付けの環境や採穂木の樹齢で異なる。散水設備がない苗畑に直接さし付ける場合には、ある程度さし穂が大きい方が乾燥に耐えられると考えられる。一方、実生苗から採穂した場合に、発根性が低下するとされる短い(5 cm)さし穂でも100%の発根率が得られたという事例も報告されている(斎藤・後藤2019)。

実際にさし穂の長さを決める際には、上述した発根性のほか、さし付けの時期、育成期間や採穂可能なさし穂数量も考慮する。例えば、30 cmのさし木苗を1年で育成するならば、40 cmのさし穂を用いればよいが(さし穂の基部10 cmはさし床に埋めるので30 cmのさし木苗になる)、長い荒穂を得ようとするすると採穂数が限られる。限られた採穂木から多くの荒穂を得ようとする場合、より短いさし穂とした方が多くの荒穂を採取できる。ただし、目標とするさし木苗の苗長に対して短いさし穂を用いる場合は、床替えや施肥による成長促進を行う必要があり、場合によっては育成期間を1成長期増やさなければならない。

こうした状況から、主に九州地域で苗畑に直接さし穂をさし付ける場合は、従来さし穂の長さは30～40 cmを用いたさし木で1年出荷であったが、最近ではより短いさし穂をコンテナに直接さし付ける試みがなされている(永吉2019)。なお、九州地域以外では15～20 cm程度のより短いさし穂を用いて2年以上育成した後に出荷されている。

04 さし穂の切り口の形状

さし穂の切り口は、植物体が負った外傷であるため、最も病原菌が侵入しやすい部位となる。さし木増殖では、さし穂の切り口から腐敗することによる失敗が多いことから、切り口から病原菌に侵されないよう、刃物は清潔な、鋭利なものを用いることが必要となる。

切り口という外傷から植物が身を守るためにまずカルスを形成する。クロマツ、アカマツ、カラマツでは、カルスからのみ不定根が発生するため、特に切り口を清潔にしてカルスを形成することが求められる。

切り口の形状は、**図8-2**のとおり平型、楕円型、楕円切り返し型、三角型等があるが、一般的には楕円切り返し型(穂を斜めに切断した後、反対から浅く切り返しを入れる方法)で整えることが多い。

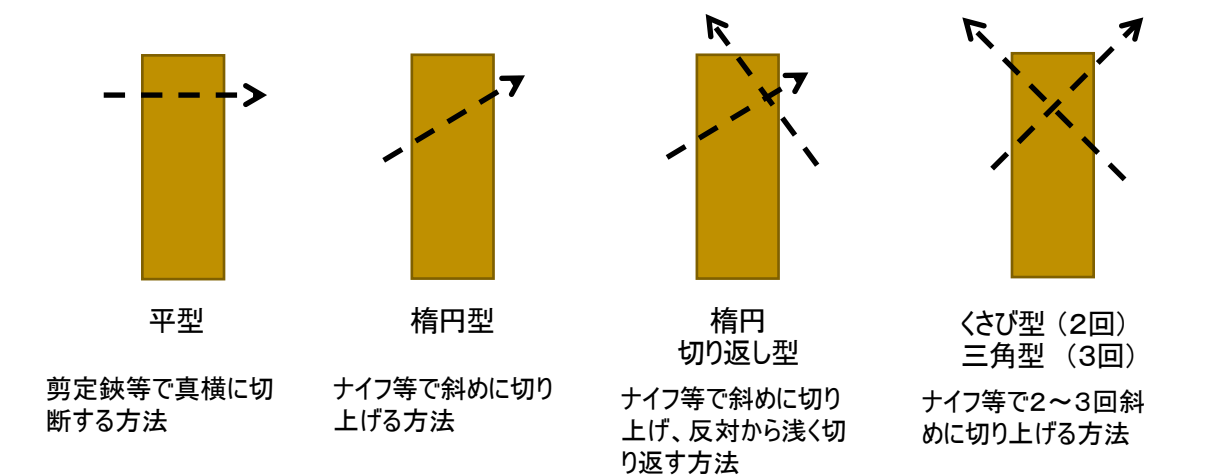


図 8－2 | さし穂の切り口の切り方(林木育種センター 業務資料より)

引用文献

- 松永孝治・大平峰子・倉本哲嗣(2009)さし穂サイズと採穂台木の形態的要因がクロマツさし木苗の生産効率に与える影響. 日本森林学会誌91: 335-343
- 百瀬行男(1969)採種・採穂園の管理とスギのさしき. 農林出版, 163p.
- 森下義郎・大山浪雄(1972)さし木の理論と実際. 地球出版, 367p.
- 永吉健作(2019)スギ精英樹のさし木発根性. 鹿児島県森林技術総合センター研究報告20: 17-20
- 大平峰子(2024)スギのさし穂長が発根および発根後当年のコンテナ苗の成長に与える影響. 日本森林学会誌106: in press
- 斎藤真己・後藤晋(2019)マイクロカッティング技術を応用した無花粉スギの苗木生産量の倍増法. 森林遺伝育種8: 1-7

参考文献

- 黒丸亮・来田和人(2003)グイマツ雑種F₁幼苗からのさし木増殖法. 北海道林業試験場研究報告40:41-63

1
2
3
4
5
6
7
8

穂木の採取・保存

