

【解説】講座

林木育種の現場の ABC (8)

採種園 (造成準備)

藤澤 義武<sup>\*1</sup>

はじめに

有性繁殖技術では、これまでにスギ、ヒノキやマツの人工交配を紹介した。人工交配技術は交雑育種や遺伝的研究材料の育成で欠くことのできない基本的技術であるが、遺伝的獲得量が大きく特性が明確な苗木を生産できるため、ニュージーランドなど欧米諸国では実用種子を人工交配で生産する場合がある。我が国でも少花粉品種の種子を同様に生産している例がある。しかしながら、山行き苗の種子生産では、人工交配は品質で有利なもの、コスト面では不利となる。このため、山行き苗は採種園産の種子で生産されるのが一般的である。

林業種苗法では、昭和45年の改正において、育種で育成された優良な母樹による採種園、採穂園を「育種母樹林」として、優良な種・穂を確保するための基盤にすえた。実生苗は生産コストの面で有利なので、高品質な種子を効率的に生産できる採種園(写真-1)の造成が進み、樹種込みで平成25年度末現在、432箇所952haの採種園がある。さらには、第2世代精英樹、いわゆるエリートツリーの採種園の造成も始まった。

採種園は林木育種の成果を山行き苗の生産に活用して具体化するための手段であり、造成、管理・維持の適否によってはせっかく長年にわたる林木育種の成果を損なうこともある。林木育種に携わる者として、採種園の適切な造成・管理技術を身につけておくことは必須の事項であろう。

我が国の林木育種事業、ひいては林業種苗行政の基盤とも言うべき採種園の造成計画の策定に役立つ事項を紹介する。

スギ



マツ



写真-1 採種園の例 (スギとマツ)。

採種園の基本と配慮すべき事項

採種園は精英樹など遺伝的に特性が優れた個体群を母樹とし、これらの種子を効率的に生産することを意図して造成した林分である。その一般的な仕組みは、構成する全ての母樹の相互間で自殖を避けた任意交配を行い、種子を生産するものである。任意交配を前提とするのは

\*E-mail:fujisawa@affrc.go.jp

<sup>1</sup> ふじさわ よしたけ 森林総合研究所林木育種センター

次代の基盤となる種子の遺伝的特性に対し、採種園を構成する全ての母樹を均等に寄与させるためである。また、改めて述べることも無いが、採種園は、林業種苗法に定められた種苗の配布区域ごとに造成する必要があり、そこに植栽する母樹はそれぞれの区域に由来する精英樹等で構成しなければならない。

そこで、採種園の造成にあたっては、該当する種苗配付区域で利用できる精英樹や抵抗性品種などから設置の目的に適合するクローンや家系を選択して母樹を育成し、同じ近縁の母樹がとなりあうことなく、しかも園内全体で偏りなくまんべんなく配置するように計画する。ところで、任意交配は適切な配置だけで達成できるものではない。一般的に母樹ごとの種子、花粉の生産量は均等であると仮定する。しかし、実際には花粉生産量、種子生産量は母樹によって大きな変異があり、少数の母樹が種子生産、あるいは遺伝的に大きく寄与する傾向にある。したがって、事前に母樹クローンや家系の種子や花粉の生産性など後代への寄与を評価し、これに基づいた重み付けができれば、より理想に近い任意交配を達成できる。また、このことを配慮した設計法もある。しかしここで重要なのは、いくら設計を工夫したとしても、母樹のクローンや家系に間違いがあったのでは、せっかくの努力がもとの木阿弥となってしまうことである。このことを防ぐためには、母樹となる苗木が間違いなく対象とするクローンや家系であることを DNA マーカー等で確認したうえで、IC タグ等 (写真-2) の利用によってその後の作業によって取り違えが発生しない、あるいは発生しても対処できるように確実に管理しておかなければならない。



写真-2 苗木に取り付けた IC タグ

造成用地は、花粉の偏りのない散布、造成後の採種、管理作業の円滑な実施を考慮し、起伏がなく平坦な土地が理想であるが、山がちな我が国でこのような場所を確保するのは難しいであろう。よって、比較的傾斜や起伏が緩やかな土地をさがすことになるが、できるだけ単一の面で構成され、域内に大きな起伏が無い箇所を選択するのが肝要である。また、外部からの花粉の混入の影響をできる限り少なくするために外部花粉/採種園内花粉を十分に大きくする必要があり、このため、近隣に対象樹種と同種の林分が無いことを確認しておく必要がある。広大な異樹種林の真ん中に採種園を造成するのが理想的であるが、実現は難しい。そこで、近接して同種林分が存在する場合は伐採し、異樹種の緩衝帯を設けるなどの配慮が必要となる。

一方、種子を効率的かつ安定的に生産するためには管理作業も重要である。採種などの作業を効率的に行うために断幹によって樹高を低く抑え、さらには種子をより多く生産するために、花芽の付く若い枝を多くするとともに、陽当たりを良くしておかなければならない。このために不必要な枝を間引き、萌芽によって活力のある若い枝を殖やすため、適期に適切な整枝・剪定する必要がある。こうした作業は、断幹によって樹高を抑えてはいるものの、ある程度の高所作業とならざるを得ない。また、年ごとの豊凶の差をできるだけ小さくし、安定して種子を生産するために、着花促進処理を行うことはもちろんのこと、樹体を健全な状態に保つために中耕、施肥を行うことも重要である。これらからも、起伏が大きい、あるいは石礫地への造成は不利であることがわかる。

### 採種園の造成計画をたてる

拡大造林最盛期には 41 万 5 千 ha もあった年間の造林面積は、環境の変化から平成 22 年ではわずか 2 万 3 千 ha まで減少しており、以前のように大規模な採種園の造成が求められる機会はまれであろう。しかしながら、精英樹の次世代化が進み、いわゆるエリートツリーへの期待が高まる一方で、採種園管理・経営の合理化とそのため採種園の統合が話題となっており、比較的大規模な採種園の造成が求められる可能性もある。そのときは造成計画を立てることになるが、その際に一助となる事項を次から示す。

**採種園のタイプと規模の検討：**まずは採種園のタイプを決める。採種園にはクローン採種園と実生採種園の 2 タ



イブがあり、遺伝的獲得量が大きいなどの利点によって、通常はクローン採種園方式を採る。また、多数のクローンで母樹を構成するのが一般的であるが、2クローンや3クローンに限定して採種園を構成するバイクローナル採種園、トリクローナル採種園もある(河崎 2004)。バイクローナルやトリクローナルの採種園は、花粉生産量が少ない、高ヤング率であるなど明確な特徴を持った苗木を作りたい場合に選択する。しかし、一般的には遺伝的多様性を考慮し、数多くの母樹クローンで構成するように計画する。White et al. (2007) は後の採種園改良などを考慮し、60クローン以上が必要であるとしている。しかし、近年は世代交代の高速化に向かっており、一定期間で母樹を入れ替える方が採種園改良よりも高い育種効果を効率的に享受できるので、このことを前提とした計画が得策であり、30クローン程度が適当であろう。

つぎ木等によってクローン増殖が難しい場合には実生採種園を選択するが、遺伝的獲得量は小さくなる。我が国ではスギなどで実験的に造成されているが、実用例は見当たらない。海外ではユーカリ類、アカシア類やファルカタで実生採種園が造成されている。ちなみに我が国でも広葉樹でブナ、クヌギ、ケヤキ等の採種園が造成されているが、いずれもクローン採種園である。

次に、採種木の仕立て方を考える。樹種によっては剪定によって種子がつき難くなるため、自然形仕立てとしなければならない場合もあるが、我が国ではエゾマツの例があるだけであり、大半は断幹と整枝・剪定によって樹形を整える。この方が、樹高を押さえ、作業が容易になるだけではなく、限られた空間にめいっぱい枝を伸ばし、より多くの花芽を付けることができるからである。断幹の位置について、百瀬は地上高6mを提唱した。4mでは枝の立ち上がりが旺盛で整枝・剪定の手間が増え、これ以下では寿命が縮む。しかし、地上高6m付近で断幹すると枝の立ち上がりはそれほど旺盛ではなく、整枝・剪定が容易で適切であるとしている(百瀬 1969)。また、古越は早い時期に2m程度で断幹し、立ち上がった枝についても適切に間引きして樹形誘導するとしている(古越・谷口 1982)。しかしながら、近年は樹高を1~2m程度に極端に低く管理するミニチュア採種園方式を取ることが多くなってきた(写真-3)。この方式は寒冷多雪地帯において、採種母樹を積雪深より低くすることで積雪や低温害を避けるという苦肉の策として考案されたが(Ito and Katsuta 1986)、近年の造林面積の減少からそれほど大量に種子生産を行う必要が無くなっており、作業の効率性、安全性を考慮し、ミニチュア採種園方式を採用することが多くなってきた。本方式では植栽後3年目にジベ



写真-3 スギのミニチュア採種園。群馬県渋川市。

リン処理を行い、4年目から種子生産できるので、新しい品種の種苗を造成後7年目で得られることが大きな利点である。その反面、造成後10年程度で寿命が来るとされることと、樹体を小さく保つために頻りに整枝・剪定が必要なことが大きな欠点であるとされる。しかしながら、10年で母樹を入れ替える必要があることは、新品種と入れ替え易いことを意味し、このことを積極的に利用した採種園経営、ひいては造林計画に活かせる可能性もある。また、頻りに整枝・剪定が必要であることも、樹体が小さいために動力ヘッジトリマーを利用し、効率的かつ低コストで、しかも安全に整枝・剪定を実施できる可能性がある。

こうして採種園の基本的なイメージが固まるといよいよ必要な母樹数を決める。これは、事業全体の規模を規定するものでもある。母樹数は山行き苗の生産規模の想定数と対象樹種の地域における育苗標準によって必要種子量が決まり、これに基づいて母樹あたりの種子生産量から必要本数を算出する。育苗標準とは播種から床替え、山出しに至る各工程における育苗本数や苗畑面積などの標準を示したもので、地域や機関別に示される。地力や技術によって変化するので、同じスギでも種子kgあたりの山行き苗生産量は1.2万本から5.7万本まで大きな違いがある。それぞれの地域で適切なものを選択して利用する。表-1には一般的な仕立て方における母樹当たりの種子生産量の一例を示す。ミニチュア仕立ての場合は、35g程度とされているが、条件によって大きく変化するので、条件が似通った既存採種園のデータを参考にした方が良い。必要本数を決める際には、豊凶などを考慮し、母樹数に20~50%程度の余裕をみることに加え、着果促進を3年おきを実施することを考慮し、さらに3倍にすること

表-1 採種木あたりの種子生産量

樹種	ha あたりの植え付け本数 (本)	採種木 1 本あたりの種子生産量 (g)			備考
		無間伐	50%間伐	75%間伐	
スギ	1600	31.3	37.5	125.0	ジベレリン
ヒノキ	1600	28.1	56.3	112.5	ジベレリン
アカマツ・クロマツ	800	37.5	75.0	150.0	
カラマツ	800	32.0	64.0	128.0	

関東林木育種場 (1983) より。

を忘れないようにする。また、途中で成績不良や増殖が不良の個体やクローンの間引きによる改良を考慮するのであれば、それも含めた計画を立てる必要がある。ミニチュアではない一般的な採種園の造成における植栽密度は「採種園の施業要領：39 林造 1720 号」によるとスギ・ヒノキ：1600 本/ha、カラマツ類：625 本/ha、アカマツ・クロマツ：800 本/ha、モミ類・トウヒ類：1111 本/ha であり、間伐による本数調整を繰り返し、最終的には 100～400 本/ha (5 m 間隔～10 m 間隔) とすることとなっている。これは間伐率が 75%以上となって、現在では現実的では無い。しかし、造成後 20～30 年間にわたって利用できることを考慮すれば、次代検定などによる性能評価だけではなく、増殖性の問題、耐病性の問題が顕在化することもあるので、これらに対応できるように間伐による不要クローンの間引き (Roguing) を考慮し、最終的に仕立てる本数の 2～3 倍程度を植栽しておく方が穏当であろう。ミニチュア採種園では、母樹の寿命が短く入れ替えの回転が速いので、採種園改良について特に考慮しておく必要はない。

**用地の準備：**母樹の最終的な仕立て本数が決まると必要な面積が決まるので、これにしたがって用地を確保する。前述の通り、一般的には最終的な仕立て本数は 100～400 本/ha (5 m 間隔～10 m 間隔) となり、ミニチュア採種園では 4,444～6,944 本/ha (1.2 m～1.5 m 間隔) 程度が一般的である。しかし、除草を機械で実施するなど管理作業を容易にするため 2m 程度の間隔を取って 2,500 本/ha としている例もあり、この場合はサブミニチュア採種園とでもいうべきものとなる (茨城県林業技術センター 2011)。

近年は種子の需要も多くはないので、新たに山林などを開墾して用地をもとめることはまれで、既存の採種園の置き換えが主体となるであろう。その場合、外来花粉の問題から、異樹種の採種園の一部を利用するのが最良である。同樹種の場合、必要面積以外は伐倒処理し、異樹種の緩衝帯を造成する必要があるため、負担が大きい。



写真-4 採種園用地の整備。ケニアキツイ近郊。

風媒花では同一樹種から 120 m (400 フィート) 程度離す必要があるとされるので (Buijtenen 1971)、安全率を見込んで 200m 以上は離すよう緩衝帯を設ける。特に開花時期における定常風の風上方向には十分な距離をおく。また、小規模な採種園であれば林業試験機関など既存施設の一角に造成するのも一つの選択である。造成の手間、管理を含めて理想的な環境にある。

一方、新たに用地を求める場合は畑地を利用するのが理想的であるが、こうした機会はいずれであろう。そこで、山林などを開墾することになる (写真-4)。この場合に必要な整地経費について、中耕などを考慮して少なくとも地上から 50 cm 程度の深さまでは石礫を処理すること、40 cm 程度の根株を 30 個程度処理するとして積算した 0.1 ha あたりの整地費用は重機のレンタル経費及び運送経費、根株や石礫の産廃処理経費などを含めて 60 万円程度となる。これはあくまでも一例であり、地域、業者によって異なるのは当然である。このように、伐倒木、根株や石礫は処理に多くの経費が必要となるので、これが必要な箇所はできるだけ避ける。用地は交配機会の均等を考慮した母樹配置を適切に実施する観点から、平坦でできるだけ正方形に近い矩形が理想である (写真-5)。しかし、そこまで整地することは経費的に極めて難しいので、作





写真-5 矩形に整地した 10 ha の用地。ケニアキツイ近郊。

業の便を考慮し、園内での部分的な起伏をできる限り小さくするように計画する。

最後に、忘れてはならないのは採種園を管理・経営していくうえで車両が容易に出入りできる主要道への取り付け道路と園内の移動路の確保、採取した球果などを一時的に取り扱うためのスペースなど、付帯施設の確保も忘れてはならない。これらを総合し、予定区域を決める。

**母樹の配置：**採種園の母樹の配置にあたっては、(1) 外部花粉に対する母樹の花粉の比率を可能な限り高くする、

(2) 高品質な種子を生産するために採種園全体で適切な花粉の流れをつくる、(3) できるだけ多くの母樹のペアで交配が成立するように考慮する、(4) 自殖はできるだけすくなくすることを目標にすべきとされており

(Buijtenne 1971)、設計法としては概ね (1) 自由交配法、(2) ランダム配置法、(3) 系統的配置法に区分され、(1) は特に配置を考慮しないもので、例えばクローン集植所や交配園などを採種園として使い、自然受粉種子を採取した場合がこれにあたる。(2) は同じクローン同士が隣り合わないよう配慮しつつ、園内、あるいはブロック内でランダムに配置する方法、(3) は同一のクローンが近接せず、しかも各行、各列に各クローンが必ず一回数登板することによって園内、あるいはブロック内で特定のクローンが偏在しないように系統的に配置するもので、10 クローンの系統的配置の例を図-1 に示す。我が国でも、3×3 本の配列 1 単位とする 9 型、同様に 5×5 本を 1 単位とする 25 型、7×7 本を 1 単位とする 49 型とし、この配列表に乱数表を使ってクローンを割り当て、これを必要回数くり返す方法があり、これは系統的配置の範疇に入る (図-2)。この方法の具体的な手順は古越 (1982)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
H	I	K	A	B	C	D	E	F	G
E	F	G	H	I	K	A	B	C	D
B	C	D	E	F	G	H	I	K	A
I	K	A	B	C	D	E	F	G	H
F	G	H	I	K	A	B	C	D	E
C	D	E	F	G	H	I	K	A	B
K	A	B	C	D	E	F	G	H	I
G	H	I	K	A	B	C	D	E	F
D	E	F	G	H	I	K	A	B	C

図-1 10 クローンを使った系統的配置の例。Langner and Stam (1995) より。

9 型	25 型	49 型
2 8 6	21 24 18 25 11	45 10 24 42 36 27 3
4 1 7	10 3 5 2 9	7 18 48 4 13 20 39
3 5 9	17 12 1 4 8	21 40 34 25 31 8 16
	20 7 13 22 14	32 12 6 1 28 46 49
	6 16 23 15 19	15 37 43 23 35 11 33
		29 2 26 17 44 5 41
		19 47 9 38 14 30 32

図-2 クローンの方形配置 (9 型、25 型、49 型)。

に詳しい。さらには母樹の繁殖特性を評価し、① 種子生産性は低い花粉生産性の高いもの、② 種子生産性は普通以上で花粉生産性の高いもの、③ 種子生産性は高い花粉生産性の低いもの、④ 種子生産、花粉生産ともに平均的なものに区分し、これらをできるだけ多くの交配ペアが成立するように花粉生産性の高いものと種子生産性の高いものを配置する系統的配置法もある (Buijtenen 1971)。これは一見理想的であるが、効果的に設計するためには、予め種子生産性、花粉生産性に関する情報が必要であることに加え、採種園改良のための間伐を実施すると当初設定したバランスが崩れてしまうので、このことを予め考慮して計画する必要がある。また、スギ・ヒノキでは、花粉生産量の多いクローンを入れることはありえない。カラマツとグイマツ雑種 F<sub>1</sub> を生産するための雑種採種園、バイクローナル採種園、トリクローナル採種園も広い意味でこの範疇に入る。

このように母樹の配置にはいくつかの категория と方法があるが、かつては 25 型などの系統的配置法のアレン

ジが主流であり、現在はランダム配置法が一般的である。ランダムかつ全体的に偏り無い母樹の配置を達成する方法として、① 同一のクローンが近接せず、② 自殖以外の他の組み合わせは任意交配となり、しかもできるだけ多くの組み合わせとなるようにランダムに配置する「隣接個体入れ替え配置法 (Bastide 1967)」に基づいたコンピュータープログラムが数多く開発されている。我が国では Visual Basic で開発した母樹配置の設計ソフト「Mixed」(高橋 2002) があり、Excel で動作する改良版 (高橋 2013) が、森林総合研究所林木育種センターからマニュアル付きで無償配布されている。同センターの指導課へ問いあわせていただきたい。

**母樹の準備**：母樹となる原種苗は森林総合研究所林木育種センター及び各育種基本区の育種場から供給を受けるのが一般的であろう。この場合、近年は DNA マーカーによる系統管理のもとで原種苗を生産しているので、クローン間違いは皆無に近い状態となっている。したがって、受け取り側においてもこのことを継承し、厳密な系統管理に努めることが求められる。具体的には植栽以降も含めて個体を管理できるように数年以上の耐久性を確保できるタグ (IC タグが理想的であるが、必ずしもこれにこだわる必要は無い。印刷であっても表面をコーティングするなどによって耐久性を確保できれば良い) を個体ごとにしっかりと取り付けて管理し、取り違いなどの事故が発生しても対処できるように備えておく。

各機関のクローン集植所等を利用し、独自に原種苗を育成する場合は、林木育種センター同様にプライマリーラメート (集植木) とラメートの関係を DNA マーカー等によって確実に管理するとともに、採穂、さし付けあるいは接ぎ木はクローンごとに実施するなど、過誤が入り込む可能性をできるだけ減らすように配慮する。また、精英樹、抵抗性品種など既存の品種を利用する場合はプライマリーラメートそのものがオルテットあるいは林木育種センターのプライマリーラメートと同一であることを DNA マーカー等によって確認しておかなければならない。

## おわりに

採種園は育種事業の根幹の一つであり、その造成は一大事業である。採種園を造成する場合にはまずは今回紹介した事項に沿って事業規模等を把握したうえで、細部を含めた本格的な計画・設計にあたっていただきたい。

その際、林木育種センター、育種場に配置された育種技術専門役などが先述した設計ソフトの配布や設計にあたってのアドバイスなど技術援助を行うこととなっているので、気軽に相談していただきたい。

## 参考文献

- La Bastide JGA (1967) A computer program for the layouts of seed orchards. *Euphytica* 16: 321–323
- 百瀬行男 (1969) 採種・採穂園の管理とスギのさし木. 農林出版, 東京, pp163
- Van Buijtenen JP (1971) Seed orchard design, theory and practice. Proceedings of 11th conference on southern forest tree improvement. Atlanta, GA, pp197–206
- 古越隆信・谷口純平 (1982) 林木の育種. 農林出版, 東京, pp 223
- Ito S, Katsuta M (1986) Seed productivity in the miniature seed orchard of *Cryptomeria japonica* D. Don. *Journal of Japan Forest Society* 68: 284–288
- 高橋誠 (2002) 採種園設計のための Visual Basic プログラム「Mixed」の開発・評価と設計の作業効率に影響する要因. *日本林学会誌* 84: 239–245
- 河崎久男 (2004) ミニチュア採種園の新しい利用法. *東北の林木育種* 175: 5–6
- White TL, Adams WT, Neal DB (2007) *Forest genetics*. CABI Publishing, Oxfordshire
- 茨城県林業技術センター (2011) 花粉の少ないスギミニチュア採種園の種子生産について. *林業普及情報* No.31
- 高橋誠 (2013) 採種園設計プログラム「Mixed」の改良. *森林遺伝育種学会第2回大会講演要旨集*: 32