

グイマツ第2世代精英樹の選抜

来田和人

カラマツの欠点を改良するために開発されたグイマツ雑種F₁

カラマツは成長が早く材が強いことから、昭和30年代～40年代にかけて盛んに植栽され、それらが伐採、更新期を迎えた今も、北海道で最も植栽面積が多い樹種となっています。しかし、ネズミの食害や先枯れ病に弱い、幹曲りが大きい、材が乾燥するとねじれる欠点を持っています。それらの問題を解決する方法の一つとしてカラマツの仲間のグイマツと種間雑種を作る育種が進められてきました。グイマツはロシア極東部に天然分布するダフリカカラマツの亜種で、サハリン、千島列島に分布しています。現在ではグイマツを母親、カラマツを父親とするグイマツ雑種F₁は年間約60万本の苗木が生産され、約300ha植栽されています。またグイマツ雑種F₁の中でも成長、材の強度、幹の通直性、炭素固定能が優れた優良品種「クリーンラーチ」のさし木苗生産も行われています。

これらのグイマツ雑種F₁は、昭和30年代から40年代にかけて遺伝的に改良されていない人工林から選抜した成長や樹形が優れたカラマツとグイマツ（精英樹）を交配して育種が進められてきました。それでは、さらに育種を進めるにはどうすればいいのでしょうか。その方法の一つが精英樹の子供たちから優れた木を選び、精英樹の次世代化を進めるというやり方です。最初に選んだ精英樹を「第1世代精英樹」、第1世代精英樹の子供たちから選んだ精英樹を「第2世代精英樹」といいます。北海道では現在、森林総合研究所林木育種センター北海道育種場と道総研林業試験場が協力しながらグイマツの第2世代精英樹の選抜に取り組んでおり、今後、トドマツ、カラマツについても取り組む計画です。

林木の育種はどのように進められてきたか

第2世代精英樹の具体的な選抜方法は樹木の遺伝特性や北海道で行われている林木育種の方法に依存することから、第2世代精英樹の選抜について理解するためには林木の遺伝特性や育種方法も理解する必要があります。そのため本題に入る前にまず、この章で樹木の遺伝特性、北海道の林木育種について説明し、次の章で第2世代精英樹選抜の考え方とその科学的根拠について説明します。

北海道で造林対象となる主な針葉樹はカラマツ、グイマツの他、トドマツ、アカエゾマツ、スギの5種です。いずれも1本の木に雄花と雌花を着けますが、自分自身の花粉が雌花にかかっても発芽する種子を作ることがほとんどできません。これを専門用語では自家不和合性といいます。たとえ種子が発芽しても生存率や成長量が低下することが多く、近交弱勢と呼ばれる現象が起こります。兄弟同士の交配であっても程度の差はありますが自家不和合性や近交弱勢が現れます。遺伝子は母親と父親からひとつずつ子供に伝わります。近親個体同士の交配では生存に不利な遺伝子が二つ揃う確率が高まり子供の生存率が低下します。自家不和合性は、血縁関係のない他個体同士の交配を促し子供の生存率を高める仕組みです。稲のように自家不和合性がない植物もあります。このような植物では自殖交配を何世代か繰り返すと目的とする形質（収量、病虫害抵抗性、気象害抵抗性など）を固定することができます。いいかえると個体や株によるばらつきをなくし均質な作物を生産することができますようになります。樹木のように自家不和合性、近交弱勢を示す植物では、近親交配を繰り返すことができず、何世代も育種を繰り返しても他個体同士の交配で苗木を作らなければならないことが林木育種を進めていく上での制約になります。

また樹木は寿命が長く、世代間隔が長いことが育種を進めていく上で不利になります。農作物では遺伝的に優れていることを科学的に確認してから商品となる作物の生産にかかります。しかし林木では同じことをやろうとすると何十年かかるか分かりません。そのため科学的裏付けがなくても見た目だけで優れている木を選び、それらの子供を造林用の苗木に使うという一見乱暴な方法が取られてきました。

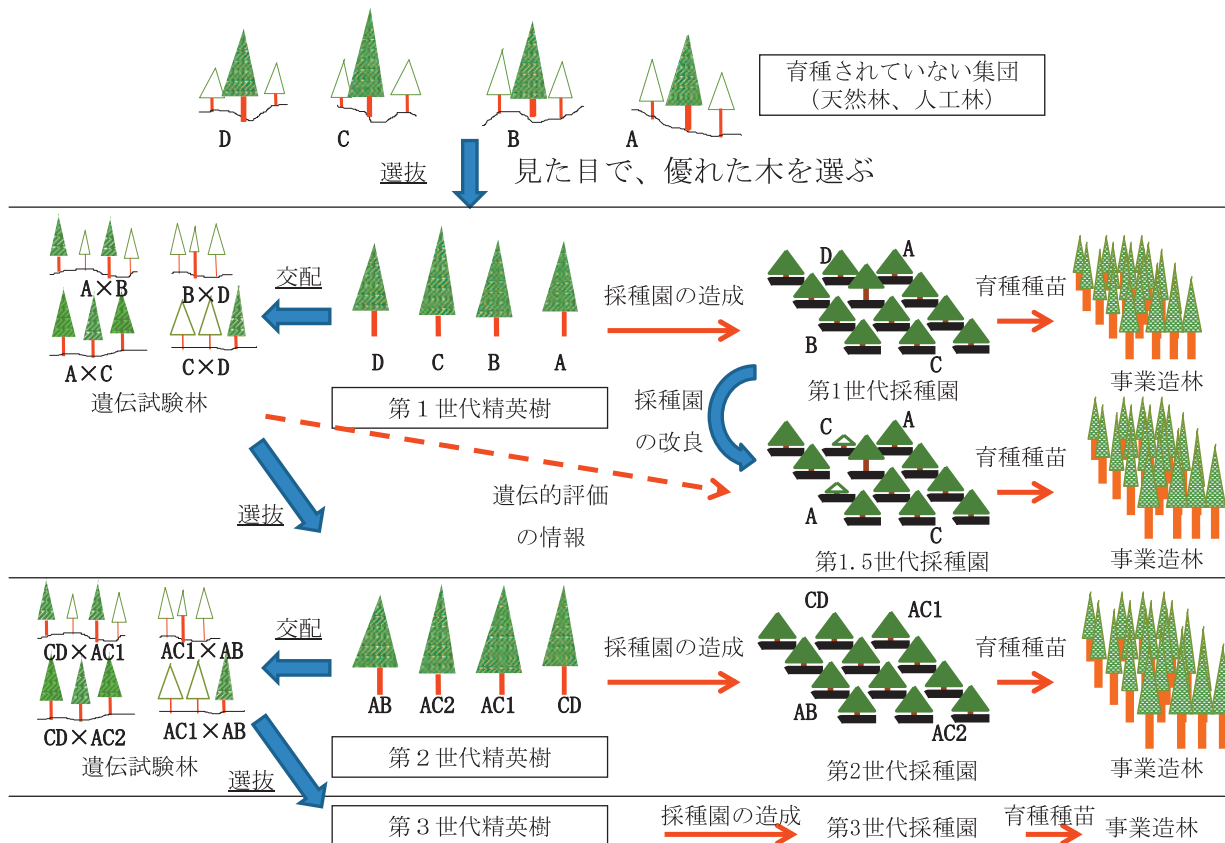


図-1 林木育種の流れと精英樹の次世代化

日本で見た目だけで優れた木を本格的に選んだのは昭和30年代で、これが現在取り組まれている林木育種事業の始まりです。全く育種されていない天然林や人工林から選んだことから、この時選ばれた木を第1世代精英樹と呼んでいます(図-1)。北海道ではカラマツ278本、グイマツ106本、トドマツ782本、アカエゾマツ338本、スギ78本の第1世代精英樹が選ばれています。また北海道ではそれらの精英樹を用いて造林用の種子を取る林「採種園」が287ha造成されています。

これまでの研究によると第1世代精英樹の子供達は、未選抜の木の子供達より成長量が10%程度増えることが分かっています(北海道林木育種協会 1997)。さらに精英樹1本1本について、成長や材質の善し悪しが明らかになっています。その結果に基づいて第1世代精英樹で造成した採種園から悪い精英樹クローンを取り除き、優れた精英樹クローンを残す、または新たに植え込む作業を繰り返し、採種園を継続的に改良しています。この採種園は第1世代採種園よりも優れていますが、完全に次の世代に移行していないことから1.5世代採種園(図-1)と呼ばれており、北海道の採種園の多くは、この段階にあります。

育種対象木の次世代化

さらに林木の改良を進めるにはどうするのでしょうか。その方法の一つが第1世代精英樹の子供の中から優れた個体を選ぶというやり方です。このように選ばれた木は第1世代の次の世代であることから第2世代精英樹と呼ばれています(図-1)。第1世代精英樹の遺伝特性を研究する過程で、育種対象となる成長や材質などの性質(「形質」といいます。)が子供に伝わりやすい形質なのか、環境の影響を受け子供に伝わりにくい形質なのか、さらにどれくらいの割合で遺伝するのか(遺伝率)推定できるようになります。そのため、遺伝率と選抜強度(たとえば上位10%)から第2世代精英樹を選抜するとどれくらいの改良効果があるのか推定することができます。一般的に樹高や直径などの成長に関する形質よりも材の強度や幹曲りなどの材質に関する形質の遺伝率が高く、改良効果が高いと考えられています。

表－1 試験地の概要

試験地名	樹種	試験地設定年月	場所	交配設計	家系数
グイマツ遺伝資源林	グイマツ	1993年5月	道総研林業試験場 三笠遺伝資源集植地 (三笠市)	11×6 要因交配	44家系

表－2 第二世代精英樹選抜時の調査概要

調査数		調査年	林齢	調査項目
44家系	721個体	2007年	15	樹高・胸高直径
		2008年	16	矢高(幹曲り)
		2009年	17	ピロディン陥入量(ヤング係数)

選抜強度を高めるほど改良効果が高くなりますが、遺伝的多様性が低下し弊害も出てきます。木材生産を目的とした樹木の場合、植栽してから最終的に収穫するまで

40年以上かかります。一年以内に収穫できる農作物に比べて相当に長い期間です。期間が長ければ長いほど気象害や病虫害などの被害が起こる確率が高まります。遺伝的多様性が高いほど突発的な被害で森林が一斉に崩壊するリスクを下げることができると考えられるため、農作物より林木で遺伝的多様性が求められます。また、優れた形質を持つ系統(精英樹の子供たちからなる兄弟群:家系)には偏りがあります。選抜強度を高めると必然的に選ばれる木の数が少なくなり、選ばれる個体にも系統による偏りが生じます。その結果、高い選抜強度では血縁関係のある木同士が選ばれる確率が高まり、選抜個体同士をかけあわせてできた子供に近交弱勢が現れるリスクが高くなります。これらの理由から第2世代精英樹を選抜する時には単に選抜強度を高めて改良効果の増加を求めるのではなく、選抜された個体の親の数が多くなるよう考慮する必要があります。例えば、次章で紹介するグイマツ第2世代精英樹の選抜では721個体から幹の通直性(矢高)と材の強度(ヤング係数)の二つを基準にして、12個体を選抜しましたが、単に上位12個体を選抜すると選抜個体の母親または父親となる第1世代精英樹は4クローンです。一方、上位10%の72個体の中から親の重なりが少なくなるように12個体を選抜すると選抜個体の親となる第1世代精英樹は10クローンに増えます。

これまでの理論的・経験的研究によると300個体がランダムに交配すれば天然集団全体の遺伝的多様性が保たれると考えられています(Whit et al. 2007)。一方、300個体ある森林から30~50個体を選べば95%以上の遺伝的多様性が維持でき、それ以上個体を増やしても遺伝的多様性の増加が鈍化します(井出,白石2012)。そのため選抜にかかる労力と達成できる遺伝的多様性の関係から北海道では一つの育種区、一つの樹種でそれぞれ100個体の第2世代精英樹を選抜することを目標としています。しかしグイマツでは選抜の母集団となる第1世代精英樹が106クローンしかなく、第2世代精英樹の選抜数が現在のところ森林総合研究所林木育種センター北海道育種場が選抜した10個体と合わせ合計28個体に留まっています。今後、新たな第1世代精英樹の選抜を行い、遺伝資源を充実させる必要もあります。

グイマツ遺伝試験林からの第2世代精英樹の選抜

グイマツ雑種F₁も含め多くの種で最初の雑種「F₁」世代同士を交配させた「F₂」世代は、最初の親の特徴(欠点)を持つ個体が増え形質が不安定になり、「F₁」世代同士を交配させて苗を生産することはできません。そのため第2世代精英樹も「F₁」の中から選ぶのではなく、第1世代精英樹のグイマツ同士をかけあわせた子供たち、そして第一世代精英樹のカラマツ同士をかけあわせた子供たちそれぞれから選ぶことになります。ここに雑種を利用して育種を進めていく上での特殊性があります。

グイマツの第2世代精英樹の選抜は、1993年に造成したグイマツ遺伝試験林で林齢18年生時に行いました。対象となったのはグイマツ第1世代精英樹母親11クローン、父親6クローン(母親と父親のクローンの重なりはない)をかけ合わせた44家系(兄弟群)721本です(表-1)。評価項目は15年生

時の樹高と胸高直径，16年生の幹曲り，17年生のヤング係数の4つの形質です（表-2）。ヤング係数は，1.9mmのピンを一定の力で幹の表面から打ち込み，刺さった深さ（ピロディン陥入量）から推定しています。

実際の選抜では，まず，総合的に優れた個体を選抜することを目的とし，解析から選抜の改良効果が高いことが分かった矢高（幹曲り）とヤング係数の総合順位が上位10%（上位72個体）の個体を選びました。また，一芸に秀でた遺伝子を拾い上げ，優良品種の開発に利用することを目的とし，単一形質（ヤング係数，矢高，樹高，胸高直径）の順位が上位3%（上位21個体）の個体も選抜対象としました。最終的には，評価対象とならなかった形質に欠点がないか現地で確認し，交配親の数が多くなるように，そして特定の兄弟の数が多ならないように選抜するという手順で行いました。

順位を求めるために用いた値は，測定値そのものではなく育種価という値です。試験地の測定値には，遺伝的效果のほか，植栽した場所が他の家系や個体に比べてたまたま良い条件であったなどの環境の効果が加わっています。育種価とは，統計的手法を駆使し遺伝的效果のみを取り出し，次世代にどれだけの改良効果が見込めるかを示した値です。

表-3 ギイマツ遺伝試験林（三笠市）における第2世代ギイマツ精英樹候補木一覧

第2世代精英樹 系統名	種子親	花粉親	試験地		選抜形質
			反復	立木番号	
ギイマツ北海道2-11	豊岡180	豊岡111	6	6	矢高
ギイマツ北海道2-12	豊岡180	豊岡111	4	8	矢高
ギイマツ北海道2-13	豊岡180	樺岡168	8	5	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-14	豊岡180	樺岡168	8	9	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-15	豊岡180	鹿追3	1	7	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-16	V545	豊岡111	1	4	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-17	V545	豊岡111	15	6	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-18	V545	札幌1	6	8	ヤング
ギイマツ北海道2-19	V545	札幌1	4	4	胸高直径
ギイマツ北海道2-20	V545	樺岡502	2	5	樹高
ギイマツ北海道2-21	V545	鹿追3	1	6	ヤング
ギイマツ北海道2-22	留辺薬5	樺岡168	1	6	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-23	留辺薬24	札幌1	9	7	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-24	留辺薬24	樺岡168	2	9	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-25	留辺薬24	樺岡168	8	4	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-26	留辺薬24	樺岡502	2	8	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-27	留辺薬32	豊岡111	1	5	ヤング+矢高
ギイマツ北海道2-28	留辺薬32	豊岡111	1	7	ヤング+矢高

現地での選抜の結果，18個体を選抜しました（表-3）。選抜個体の親の数は10クローン（母親5クローン，父親5クローン）でした。試験地全体の平均値がヤング係数7.21GPa，矢高3.28%，樹高10.51m，胸高直径13.43cmであったのに対して，選抜個体の測定値と育種価の平均はそれぞれヤング係数が8.20GPaと7.61GPa，矢高が2.28%と2.72%（値が小さい方が利用上優れている），樹高が10.85mと10.53m，胸高直径が13.19cmと13.43cmでした（表-4）。選抜の結果として次世代に伝えられる値は育種価であり， $(\text{育種価} - \text{試験地平均値}) / \text{試験地平均値}$ で推定される改良効果はヤング係数，矢高，樹高，胸高直径で，それぞれ5.5%，17.2%，0.1%，0%で，ヤング係数と矢高に顕著な改良効果がありました。選抜個体の育種価の平均と試験地平均値の差が，選抜個体の測定値のそれより

小さくなるのは、遺伝的効果のみ取り出していることが理由です。

今回のグイマツ第2世代精英樹の選抜では材質（ヤング係数、幹の通直性）に高い改良効果がありました。別の試験地の解析から成長量は父親であるカラマツから遺伝する割合が高いという結果が出ており、カラマツの第2世代精英樹を選抜することでグイマツ雑種F₁の成長量の改良を進めることができると期待されます。現在、カラマツの第2世代精英樹の選抜についても検討を進めています。

表-4 グイマツ遺伝試験林（三笠市）における第2世代グイマツ精英樹候補木の実測値と育種価

第2世代精英樹 系統名	ヤング(GPa)		矢高(%)		樹高(m)		胸高直径(cm)		選抜形質
	実測値	育種 価	実測値	育種 価	実測値	育種 価	実測値	育種 価	
グイマツ北海道2-11	7.73	7.23	1.20	1.21	11.10	10.53	11.80	13.40	矢高
グイマツ北海道2-12	7.47	7.13	2.10	1.43	10.20	10.52	10.70	13.40	矢高
グイマツ北海道2-13	8.27	7.56	2.50	2.08	12.60	10.53	15.20	13.43	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-14	8.94	7.82	2.50	2.08	12.30	10.53	15.00	13.43	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-15	7.62	7.26	1.00	1.91	12.00	10.53	17.00	13.42	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-16	8.24	7.80	1.80	2.88	10.40	10.52	11.80	13.42	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-17	8.34	7.76	1.30	2.76	10.80	10.52	11.60	13.42	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-18	9.05	7.98	5.00	4.56	10.30	10.54	13.90	13.46	ヤング
グイマツ北海道2-19	7.58	7.41	1.20	3.63	11.10	10.55	14.80	13.46	胸高直径
グイマツ北海道2-20	7.34	7.44	2.50	3.40	12.20	10.56	15.00	13.45	樹高
グイマツ北海道2-21	9.36	8.13	4.00	4.17	9.60	10.51	10.60	13.43	ヤング
グイマツ北海道2-22	7.76	7.53	1.60	2.74	10.00	10.51	10.60	13.43	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-23	8.54	7.71	1.80	3.01	9.80	10.52	12.00	13.43	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-24	8.08	7.61	2.00	2.53	11.40	10.53	13.50	13.43	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-25	8.91	7.86	2.20	2.67	11.10	10.52	14.40	13.44	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-26	7.77	7.38	1.90	2.40	12.00	10.55	14.30	13.43	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-27	7.82	7.53	3.00	2.68	9.70	10.50	14.20	13.41	ヤング+矢高
グイマツ北海道2-28	8.75	7.89	3.50	2.80	8.70	10.49	11.00	13.40	ヤング+矢高
候補木の平均	8.20	7.61	2.28	2.72	10.85	10.53	13.19	13.43	
試験地の平均値と	7.21		3.28		10.51		13.43		
標準偏差（下段）	(0.76)		(1.85)		(1.20)		(2.24)		

引用文献

井出雄二・白石進（編）（2012） 森林遺伝育種学，文永堂出版，東京
 北海道林木育種協会（編）（1997） 北海道の森づくりと林木育種，北海道林木育種協会，江別市
 White TL, Adamas WT, Neale DB (2007) Forest genetics. CABI Publishing, Oxfordshire

（森林資源部経営グループ）