

根釧地域におけるトドマツ第二世代精英樹の選抜

石塚 航・今 博計・来田和人

はじめに

より良い林をつくり、より良い林業を進めるためには、どんな木を植えるかが重要な検討事項になります。それには、たとえばトドマツか、カラマツ類か（本州ならばスギ・ヒノキなど）といった植栽樹種の選別に加え、同じ樹種を植える場合でも、どんな親木由来の苗木かといった種苗の選別が挙げられます。親の形質は子供へと遺伝するため、一般に、より優れた形質を持つ親からは優れた形質を示す子供が生まれると期待できます。したがって、成長が良い、病気に強いなど、優れた有用形質を示す（正確には、優れた遺伝子型を持つ）親木由来の苗木を植栽することは、より良い林づくりに貢献すると考えられます。このような考えのもと、過去50年以上にわたって林木育種事業が進められ、全国の様々な樹種を対象に、遺伝的に優れた個体を「精英樹」として選抜し、系統の管理がなされてきました。

そして現在、さらに遺伝的な改良を図るべく、検定林（形質等の評価用に造成された林）に植栽された精英樹の子供の中からさらに遺伝的に優れた個体を選抜するという取り組みが実施されています。これは、精英樹の次世代、すなわち第二世代における精英樹選抜であることから、「第二世代精英樹」選抜と呼ばれ、これまでよりも遺伝的改良を効率的に行うことができると考えられています*1。

本報告では、北海道の主要造林樹種であるトドマツについて、林業試験場で実施した第二世代精英樹選抜の取り組みを紹介します。

トドマツ第二世代精英樹の選抜にあたって

トドマツは日本では北海道にのみ自生する北方樹種です。道内全域の人工林に広く植栽され、通直なその材は建築材などに用いられています。これまでに、精英樹として指定された個体は782系統あり、全道に造成された精英樹検定林において、成長や材質の優劣といった精英樹の評価が進められてきました。その中で、トドマツの遺伝的変異は大きく、とくに自生する地域の気候環境とよく対応した遺伝的変異があるため、精英樹選抜地域と離れた地域への植栽は適さないことがわかってきました。このようなトドマツの地域変異の実態を鑑み、北海道におけるトドマツの育種区は道東、中部、西南の3育種区に区分されています。また、道有林の所管する採種園はさらに、根釧（釧路、根室）、道東（十勝、オホーツク）、日高・函館（渡島、胆振、日高）、道央（上川、宗谷、留萌）、道西南（空知、石狩、後志、檜山）の5地域区分を設け、それぞれの地域向けの種子を生産しています。

そのため、トドマツ第二世代精英樹を選抜する際には、単純にある検定林において成績の良い個体を選ぶのではなく、“植栽したい地域において”良い成績を示すか、という観点で個体を選抜する必要があります。つまり、各地域で造成した精英樹検定林それぞれで、その地域向けの種苗用の精英樹を選抜していく作業が必要です。このような方針にのっとり、道東、日高・函館、道央、道西南地域に関しては、林業試験場が森林総合研究所林木育種センター北海道育種場と協力し、第二世代精英樹候補木の選抜を進めてきました*2。今回、まだ選抜が実施されていない根釧地域を対象として、トドマツ第二世代精英樹の選抜を行うこととしました。

注釈 ※1；ただし、これまでの精英樹選抜では、検定林で精英樹の子の形質を調べ、子の優劣を評価基準として母親を選抜するという「母樹選抜」を行いました。第二世代精英樹選抜では、調べた中から優良な子そのものを精英樹として選抜するという「個体選抜」を行い、選抜方法には違いがあります。

精英樹候補木の評価と選抜

根釧地域におけるトドマツの第二世代精英樹選抜は、厚岸町に設定されたトドマツ検定林「A-38」にて行いました。気象庁データによると厚岸町は年平均気温が5.3℃とやや低く、最大積雪深が平均46cmと寡雪な地域です。対象とした検定林は1980年に設定され、全道各地で選抜された第一世代精英樹の次世代が1反復内に30本、計3反復植栽されています^{※3}。表-1に調査対象とした精英樹の系統一覧を示しました。選抜候補は47系統（以降、家系と呼びます）にのぼり、全道各地域に由来しています。検定林調査は植栽後35年が経過した2014年秋に、47家系の次世代700個体を対象として行いました。

第二世代精英樹選抜にあたっては、成長に加えて材質についても遺伝的改良を試みることにしました。トドマツには心材の生材含水率が高い「水食い」がしばしば認められ、製材時の乾燥など利用上の課題とされていますが、若齢時での評価が困難な形質であるため、遺伝的改良の取り組みは後回しにされています。そこで、成長に関しては材積を、材質に関しては、材の容積密度（比重）と水食いに深く関連する心材生材含水率の2つを選抜の対象形質としました。さらに、将来の健全なトドマツ人工林育成のため、生物害・気象害を含む諸被害抵抗性、遺伝的多様性についても評価を行い、選抜項目に加えることにしました。これによって、根釧地域に適した遺伝的特性を有するトドマツ第二世代精英樹候補木を選抜することを目指しました。図-1に、今回の選抜のフローをまとめました。

まず、検定林での測定データをもとに選抜対象形質の評価を行います。「材積」には、胸高直径（DBH）と樹高から算出した個体の幹材積（m³）を用いました。材質の対象形質の1つである材の容積密度には、「材密度指標」としてピロディン陥入深を、もう1つの心材生材含水率には、「材含水率指標」として

表-1 検定林（A-38，厚岸町，1980年造成）に植栽された精英樹の系統一覧

	精英樹	由来地域		精英樹	由来地域		精英樹	由来地域
1	厚岸 101	根釧	17	池田 102	東部	33	浦河 6	日高・函館
2	厚岸 107	根釧	18	池田 111	東部	34	浦河 8	日高・函館
3	厚岸 110	根釧	19	池田 116	東部	35	浦河 103	日高・函館
4	厚岸 115	根釧	20	池田 117	東部	36	浦河 106	日高・函館
5	厚岸 116	根釧	21	浦幌 101	東部	37	興部 1	道央
6	厚岸 117	根釧	22	北見 1	東部	38	興部 3	道央
7	厚岸 119	根釧	23	北見 5	東部	39	興部 4	道央
8	厚岸 121	根釧	24	北見 6	東部	40	名寄 8	道央
9	厚岸 123	根釧	25	北見 7	東部	41	名寄 11	道央
10	厚岸 125	根釧	26	北見 105	東部	42	美深 8	道央
11	池田 20	東部	27	北見 107	東部	43	美深 9	道央
12	池田 29	東部	28	北見 110	東部	44	苫小牧 101	西部
13	池田 33	東部	29	浦河 1	日高・函館	45	苫小牧 106	西部
14	池田 34	東部	30	浦河 3	日高・函館	46	岩見沢 101	西部
15	池田 38	東部	31	浦河 4	日高・函館	47	留萌 2	西部
16	池田 40	東部	32	浦河 5	日高・函館			

注釈 ※2；森林総合研究所林木育種センター 平成23年版年報，平成24年版年報，平成25年版年報にて選抜結果が公開されています（web上で閲覧可能）。

※3；検定林の植栽木は第一世代精英樹の自然交配種子に由来します。そのため、母親は精英樹そのもの、父親（花粉親）は精英樹選抜林分内のトドマツと見られますが特定はできない、という特徴も有しています。

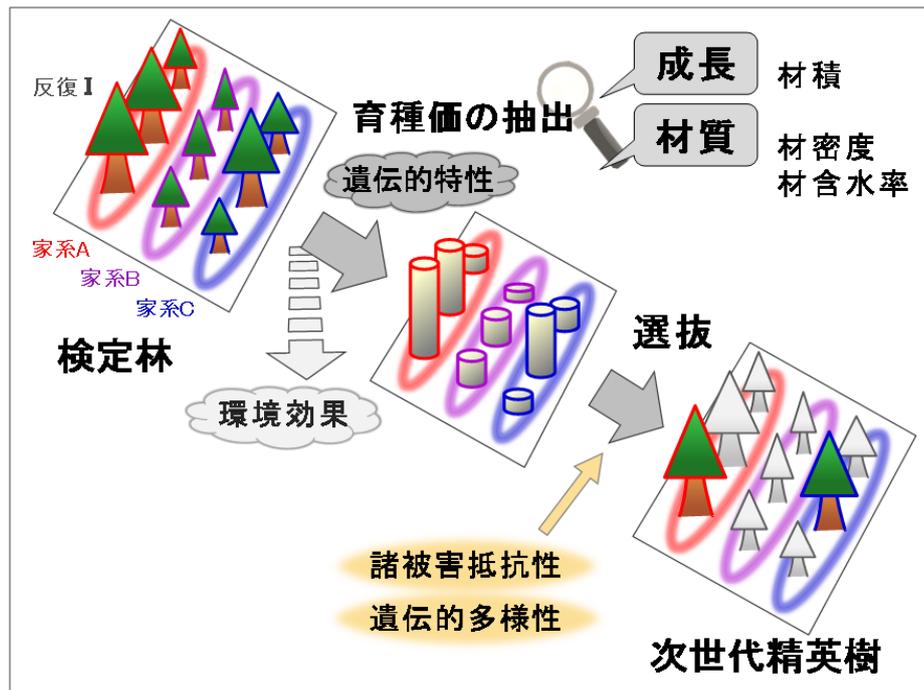


図-1 第二世代精英樹選抜のフロー

df 値（横打撃共振周波数 (f) と胸高直径の積）を用いました。これらの指標は木材試験機（ピロディン Forest 6J, 富士テック社）、加速度分析器（FFT アナライザー SA-78, リオン社）によって非破壊的に得ることができます。材密度指標が大きかったり、材含水率指標が小さかったりする個体は、材が柔らかい、もしくは水食い材の懸念がありますので、こういった個体を選抜しないようにする必要があります。表-2には、それぞれの選抜対象形質についてまとめた値を載せました。

これらの値は、遺伝的特性、すなわち遺伝子型の効果のほか、どの反復、どの位置に植栽されていたかといった、植栽環境に由来する効果によっても変動することが知られています。そこで、成長と材質に関する遺伝的特性を正確に評価するために、遺伝子型以外の影響を取り除いた「育種価」を抽出しました（表-2）。育種価は、次世代に伝わる遺伝子型の効果によって、次世代の形質値が現在の集団平均からどれだけ変わるかを表す期待値で、統計学的手法に基づいて推定されます。育種価の大きな個体は遺伝的に優れた形質を有していることを示しています。なお、育種価の推定にあたり、各形質の遺伝率も同時に計算することができます。遺伝率とは、次世代の形質値がどれだけ親世代の遺伝子型で説明できるかを表した値で、遺伝率が大きいほどその形質が遺伝しやすく、環境の影響を受けにくいことを意味します。材積、材密度指標、材含水率指標の遺伝率はそれぞれ 39.9%、62.5%、31.4%でした。

表-2 精英樹選抜の対象とした3形質の要約統計量と育種価（カッコ内）

対象	選抜対象形質	個体数	平均	標準偏差	最小値	最大値
成長	材積 (m^3)	697	0.36	0.14	0.06	0.96
			(0.0032)	(0.0585)	(-0.1234)	(0.2884)
材質	材密度指標	699	25.0	2.41	17.8	32.5
	ピロディン陥入深 (mm)		(-0.0324)	(1.5043)	(-4.675)	(4.723)
材質	材含水率指標	685	24.3	2.60	14.8	37.7
	df 値 ($cm \cdot kHz$)		(-0.0081)	(0.8831)	(-3.076)	(4.244)

材含水率指標がおよそ 18 を下回る場合には水食い材が懸念されると指摘されている。なお、欠損値を除いて解析したため、個体数は調査数の 700 には満たない。



写真－1 現地での選木の様子

左右の写真ともに、画面中央のトドマツが第二世代精英樹の候補木。現地にて諸被害の有無や幹曲がり等を確認している。矢野慶介氏（森林総合研究所林木育種センター）提供。

続いて、育種価をもとに第一段階の選抜を実施します（図－1）。これまでに行われてきた選抜実施要領に則って、育種価で材積が特性値4以上（平均 $+0.5 \times$ 標準偏差以上）、もしくは平均の1.4倍以上、また、材密度指標、材含水率指標が特性値3以上（平均以上）という選抜基準を設定しました。3形質すべての選抜基準を満たす個体を抽出することで、成長に優れ、かつ、材質に欠点のない個体を第一段階の選抜で残しました。

第二段階の選抜では、病徴や腐り、エゾシカ等の獣害、雪害、凍裂といった諸被害や幹曲がりを実地で確認し（写真－1）、評価項目中1つでも引かなかった個体を不合格とします。これによって、根釧地域へ植栽しても健全に成長することができる個体を抽出しました。さらに、選抜の第三段階として、家系の重複を考慮しました。選抜される精英樹が同じ家系の子供ばかりで構成されてしまうと、遺伝的な偏りによる遺伝的多様性の低下が懸念されます。そこで、選抜される精英樹の遺伝的多様性を十分に保つことができるよう、選抜数の上限値を設け、家系あたり3個体としました。選抜の際には、育種価を総合的に見た上で家系内の不合格個体を決めました（家系の重複を考慮すると、選抜例を示した図－1に示されるように、反復Iの家系Aにおいて2番目に優良な個体が選抜されない場合も生じます）。

選抜結果

三段階の選抜を経て、計45個体を第二世代精英樹候補木として選抜することができました。これは全測定個体の6%強にあたります。全候補木の系統名、母親、形質のリストは表－3の通りで、候補木には第二世代精英樹系統名を付与しました。ちなみに、選抜の第一段階では58個体が候補として残ったものの、うち13個体が続く選抜で不合格となりました。第二世代精英樹候補木は総じて、優れた材積成長を示し、材密度指標や材含水率指標において劣ることなく、また、雪害や虫害、獣害といった諸被害がみられないとまとめられます。したがって、今回、根釧地域での生育に適した遺伝的特性を有する次世代を選抜することができたといえるでしょう。

表-3 選抜されたトドマツ第二世代精英樹候補木の測定値ならびに育種価

	第二世代精英樹 系統名	親精英樹 (家系)		材積		材密度指標		材含水率指標			
		DBH	H	測定値	育種価	測定値	育種価	測定値	育種価		
1	トドマツ優良木-53	池田	34	30.2	16.8	0.539	0.10	21.63	1.36	26.27	0.27
2	トドマツ優良木-54	池田	33	28.7	15.9	0.459	0.08	24.25	0.17	24.11	0.06
3	トドマツ優良木-55	池田	33	26.3	15.8	0.388	0.05	22.50	1.29	25.51	0.44
4	トドマツ優良木-56	池田	29	29.0	17.6	0.527	0.07	23.25	0.75	25.52	0.54
5	トドマツ優良木-57	池田	20	31.5	18.8	0.667	0.13	22.38	1.45	24.57	-0.42
6	トドマツ優良木-58	池田	20	30.1	16.9	0.539	0.07	22.13	1.86	27.99	0.53
7	トドマツ優良木-59	厚岸	110	33.5	18.2	0.723	0.16	24.50	-0.07	25.46	0.43
8	トドマツ優良木-60	厚岸	110	30.5	17.2	0.566	0.09	22.13	1.42	26.54	0.71
9	トドマツ優良木-61	厚岸	115	33.1	18.4	0.715	0.19	24.38	-0.38	24.83	-0.07
10	トドマツ優良木-62	厚岸	116	30.6	18.3	0.611	0.10	24.00	0.05	25.09	0.09
11	トドマツ優良木-63	厚岸	117	29.1	18.6	0.566	0.12	23.63	0.32	24.44	-0.15
12	トドマツ優良木-64	厚岸	119	28.8	16.8	0.493	0.06	23.13	1.00	25.34	0.52
13	トドマツ優良木-65	厚岸	119	29.1	17.6	0.531	0.08	23.38	0.81	27.65	1.15
14	トドマツ優良木-66	厚岸	123	30.6	16.6	0.547	0.10	22.75	1.05	26.01	1.17
15	トドマツ優良木-67	厚岸	123	29.1	16.5	0.492	0.08	23.13	0.86	24.74	0.82
16	トドマツ優良木-68	厚岸	101	29.5	18.0	0.559	0.06	24.38	0.47	24.49	0.10
17	トドマツ優良木-69	厚岸	110	29.3	19.8	0.617	0.09	22.38	1.60	24.32	0.13
18	トドマツ優良木-70	厚岸	117	29.7	18.4	0.581	0.07	24.50	0.45	25.25	-0.24
19	トドマツ優良木-71	厚岸	119	30.6	18.6	0.623	0.10	20.88	2.72	25.40	0.59
20	トドマツ優良木-72	厚岸	123	30.1	18.4	0.595	0.09	23.25	0.67	25.89	1.15
21	トドマツ優良木-73	厚岸	125	29.4	18.9	0.588	0.06	23.13	1.40	25.87	0.37
22	トドマツ優良木-74	厚岸	125	30.4	17.9	0.588	0.06	21.25	2.52	25.23	0.18
23	トドマツ優良木-75	浦河	4	30.7	16.4	0.543	0.09	23.88	0.55	25.48	0.59
24	トドマツ優良木-76	浦河	103	27.4	18.1	0.490	0.06	24.38	0.27	23.56	0.32
25	トドマツ優良木-77	浦河	103	34.3	19.2	0.800	0.19	24.50	0.21	27.10	1.27
26	トドマツ優良木-78	美深	9	31.7	18.0	0.644	0.09	22.38	2.32	28.21	0.99
27	トドマツ優良木-79	名寄	11	32.5	16.2	0.602	0.11	24.88	-0.35	24.38	-0.39
28	トドマツ優良木-80	北見	105	28.6	18.4	0.541	0.06	24.13	0.18	25.45	0.40
29	トドマツ優良木-81	池田	20	25.4	18.7	0.443	0.04	20.38	3.38	28.45	0.54
30	トドマツ優良木-82	池田	29	29.6	18.0	0.562	0.08	24.63	0.73	26.64	0.88
31	トドマツ優良木-83	池田	33	27.1	17.8	0.471	0.07	25.50	0.13	27.10	0.97
32	トドマツ優良木-84	厚岸	101	25.5	16.5	0.385	0.06	24.75	0.46	24.23	0.07
33	トドマツ優良木-85	厚岸	115	32.1	15.8	0.572	0.13	24.25	0.38	27.29	0.45
34	トドマツ優良木-86	厚岸	125	27.1	16.8	0.441	0.04	20.63	3.44	27.64	0.83
35	トドマツ優良木-87	厚岸	117	27.4	17.1	0.459	0.07	24.00	0.64	27.67	0.43
36	トドマツ優良木-88	浦河	1	27.9	14.2	0.382	0.05	22.13	2.55	26.51	0.82
37	トドマツ優良木-89	美深	8	27.0	16.8	0.438	0.07	23.38	1.19	27.81	1.07
38	トドマツ優良木-90	美深	8	26.2	16.0	0.391	0.05	21.50	2.37	24.10	0.06
39	トドマツ優良木-91	美深	9	26.5	17.7	0.449	0.07	24.38	0.57	25.71	0.05
40	トドマツ優良木-92	浦河	5	29.0	18.9	0.573	0.05	23.25	1.04	24.36	-0.43
41	トドマツ優良木-93	浦河	4	25.6	18.4	0.441	0.04	22.00	1.50	28.67	1.40
42	トドマツ優良木-94	浦河	4	30.1	18.3	0.592	0.09	23.63	0.73	24.08	0.13
43	トドマツ優良木-95	浦河	1	32.1	18.5	0.680	0.10	23.88	0.70	26.96	0.98
44	トドマツ優良木-96	浦河	106	29.4	18.2	0.562	0.07	17.75	4.72	25.28	0.37
45	トドマツ優良木-97	浦河	106	30.9	19.1	0.654	0.11	24.63	0.50	25.96	0.56

また、これら候補木は評価対象とした家系の約半分にあたる 21 家系から選抜されていました。家系の由来地域ごとに、候補木の選抜個体数、構成家系数を集計すると、選抜のされやすさには由来地域による違いがあるようです（表-4）。今回の選抜では家系内の選抜数に上限を設け、候補木の遺伝的多様性についても配慮しましたが、それでもなお、検定林がある根釧地域、すなわち“地元”地域からより多くの家系が選抜され、同時により多くの第二世代精英樹候補木を産出していたことがわかりました。

選抜によって期待される改良効果は、材積で 23.7%、材密度指標で 4.4%、材含水率指標で 1.9%と算出されました。改良効果とは、選抜木の生産する種苗によってつくられた林が、選抜前の親世代の生産する種苗によってつくられた林と比べてどれだけ優れているかを表す指標です。改良効果は、選抜個体の育種価の平均を、今回調査した検定林の形質値の平均と比べることで算出することができます。今回、材質 2 形質（材密度指標、材含水率指標）よりも材積の選抜基準のほうが厳しく、成長に特化した選抜だったため、材積の改良効果が一番高いのは当然なのですが、次世代の材積が現在の 1.2 倍以上と見込まれる結果からは、選抜の効果が明瞭であったことがわかりました。根釧地域の気候は北海道内でも特徴的で、寡雪な冬期、日照が少なく低温な夏期を有します。このような地域に適した種苗を用いた造林がいかに重要か、それを示している値ともいえるでしょう。また同時に、材質 2 形質でもある程度の改良が見込まれることを示すことができました。両形質の遺伝率が高かったこともあり、改良効果は決して低くない値といえるでしょう。

選木された候補木は、DNA 鑑定を済ませ、認可に至ればトドマツ第二世代精英樹として登録されます。より良い種苗を実際に根釧地域へと流通させるためには、続いて、これら精英樹を増殖し、採種園へ植栽して親木として育成しなければいけません。通常長い時間がかかるこれらの工程をなるべく短くすべく、林業試験場と森林総合研究所林木育種センター北海道育種場とで連携してすでに増殖に取りかかっているところです。選び抜かれたトドマツの種苗が根釧地域へと植栽される日が待ち遠しいです。

表-4 母親家系（親精英樹）の由来地域ごとの集計

	根釧	東部	日高・函館	道央	道西南
選抜個体数	20	10	10	5	0
選抜個体の構成家系数 (構成家系割合, %)	(80)	(28)	(63)	(43)	(0)
家系あたり選抜数	2.5	2.0	2.0	1.7	0

構成家系割合は、選抜個体の構成家系数を各地域の家系全数で割って算出した。

謝辞

現地調査にあたり、釧路総合振興局森林室森林整備課にご協力いただきました。解析、選木、採穂に際しては、森林総合研究所林木育種センターの田村氏、矢野氏、西岡氏、上田氏にご協力いただきました。謝意を表します。

参照情報（さらに詳しく知りたい方へ）

解説記事；石塚航，精英樹選抜に向けた形質の測定と評価，

<http://sites.google.com/site/ishizukawebsite/home/archive/plustree> (2015 年 7 月 7 日) .

測定、選抜データ（アーカイブ）；Ishizuka Wataru (2015) Selection for 2nd generation plus tree in *Abies sachalinensis* in eastern Hokkaido, Japan. Zenodo, DOI: 10.5281/zenodo.19394

(<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.19394>, 2015 年 7 月 7 日) .

(森林資源部経営グループ)