

アカシアマンギュウムの二世代にわたる選抜育種の成果 —インドネシア林木育種プロジェクトにおける事例—

1. はじめに

インドネシアでは、1992年から2004年までの13年間にわたりJICA（国際協力機構）による林木育種の技術協力プロジェクトが実施された。この技術協力の内容や成果については、本誌56号に網羅的な紹介をしているので（栗延2003），ここでは、その林木育種プロジェクトにおいて重点的に取り組んだアカシアマンギュウム(*Acacia mangium*)を対象とした選抜育種に焦点をあてて、これまでの経過と最近の成果について報告する。

2. インドネシアにおけるアカシアマンギュウムの選抜育種

インドネシアの林木育種プロジェクトにおいてアカシアマンギュウムを対象樹種として選定したのは、広い適応性と旺盛な成長、そして比較的密度の高い材質等、産業造林用の樹種としての適性を有しながら、このプロジェクト発足当時、同国では未だ本格的な林木育種の取り組みが始められていなかったためである。また、この林木育種プロジェクト自体が、当時始まつばかりの産業造林を支援して、その成果を高めるために遺伝的に優れた種子を確保し供給すること目的として発足した経緯からすれば、アカシアマンギュウムを育種対象樹種に選定したことは、いわば当然の帰結であったとも言える。

このプロジェクトにおけるアカシアマンギュウムの育種に関する技術的な特徴は、①優良産地の種子を海外から調達したこと、②実生採種林を中心に据えた育種手法を用いたこと、③産地毎に実生採種林を造成して選抜と交配を繰返すサブライン方式を採用したことの3点である。それぞれの特徴について以下に簡単に説明する。

新たに導入する樹種を対象に林木育種を始める際には、一般に産地試験を先行させて、その地域に適応する産地系統を選択することから開始とする。しかし、アカシアマンギュウムについては、CSIROが行った国際的な産地試験の結果が明らかにされていたので(Harwood and Williams 1991)，このプロジェクトでは、その結果をもとにして、

Susumu Kurinobu : Overseas Forest Tree Breeding and Genetic Resources (4)
Genetic Gains Achieved by the Two Generations of Breeding for *Acacia mangium* in Indonesia.

(独)林木育種センター、元JICA林木育種計画フェーズⅡチーフアドバイザー

パプアニューギニアやオーストラリアの北クイーンズランドの有望な産地の種子を調達することとした。もう一つの選択肢としては、既に導入されてその土地に適応した集団から、プラス木を選抜して種子源を造成する方法が考えられる。インドネシアでは、スマトラに1980年代の後半に造林されたアカシアマンギュウムの人工林に対してこの方法が適用された。しかし、この集団は南クイーンズランドの少数の親から成る産地に偏っていたため、4に述べるように期待されたほどの成果は得られなかった。

実生採種林を中心に据えた育種法を用いたのは、熱帯産早生樹の栄養繁殖技術が確立していなかったので、クローン採種園の造成が危ぶまれたためである。この育種法では、実生採種林において間伐による淘汰を行い、選抜された個体から成る集団を種子生産に用いる。同時に、その中からプラス木を選抜して、その自然受粉種子を用いて次世代の実生採種林の造成を繰り返す(図1)。この方法は米国フロリダにおけるユーカリの成功によって知られるようになり、熱帯産早生樹の育種法として各国で広く用いられ始めていた(Franklin 1989)。本法では、世代毎の遺伝獲得量ではクローン採種園のそれに及ばないものの、着花・結実年齢の早い熱帯産早生樹では、比較的短期間に世代回転が可能であるため、選抜効果を累積することによって育種の成果を高めることができる利点がある。

このプロジェクトでは、産地毎に実生採種林を造成して選抜と交配を繰返すサブライン方式を用いました。これは、同じ産地の個体の開花時期は類似するので、採種林内により理想に近い自然交配が期待できることやそれぞれの産地の特徴を維持しながら改良を進めることができるためである。このサブライン方式は、育種集団全体の遺伝的な多様性を維持しながら同時に選抜の効果も高めることを目的として、米国東部のマツの育種に用いられた(van Buijtenen 1976)。米国のマツの事例では、数百のプラス木を単に数十本のプラス木のグループに分けただけであるが、アカシアマンギュウムの場合はパ

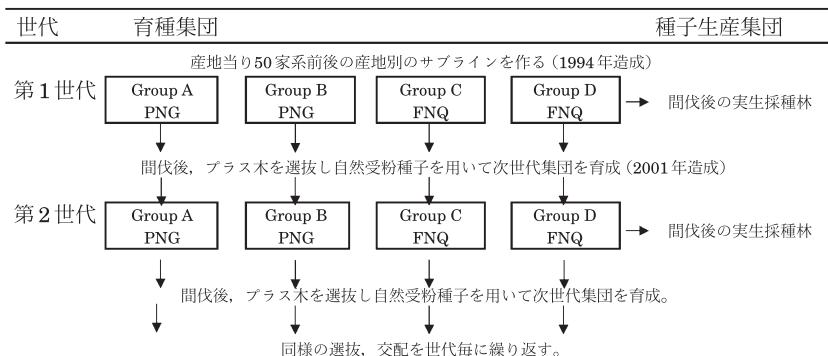


図1 実生採種林を用いた育種計画

注) それぞれの枠で囲んだサブライン(育種分集団)毎に選抜と交配を世代毎に繰り返す。

◎熱帯林業講座◎

パニアニューギニア (PNG) と北クイーンズランド (FNQ) のそれぞれ 2 集団に分けた計 4 集団から成るサブラインとした (図 1)。

3. 実生採種林における間伐と次世代実生採種林の造成

実生採種林では、家系別に植栽された個体を生育段階に応じて淘汰・間伐して、優良な家系の優れた個体だけを残し、これらの個体から種子を生産する (表 1)。インドネシアのプロジェクトでは 1994 年に実生採種林を設定し、植栽後 2 年目と 5 年目にプロット内の淘汰を行いプロット当たり 1 本の状態にした。この段階で、残された個体の周囲の血縁関係を持つ個体が除かれるので近親交配の確率は低くなり、健全な種子の生産が可能になる。また、この時期まで定期的に調査を行って、家系別の良し悪しを判断するためのデータを収集した。その調査結果をもとに、一部の実生採種林では 6 年目頃に下位 30% 程度の家系に属する個体を除去する家系間選抜を行った。

第 2 世代の実生採種林は、前述した第 1 世代の実生採種林の採種木の中から表現型の優れたプラス木を選抜し、それらの自然受粉種子を得た家系別の苗を用いて造成する。インドネシアのプロジェクトでは、第 1 世代の実生採種林が 5 年生に達した時点でプラス木を選抜し、2 年間かけて種子を採取して 2001 年から 2002 年に第 2 世代の実生採種林を造成した (図 2)。

プラス木は、先に述べた 4 つのグループ毎に 50 本程度を目標にして、個体の表現型とその個体が属する家系の成績に基づいて選抜した。具体的には、それまでの調査データを用いて予め候補木を選定しておき、それらの個体を現地で確認してプラス木を決定した。また、第 2 世代の採種林における近親交配を軽減するために、プラス木は家系当たり 2 本を上限とした。

第 1 世代の実生採種林 4 箇所から合計 229 本のプラス木を選抜し、このうち 120 本余りから自然受粉種子を採取して第 2 世代の採種林の造成に用いました。プラス木の選抜率は植え付け時の本数と比較して約 2.5%，花粉親となる採種木の選抜率は 15% 程度であった。当初造成した採種林のいくつかが、プラス木の選抜・採種までに焼失・放棄さ

表 1 アカシアマンギュウムの実生採種林における標準的な施業

林齢	間伐の種類	作業の内容	間伐率	備考
1	設定 (植付け)	50 家系をプロット当たり 4 本植栽で 10 反復		植栽間隔は 2 m × 4 m (1,250 本/ha)
2	第 1 回目間伐 (プロット内)	プロット当たり 2 本を間伐して 2 本を残す	50%	4 年目まで検定林として調査
4	第 2 回目間伐 (プロット内)	プロット当たり最も優れた 1 本を残す	50% (25%)	種子生産開始 プラス木選抜
6	第 3 回目間伐 (家系間)	上位 50% の家系を残す (他の家系は除去)	50% (12.5%)	プラス木自然受粉種子採取

注) 間伐率のカッコ内の数値は、植栽本数に対する残存率 (%)。

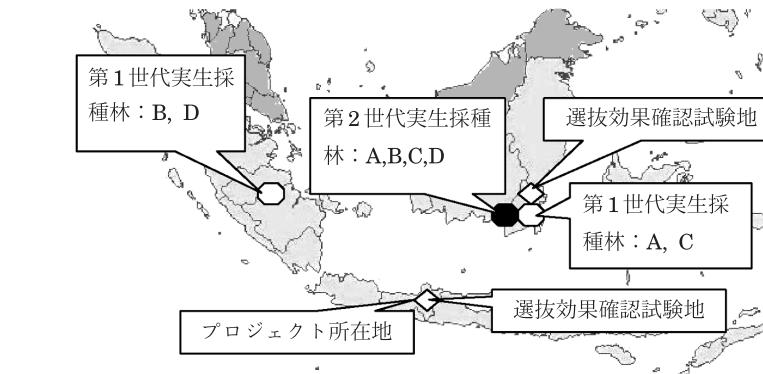


図 2 インドネシア林木育種プロジェクトで設定した実生採種林並びに選抜効果確認試験地



写真 1 中部ジャワに設定した3年目の選抜効果確認試験地（撮影：Budi Leksono, 2004）

クトでは、林木育種の成果を確かめる目的で、改良された集団と改良以前の系統とを同じ条件で比較する選抜効果確認試験地（Genetic gain trial）を国内の3箇所に設定した（図2）。この試験地には、2に述べた4箇所の第1世代の実生採種林から生産された改良種子とこれまでアカシアマンギュウムの人工林造成に広く用いられてきた地元産由来の3系統を比較的大きなプロット（10列×10行）に乱塊法の試験設計（4反復）で植栽し、林分としての生産性の違いを実証的に明らかにすることを目的とした（写真1）。

2箇所の選抜効果確認試験地における3年目の結果から、いずれの場所でも林木育種プロジェクトが造成した採種林産系統が地元産系統を成長および形態の両面で上回っていることを確認した（表2）。樹高や胸高直径では10～15%の差が認められており、この

れたため、第2世代の造成に用いることができる種子を確保したプラス木の家系数は予定量の6割程度にとどまった。第2世代の集団の大きさが縮小するのは、選抜効果の持続性和遺伝的な多様性を維持する上で好ましくないので、各グループについて同じ地域の30前後の家系を新たに追加して第2世代の採種林を造成した。

4. 選抜効果確認試験地における 産地導入の効果

インドネシアの林木育種プロジェ

◎熱帯林業講座◎

表 2 選抜効果確認試験地における導入系統と地元産系統との 3 年目の比較

試験地の所在地	系統区分	樹高(m)	比率	胸高直径(cm)	比率	幹長	比率	通直性	比率
中部ジャワ	導入	9.1	1.15	9.4	1.18	3.89	1.07	3.23	1.08
	地元	7.9		8.0		3.65		2.99	
南カリマンタン	導入	11.4	1.10	10.8	1.08	4.05	1.07	3.46	1.05
	地元	10.3		9.9		3.80		3.31	

注) 系統区分の「導入」は育種プロジェクトの実生採種林産系統の平均値、「地元」は 2 に述べた南スマトラ産由来の系統の平均値。

違いは第 1 世代の実生採種林に対照系統として植栽した地元産苗を用いて比較した結果とほぼ一致する。3 年生の樹高における 10~15% の差は、伐期(8 年)における林分収穫量でおよそ 17~26% の増収をもたらすと試算される (Nirsatmanto 他 2003)。また、幹長や通直性においても新たに導入した系統がほぼ一様に優れていることは、実生採種林の間伐の際に形態面に留意して選木した効果が現れたものと考えられる (Nirsatmanto and Kurinobu 2002)。このことは、現在具体化しつつあるアカシアマンギュウムの用材生産にも、育種的に改良された系統が適していることを示している。

5. 第 2 世代の実生採種林で確認した第 1 世代の選抜効果

第 2 世代の実生採種林には、3 に述べたように第 1 世代の実生採種林から選抜したプラス木の家系別苗と追加的に調達した同一産地の無選抜の系統と一緒に植栽している。したがって、第 1 世代の選抜効果は、プラス木家系と追加した系統の成績とを比較することによって検証することができる。ここでは、南カリマンタンに設定した第 2 世代の実生採種林において両者を比較した結果について紹介する (Nirsatmanto 他 2004)。

第 2 世代実生採種林の植栽後 1 年目の結果から、A 以外のグループではほとんどの形質でプラス木後代(子孫)が無選抜集団の平均を上回り、プラスの選抜効果を確認することができました(図 3)。樹高と胸高直径の選抜効果は、それぞれ 2% と 4% 程度、通直性や多幹性についても 2~4% 前後となった。このことから、第 1 世代の選抜は成長だけでなく形態的な改良にも効果があったことを示している。なお、A グループで選抜効果が殆ど認められなかったのは、この採種林では最初の間伐後に風害が発生したため、その後の施業が十分にできなかったことによると考えられる。

ここに紹介した第 1 世代の選抜効果は、4 に述べた産地導入の効果に比べるとかなり少ないと見える。しかし、産地導入の効果は一時的に発生するだけなのに対して、育種による選抜効果は世代を重ねる度に同程度の成果を期待することができる。しかも、この事例から、5 年生時の表現型にもとづいて選抜したプラス木後代の良さが植栽後 1 年目から既に現れることや、南スマトラの実生採種林で選抜したグループ B や D のプラス

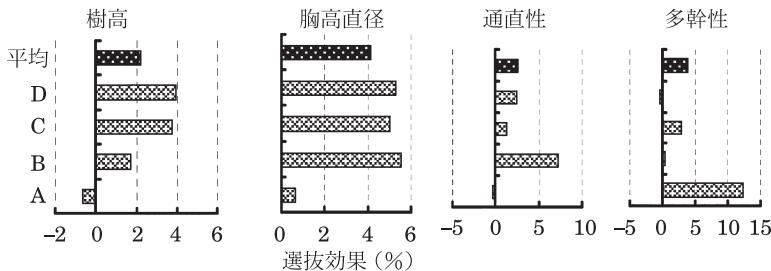


図 3 第 1 世代のプラス木後代と無選抜集団との比較による第 1 世代の選抜効果の検証結果：無選抜集団の平均に対してプラス木後代平均が上回った割合を選抜効果として表示した。

木後代は南カリマンタンでも無選抜集団に比べて良いことが明らかになった。現在、第 2 世代の実生採種林はインドネシアの 5 州に約 30 箇所設定したので、これらの採種林を適切に間伐・淘汰してプラス木を選抜すれば、次の世代ではここに紹介した以上の改良効果が実現できるものと思われる。

6. おわりに

以上述べたように、インドネシアの林木育種プロジェクトでは、優良産地の選択的導入と第 1 世代の実生採種林における選抜・淘汰によって、それぞれの段階で着実に選抜効果を積み上げてきたと言える。今後、第 2 世代の実生採種林からプラス木が選抜されて、第 3 世代採種林造成に向けての展開が着実に進むことを期待している。

最後に、この報告をまとめにあたって選抜効果確認試験地の最近の調査結果と写真を提供頂いた Budi Leksono 氏（東京大学大学院在学中）に御礼申し上げる。

〔引用文献〕 Franklin E.C., (1989) Proc. IUFRO Conf., Pattaya, Thailand : 197 - 209. Harwood C.E. and E.R. Williams (1991) ACIAR Proc. No. 37, 22-30. 粟延（2003）熱帯林業 56 号, 32-41. Nirsatmanto A. and S. Kurinobu (2002) J. For. Res. 7 : 49-52. Nirsatmanto A., S. Kurinobu and Hardiyanto E. (2003) J. For. Res. 8 : 127-131. Nirsatmanto A., Leksono B., S. Kurinobu and S. Shiraishi (2004) J. For. Res. 9 : 265-269. van Buijtenen (1976) Mating Design. Proc. IUFRO Joint Meeting Genetic Working Group Bordeaux, France : 11-20.