

インドネシアの林木育種プロジェクトについて

栗 延 晋

1. はじめに

インドネシアでは、毎年のように発生する森林火災に加えて、近年は違法伐採が急速に拡大し、熱帯ではブラジルに次ぐと言われてきた森林資源も危機的な状況にある。1990年代の初めには12百万haとされていた荒廃林地は、2001年には30百万haに達したとみなされる。この減少傾向が続けばスマトラの熱帯低地林は2005年までに、また、カリマンタンのそれも2010年までに消失すると予測される事態に至っている（佐藤2000a）。このため、インドネシア林業省では、天然林からの許容伐採量を2001年に20百万m³、2002年には12百万m³まで縮小する等の措置を講じてきた。

これまで同国の外貨獲得の一翼を担ってきた林産加工業は、アジア経済危機以降の林産品の価格低迷と過剰設備が災いして厳しい状況にある。市場に出回る木材の半分以上は違法伐採によるとの推定もあり（佐藤2000b），その間接的な原因の一つとみなされる林産加工業界には、正当なルートでの木材供給量に見合う生産規模の縮小・再編が求められている。

このような状況の中で、インドネシア支援国会合（CGI）では森林・林業問題を優先課題の一つととらえ、その解決手段として上述した事態に歯止めをかける対策とともに、荒廃林地の復旧を中心とした植林を提案している。この植林のためには、必要量に見合う良質の種子を確保する必要があり、以下に紹介するインドネシア林木育種プロジェクトの成果は、インドネシアの森林再生に向けて今後さらに重要な役割を果たすものと期待される。

2. インドネシアの造林

インドネシアの造林は、社会的背景が異なるジャワ島とスマトラやカリマンタンとで大きな違いがある。ジャワ島ではオランダの植民地時代からの長い人工林造成の歴史があるのに対して、天然林の伐採・収穫に依存してきたスマトラやカリマンタンは一部を除き産業造林が開始されて以降の十数年にとどまる。

(1) ジャワ島の人工林

ジャワ島のオランダ植民地時代からのチークを主体とする人工林は、現在、国営林業会社のプルフタニが経営を引き継いでいる。プルフタニはジャワ島の森林のうち、保護林や国立公園を除く約 2 百万 ha の生産林を管理するとともに林產品の加工販売も行っている。現在、百万 ha のチーク人工林を有する他、メルクシマツ人工林が 60 万 ha、マホガニーとアガチスが、それぞれ 7 万 ha の人工林が造成されている。

ジャワ島では、民有地での造林を推進する緑化運動の結果、この 10 年間で百万 ha を超える緑化が行われた。この緑化運動は、林地外の荒廃林地を復旧することによって、土地の保全と水資源の涵養を目的とする。林業省では、この運動を促進するために、私有地や共有地にモデルプロットを設定しファルカータ (*Paraserianthes falcataria*) 等の苗木の無償供与を行っている。

(2) ジャワ島外の産業造林

スマトラやカリマンタンでは天然林依存の収穫林業から育成林業への転換を図るために、1980 年代の末から産業造林を展開してきた。この産業造林は、荒廃林地の再生と低生産林の生産性向上であるとともに、現在、天然林に依存している木材供給の代替としての役割を持つ。これまでに 16 州で 175 件の人工林造成契約（約 7.9 百万 ha）を締結し、1.9 百万 ha の人工林が造成された（写真 1）。これらの造林地の大半は、アカシア・マンギュウム (*Acacia mangium*)、ユーカリ (*Eucalyptus spp.*) 等の早生樹種によるものであるが、フタバガキ科の樹種も育苗法や施業法の改善によって今後使用される可能性はある。現在、木材生産林の 14.2 百万 ha が荒廃林地化したと言われているので、今後の人工林造成はこれら荒廃林地を対象に実施されることとなる。

現在の地方分権化の推進に伴い、森林開発の許認可権等が、中央政府から郡レベルの機関に大幅に委譲されつつある。人工林の造成・利用に関しては、人工林造成は生産林内の荒廃林地に限定すること、人工林造成契約の単位に上限



写真 1 アカシア・マンギュウムの2代目造林地
(南スマトラ Musi Hutan Persada 社)

マツからである。その後、チークや産業造林用の *A. mangium* 等についても各林業会社により林木育種が進められている。

(1) メルクシマツ

インドネシア原産のメルクシマツは、ジャワ島ではチークに次ぐ造林面積を占める。このマツの育種事業は、1976年に米国ミシガン大学の J.W. Wright 教授の指導のもとでプルフタニとガジャマダ大学の共同試験として開始された。ジャワ島およびバリ島の人工林から成長と形態に優れたプラス木約 1,000 本を選抜し、その自然受粉種子を用いてジャワ島内の 3 地域に 6 年かけて実生採種林を造成した。現在、各地の実生採種林では 1991 年から改良種子の生産が始まり、1999 年には 3 地域の実生採種林で合計 2,000 kg の種子が生産された。現在、スマトラの天然集団から採種して現行の育種集団の遺伝変異を拡大する試みが行われている。これは、当初のプラス木を選抜したジャワ島の人工林の集団は、一部の天然集団由来のものに偏っているため遺伝変異が狭く、通直性等の実用形質において劣ることが経験的に知られていたためである。

(2) チーク

インドネシアにおいて最も広い人工林を占めるチークは、ジャワ島の国有林を独占的に経営するプルフタニだけではなく、その周辺の農地やスラウェシ、東インドネシア諸島でも広く造林されている。チークの林木育種は、1980 年代の中頃からプルフタニによる中部・東部ジャワの人工林からのプラス木の選抜によって始められた。これまでに、136 本のプラス木を選抜し、1995 年には芽接ぎによって 1,200 ha のクローン採種園を造成した。プラス木から採取した自然受粉種子を用いて次代検定林を設定した他、組織培養と萌芽枝を用いた無性繁殖技術の開発を進めてクローン検定も実施している。プルフタニは 1998 年に

を設けること、契約の申請・処理・締結は郡レベルの機関が担当すること等が決まり実施されている。

3. インドネシアの林木育種

インドネシアでは、1930 年代からチークの産地試験が始まられたが、本格的な林木育種は 1970 年代に開始したメルクシ

は独自に研究開発を進めるチークセンターを開設した。既存のプラス木に加えてスラウェシや東インドネシア諸島の人工林から 600 本余りのプラス木を選抜し、ジャワ島内の 4箇所に 3年間をかけて次代検定林を設定する計画を進めている。

(3) 産業造林用の早生樹種

1980 年代の末から開始した産業造林では、紙・パルプの原材料の供給を目的とする早生樹種を用いた人工林の造成が進められた。この計画では、プライオリティー企業 13 社には 15 万 ha～30 万 ha の用地を割り当てるとともに、総計 4.3 百万 ha の造林が予定された。有力企業のいくつかは、自社に研究開発部門を設け、有望な産地の種子を導入するとともに海外のコンサルタントを雇って、*A. mangium* 等の早生樹種を対象に成長量の改良を主目的とする林木育種を進めている。

(4) 热帯降雨林樹種

これまで熱帯降雨林に生育する樹種に関しては育種的な取組みは少なく、インフタニ 2 と 3（ジャワ島以外の地域の国営林業公社）がガジャマダ大学と共同して一部の *Shorea* についてプラス木を選抜し検定林を設定した事例にとどまる。現在、これらの樹種に必要とされるのは遺伝資源保全であり、*Shorea leprosula*（赤メランティ）等については、ITTO の予算（1998～2002 年）によりインドネシア国内の天然集団の現地外保全プロジェクトが実施された。このプロジェクトはガジャマダ大学を中心にインフタニ 5 社が協力する形態で進められ、主要な天然集団から実生を収集し現地外保存林が造成された。現在は、引き続き ITTO のプロジェクトとして、この収集した材料を用いて育種的な取組みを始めるとともに、メランティ類の造林試験が実施されている。

(5) 外国の類似プロジェクト

インドネシアは以前から多くの先進国の援助を受け入れており、林業・林木育種の分野も例外ではない。前述したメルクシマツの育種に関する米国の指導の他に、当プロジェクトの前身であるカリウラン種子源開発プロジェクトはニュージーランドの支援により始められた。隣国のオーストラリアはアカシアやユーカリ等の樹種が共通することもあり、林業省と大枠の研究協力協定を結び、カユプティの種子収集や育種試験、*A. mangium* の病害抵抗性、DNA マーカーを用いた選抜技術の開発等の課題を単発的に設定して実施している。また、デンマークの DANIDA もフィンランドが実施した苗畑プロジェクトを発展的に引き継ぐ形で造林用種子のプロジェクトを継続している。



写真 2 バイオテクノロジー林木育種研究所（1992年にJICAの無償資金協力で建設）

4. JICA 林木育種プロジェクトの経緯と成果

1980年代末期、育成林業への転換を志向するインドネシア林業省は、急速に需要の高まりつつあった造林用種子の確保と更なる改良を目的とする林木育種に関する技術協力を日本に要請した。この要請を受けて、日本は1991年～1992年にジャワ島中部のジョクジャカルタ近郊に研究所・施設を建設するために必要な無償資金協力を実施した（写真2）。そして、1992年6月には5名の長期専門家を派遣して林木育種の技術協力プロジェクトを開始した。

(1) 第1フェーズの技術協力と成果

第1フェーズでは、インドネシアの各種造林計画を成功させるために、熱帯産早生樹を当面の対象として遺伝的に優れた種苗の生産、供給体制を整えることを目標として、以下の課題を設定してプロジェクト活動を実施した。(1)種子源の造成、評価技術の開発、(2)種子生産、無性繁殖技術の開発、(3)技術、情報、材料の普及、(4)林木育種推進に関する助言。これら4つの課題のうち、(1)は、実生採種林を造成し評価技術を開発して、早急に改良種子生産の基盤を整備する内容である。(2)は、その実生採種林が成熟した段階で必要となる技術を先行して技術移転することを念頭に置いた課題である。そして、(3)と(4)は、改良種子のユーザーである林業会社と共同して種子源の造成管理を進めることによって、改良種苗の生産、供給体制を整えるために設けた。

本プロジェクトの相手側機関は、開始当初、造林総局の20名足らずの直轄プロジェクトであったが、1994年に研究開発庁に移り、正職員40名余り（カウンターパート（C/P）は21名）のインドネシア林業省の3等機関として正式な研

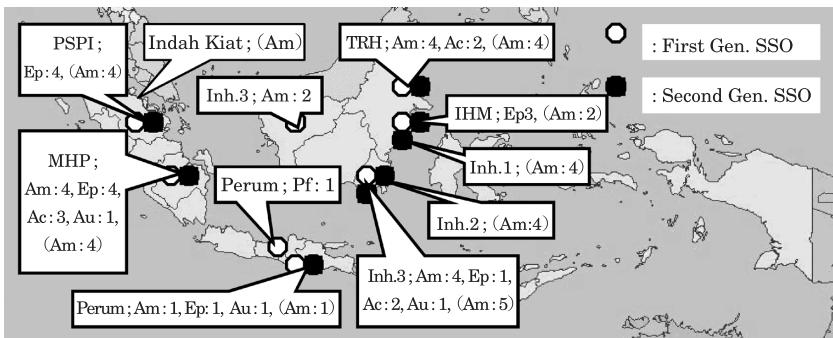


図 1 インドネシア林木育種プロジェクトが造成した実生採種林（各枠内の記述は社名略称、樹種及び採種林箇所数を表す） Am : *A. mangium*, Au : *A. auriculiformis*, Ac : *A. crassifolia*, Ep : *E. pellita*

究所となつた。

種子源については、林業会社4社の協力を得て、第1フェーズ終了までに7樹種、合計37箇所の実生採種林を6地域に設定した（図1）。その情報は、ACCESSを用いたデータベースに登録整理した。同時に、種子源の造成から評価までの電算機によるデータ処理システムを開発した。すべての採種林はこのシステムで設計し、定期的に実施した調査結果の入力と解析を行なつた。その結果、海外から調達した*A. mangium*の系統は、従来のインドネシアの人工林から選抜したプラス木後代よりも林分材積ベースで20%以上優れた成長を示すことが明らかになつた。

種子源の評価では、アイソザイムやDNA分析による遺伝変異の評価も試みた。ジャワ島内の*P. falcataria*の遺伝変異は、イリアンジャヤの天然集団に比べてはるかに狭いことが明らかとなつた。また、*Acacia*属4種の比較分析によって、*A. mangium*の遺伝変異が小さいことや樹種レベルの交雑親和性を示唆する系統分類の結果が得られた。

増殖技術に関しては、*A. mangium*は雨季の初期に行なうとり木が有効であることや、萌芽枝を挿し木すると*E. deglupta*, *E. pellita*, *A. mangium*の発根率はある程度向上することを明らかにした。また、組織培養では、5樹種について培養苗の野外植栽に成功した。

普及に関しては、林業会社と共同で種子源を造成する方法を用いたので、実生採種林の造成とその後の管理に関する技術指導自体が普及活動となつた。また、プロジェクトでは70編余りの報告、マニュアル、資料等を作成して、実生



写真 3 中部ジャワの実生採種林で選抜した *A. mangium* のプラス木 (4年生)

普及に関する情報・技術提供機能の充実、(3)郷土樹種の育種のための基礎研究。このうち、前2者は、第1フェーズで進めてきた活動を継承・発展させた課題である。(1)では林木育種における第1世代を完結し第2世代に移行するために必要な一連の育種技術の移転を進めた。(2)では、現在の実生採種林からの種子生産が本格化するに伴い重要となる情報と材料の管理提供システムを整備・構築した。一方、(3)では、その必要性は認められていたものの第1フェーズではあえて取り上げなかった郷土樹種の育種的な対応を検討するために基礎的な研究を実施した。

第1フェーズに造成した実生採種林は、その一部は山火事や社会不安等のために放棄したが、これまでの間伐等の指導により種子生産が可能な段階に達した。これらの採種林から *A. mangium*, *A. crassicarpa*, *A. auriculiformis*, *E. pellita* について、それぞれ数百本のプラス木候補木を選定した(写真3)。そして、*A. mangium* に関しては、1999年からプラス木の自然受粉種子の収集を始め、2001~2002年にかけて林業会社8社の協力を得て、計26箇所の第2世代採種林をリアウ、南スマトラ、中部ジャワ、南カリマンタン、東カリマンタンに造成した(図1)。また、*E. pellita* についてもプラス木からの採種を実施中で、2003年初頭には第2世代採種林が数箇所造成される予定である。

採種林の調査や間伐指導の際に持参し担当者に配布した。さらに、林業会社の求めに応じて種子源評価に関するトレーニングコースを実施したり、国際セミナーを含む合計3回の全国規模のセミナーを開催した。これらの機会を通じて、林業省や林業会社等の関係者とC/P機関の林木育種研究開発センターの役割を協議するとともに成果を紹介した。

(2) 第2フェーズの技術協力と成果

第2フェーズは、当初、長期専門家3名の構成で1997年12月に開始した。プロジェクト目標として、林木育種研究開発センターが林業会社に対して提供する種子源や育種に関する情報・技術の高度化と機能強化を掲げ、次の3つの項目に係る活動を実施した。(1)早生樹種を対象とする育種の次世代化、(2)改良種子の生産と

インドネシアの主要な人工林造成地域に展開した実生採種林では、定期的な調査を実施しており、これらのデータの蓄積によって実用的な情報を得つつある。南カリマンタンに設定した *A. mangium* の第2世代採種林における1年目の調査結果から、プラス木後代は無選抜の対照と比較して単木材積ベースで10%程度上回るとともに、幹の通直性等にも優れていることを確認した。最近、

A. mangium 人工林を間伐してより付加価値の高い家具材等の生産に用いることも検討されているが、間伐後の耐風性では成長のやや劣る北クイーンズランド産系統が、成長の最も良いパプアニューギニア産系統より優れていることも明らかになった。また、南スマトラで選抜した *A. mangium* のプラス木後代は、南カリマンタンでも良好な成績を示すことを確認したが、*E. pellita* については遺伝と環境との交互作用が認められるので選抜効果の一部は損なわれるとの予測結果を得ている。ただし、本プロジェクトでは、*A. mangium* や *E. pellita* について産地別に採種林を造成しているので、生産目的や産地の得失に応じて人工林造成に用いる種子を使い分けることができる体制も整えている。

造成後、数回の間伐を経て本格的な種子生産が始まった実生採種林では、種子生産量の予測とともに種子の品質等に関する研究も実施した（写真4）。1 ha の採種林では、*A. mangium* で 40 kg、*E. pellita* では 10 kg 程度の精選種子が毎年生産可能であるとの見通しを得た。この量を造林面積に換算すると *A. mangium* の場合には約 2,000 ha となり、前述の林分生産性の向上と併せて考えると、将来的にはかなり大きな貢献をすることが期待される。各採種林の単木毎の記録を用いて、採取した種子の発芽率と各採種木の周囲密度との関係を調べ、発芽率の面から採種木の最適周囲密度が存在することが示唆された。また、第2フェーズの後半に派遣された DNA 分析を担当する長期専門家の指導により、*A. mangium* 実生採種林における交配実態に関する研究が進められ、およそ 80% の花粉は母樹から 40 m の範囲内の採種木に由来することや同じ鞘



写真4 南カリマンタンに設定した *A. mangium* の実生採種林（6年生）

の種子は完全兄弟であることも明らかにされた。

遺伝的により優れた素材を提供するための無性繁殖や人工交配技術の開発も進めた。無性繁殖に関しては、中部ジャワに設定した直轄試験地で選抜した *A. mangium* や *E. pellita* のプラス木を保存する実験クローン集植所の造成を当面の目標にして技術開発を進め、*A. mangium* ではとり木と組織培養の組合せ、*E. pellita* はつぎ木によってクローンの確保が可能な見通しを得た。ただし、ジャワ島外の採種林で選抜したプラス木の増殖に関しては、穂木搬送に解決の見通しはついたが未だ実現していない。また、人工交配については、メルクシマツで実施して人工交配の方が自然受粉よりも種子稔性が高いことを見出した他、*A. mangium* と *A. auriculiformis* との種間交雑を試みてプロジェクト終了前に交雑苗木を得た。

第2フェーズから開始した郷土樹種を対象とする基礎研究に関しては、類似の課題を持つプロジェクト等と連携して活動を進めた。主要造林樹種の種子源の情報については、林業省社会林業総局が収集した資料をデータベース化した。ガジャマダ大学の主導で始められたメランティの遺伝資源保存プロジェクト（ITTO）では、ジャンビと東カリマンタンで収集された集団についてDNAマーカーを用いて遺伝的多様性を評価し、前者の方が大きいことを明らかにするとともに、同樹種の挿し木増殖用の集団が比較的多様性に富んでいることを確認した。また、フタバガキ科の無性繁殖については、独自に技術開発を進めていたが、将来の効率化を図るためにコマツプロジェクトで開発したフォグ・クーリングシステム（坂井・山本、1995）も導入した。

インドネシアの林木育種の分野で公的機関が第2世代の採種林造成に到達したのは本プロジェクトが初めてである。このため、協力関係にある林業会社も徐々に増え当研究所を中心とする林木育種のネットワークは広がりつつある。これらの成果により当研究所は2000年4月には「バイオテクノロジー・林木育種研究開発センター」と名前を改め、インドネシア林業省の2等機関に昇格した。そして、2001年9月には、協力関係にある会社幹部を集めた連絡会議においてガジャマダ大学を加えた林木育種協議会が結成された。この協議会の活動は、当面、年一度の定期会合と四半期毎のニュースレターの発行にとどまっているものの、野外試験が不可欠な林木育種研究所にとっては、将来の研究を展開するうえで貴重な支援母体になりつつある。また、この協議会を構成する9社のうち、3社は国営林業公社のインフタニ、他の5社はインドネシア林業省が指定したHTIパルプ優先企業である。これら5社の最近10年間の造林実績

は優先企業 13 社（約百二十万 ha）の 52% を占めることから、当プロジェクトの成果は広範囲に及ぶものと期待される。

5. おわりに

ここに紹介したように、インドネシアの林木育種プロジェクトでは、これまでの協力の成果が、同国の抱える最重要課題の一つである森林再生に大きく貢献できる段階に達しつつある。これは、第一世代の実生採種林の多くがすでに改良種子の本格的な生産を開始しているとともに、更に改良された第二世代採種林もこの数年のうちに種子生産が始まる見通しにあることによる。そして組織的にも、本プロジェクトの C/P 機関である「バイオテクノロジー・林木育種研究開発センター」が同国林業省の 2 等機関としての地位を確保し、林木育種協議会を結成して、林木育種研究だけでなくその事業の推進と改良種子の普及・配布に係る体制を整えつつあることにもよる。

周知の通り熱帯における森林再生は世界的な関心事であり、各国の環境保全と経済的発展のみならず地球温暖化防止の面からも注目されている。今後、本格的に取り組まれるであろう CDM にもとづく森林再生においても、先立つものは良質な種子である。したがって、その調達にあたっては、本プロジェクトの成果である改良種子を活用していただくことを関係者に喚起したい。本プロジェクトは 2002 年 11 月にプロジェクト技術協力を終了するが、その後、フォローアップ専門家が派遣されることになっており、E メールの連絡先は、jica@idola.net.id である。本プロジェクトでは、これまでの 10 年間に 5 名の文部科学省奨学生留学生を日本の各大学に送り出しており、彼らは 2003 年から順次帰国する予定である。したがって、こうした人的資産ならびに前述した 70ヶ所に及ぶ試験地（実生採種林）も含め、本プロジェクトの成果が今後の熱帯の森林・林業分野における研究と事業の両面に活用されて、それがバイオテクノロジー・林木育種研究開発センターの発展につながることを期待したい。

〔引用文献〕 佐藤雄一（2000 a）経済危機・政変後 激動のインドネシア森林セクター. 热帯林業 49 号, 10-19. 佐藤雄一（2000 b）インドネシアの木材産業の問題と政策の動向. 木材情報. 坂井睦哉, 山本義美（1995）フタバガキ科樹種の栄養繁殖. 热帯林業 33 号, 23-29.