

# インドネシア低地フタバガキ林の修復・再生研究

沖森泰行<sup>1)</sup>・泉谷 進<sup>2)</sup>

## はじめに

KANSO 生物環境研究所と関西電力総合技術研究所は 1992 年から、インドネシアのガジャマダ大学林学部と協力して東南アジア低地林の優占林型であるフタバガキ林を修復・再生する研究を行ってきた。フタバガキ樹種は経済的にも生態学的にも注目されてきた樹種であるだけに、これまでもずいぶんと学術的な研究がなされ蓄積もあるが、我々の着眼点は、目標を修復・再生に置き、技術的にはフタバガキ科樹木と共生する微生物キノコ（外生菌根菌）によって効果的に苗木を育成し、生態学的手法で植林技術を開発することである。主な調査地はスマトラ島中央部に位置するジャンピ州の伐採コンセッションの一角である（図 1）。同州は日本の四国ほどの面積で、現地の林業会社が管理する 3 万 ha の伐採コンセッションの一部 1 千 ha を、ガジャマダ大学林学部が 1990 年に教育研究林として林業省の認可を得た場所である。

外生菌根菌を接種する育苗技術については、菊地淳一・小川 眞の両氏が解析しその成果をまとめてある（菊地・小川 1997）ので、本稿では劣化した森林の生態学的解析と植林技術の試みについて概説する。

## 1. 択伐林の回復過程：残存した高木群について

本コンセッションは 1970 年代末から商業伐採が始まり、択伐法によって天然林から大径木が収穫されてきたが、1991 年に伐採は中止になり広大な択伐林が残った。一方、コンセッションの周辺には多数のゴムノキ農園があり、コンセッション内に深く浸透しつつあった。修復・再生を行う前提として、まず、

---

Yasuyuki Okimori & Susumu Izutani: Research Project on Rehabilitation and Reforestation of Lowland Dipterocarp Forests in Indonesia

<sup>1)</sup> (株)KANSO 生物環境研究所, <sup>2)</sup> (株)関西電力総合技術研究所

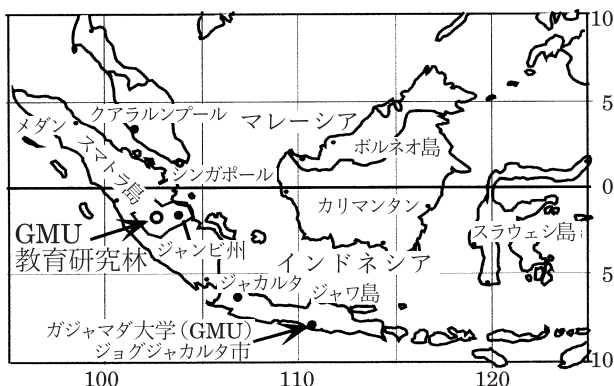


図 1 インドネシアと調査地

コンセSSIONの大半を占める択伐林を調査した。

1 ha 固定調査地を 2 ケ所設定し、DBH (胸高直径)  $> 5$  cm を対象にして 1993 年から 7 年間、林学部の故ルジマン博士とともに毎木調査を行ってきた。この林分の密度は ha あたり 1,300 から 1,400 本 (DBH  $> 5$  cm) で、過去に ha あたり平均 8-11 本が伐採され、その多くはフタバガキ樹木であった。森林構造をみると DBH が 80 cm を越える大高木はなく、切り株や林道跡に沿って林冠ギャップが広がりギャップ面積は 30%~40% であった。胸高断面積合計は  $27.8\text{m}^2$  で、52 科 300 種近くが同定され、中でもやはりフタバガキ科樹木が断面積合計の 13.5% を占めて優占種であった。樹高 40 m 近い高木もあり、まだ一次林の多様性を残した森林であった。

残存した高木の成長について、直径成長をみると DBH 40 cm 付近の樹木が最も大きく、平均 0.5 cm 程度であったが、年 1 cm を越える直径成長は少なく天然林内の樹木の成長と大差がなかった。インドネシア林業省の報告では択伐林の残存フタバガキ樹木の直径成長は年 2 cm 近く、択伐施業法を推奨するものであったが、残存樹木の成長は地域や樹種によって相当に異なり、一律に規準を当てはめることはできない。乾重成長量については、半島マレーシア、パソー天然林で加藤亮介氏らが伐倒調査で導き出した相対成長式 (Kato *et. al.* 1978) を適用して、毎年の ha あたり地上部の現存量を算出してみた。初年の 1993 年には 244.4 トンであったものが、7 年後の 2000 年には 256.7 トンに増加していた。7 年間の平均連年成長量は 1.74 トンで大きいものではない。



写真 1 天然実生の動態調査

この点では1997年に発生したエルニーニョ現象との関連を述べる必要がある。当時インドネシアではエルニーニョに起因する異常乾燥が発生し、山火事が拡大して煙害を引き起こしたことで有名になった。それは当森林にも影響を与えており、枯死数(DBH>10 cm)をみると1993年から異常乾燥の97年ま

での4年間の平均枯死数は年7.9本/haであったものが、異常乾燥の翌年1998年には年27本/ha、その後の2年間は年12.8本/haであった。98年の枯死数が歴然と多く、現存量ではマイナス11.4トンになり林分成長量を引き下げたといえる。この97年を除外すると連年成長量は3.10トンと倍近くになる。択伐を受けた森林には、異常乾燥のように稀に発生する大規模なストレスが影響しやすいと思われ、成長量で見ると徐々に回復傾向にあるものがいったん後退する。2歩前進、1歩後退という印象である。

## 2. 択伐林の回復過程：稚樹について

更新の担い手である稚樹(H<1.5 m)の動態については、1m<sup>2</sup>のコドラートを計200個設定し、1992年から半年ごとに4年間モニタリングした。根気のいる仕事で林学部のアトモジョ氏が熱心に調査した(写真1)。個体数は4年間にほぼ12~14本/m<sup>2</sup>で安定的に推移し、そのうちフタバガキ科の個体数は平均して8.0~26.4%であった。これが1995年の豊作年になると22本/m<sup>2</sup>まで一気に増加し、そのうちフタバガキ科が62%も占めフタバガキ豊作年だったといえる。成長については、高さの相対的な成長率(期間成長量/前期の高さ×100)をもちいて、半年ごとに各個体を次の4つのカテゴリーに分けた(Margaret, 1996):「減少」<-5%, -5%<「休眠的」<5%, 5%<「緩成長」<20%, 20%<「早成長」。半年ごとに比較すると、「減少」と「休眠的」な個体が60%近く占めており、成長した個体でも「早成長」した個体は常に10%未満であった。おおまかに言えば、この林分の稚樹数12~14本/m<sup>2</sup>のうち、順調に成長しているのは1本程度ということになる。森林回復の次世代を担う残存高木の成長速度も意外に小さく、将来を担う稚樹も個体数では優占種フタバガキ科が多いとは

いえ伸長成長も決して高くない、択伐林の回復速度は一般にいわれているよりも遅いのではないかと考えられた。

なお、当時ガジャマダ大学に留学していた加藤剛氏（現 JICA 専門家）が 15 ha の大面積プロット（DBH>10 cm）に拡大し（加藤 1997）、多面的に択伐林の動態を解析していることを記しておく。

### 3. 地下部のバイオマス

熱帯雨林で根を直接に測定した研究例は少なく、どの程度を推定すればよいかわ悩みのタネであった。そこで、フタバガキ科 *Shorea parvifolia* の幼樹 2 本と樹高 20 m までの中木 3 本の計 5 本を伐倒し、根の掘り取り調査を行った。幼樹については全ての根を掘り取り、中木については根系の 1/4 を掘り取り全根量を推定した。根の掘り取り作業は大変なもので、土壌が固いのでポンプで川から汲み上げた水を根元にかけて、土壌を洗い流しながら行った。複雑に絡み合った根を仕分けるのもやっかいで、時間と労力がかかる調査を菌根の調査と併せて菊地淳一氏（KANSO）が担当した。

樹高 20 m（DBH=16 cm）の中木で全乾重が 1,200 kg、地下部が 161 kg あり、他のサンプル木もあわせると、地際直径（D）と地上部重量（W）はきれいな相関関係、 $W=0.031 D^{2.056}$ （ $R^2=0.963$ ）が得られた。地下部の全体に対する重量比は中木（樹高 10~20 m）が 12.1% で、T/R 比が 6~8 であった。まだ若い樹木なので単純に比較はできないが、成熟した照葉樹林の T/R 比が 4~5 に比べると、熱帯雨林の根重の比は小さい。これは樹種や樹木のサイズによっても異なると考えられ、もっとサイズの大きなものを調査したかったが、時間と労力の制約でできなかったのは残念である。

### 4. 二次林の回復過程

ゴム農園の一つ一つは農民が 10 数 ha 程度所有する小規模のもので、粗放な管理であるから二次林樹種が混交しているので、一見して二次林とも見え、ジャングルラバーと呼ばれる農園である。伐採コンセッションは林道に沿って次々とジャングルラバーに転換されており、実際の植生分布においてこのジャングルラバーやそれが放棄された二次林は無視できない存在といえる。放棄された二次林の種構成がどのように変わり、バイオマスがどの程度増えるのかを調べた。これには林学部のアドリヤンティ女史とアトモジョ氏と協力して行った。

放棄された二次林のなかから、若齢な 8 年生と 10 年生林、中齢な 20 年生および老齢な 70 年生を選んで継続的に毎木調査 (DBH>5cm) するとともに、実際に伐倒調査により相対成長式をつくり、地上部バイオマスを推定した。ha あたりの地上部バイオマス (乾重) は 8 年生で 43.7 トン、10 年生で 57.8 トン、20 年生で 96.3 トン、70 年生で 159.5 トンとなり、バイオマス (W) と年数 (T) の関係を近似すると、 $W = 17.291 T^{0.512}$  ( $r^2 = 0.944$ ) の成長曲線が得られた。Brown & Lugo (1990) がレビューしたように、15 年から 20 年に成長速度の変曲点があるようだが、この式を用いると当地の択伐林バイオマス 256.7 トンに回復するには 190 年を要することになった。この数値の当否は何とも言えないが、二次林が森林としてみられる (100 トン/ha 前後) 程度のバイオマスを回復するまでには数十年ですむが、天然林なみのバイオマス (300 トン/ha 程度以上) を回復するには意外に年数がかかるのではないかと考えている。もちろん回復といっても樹種構成は異なる。種構成については付近の択伐林とは全く異なり、林冠構成層にフタバガキ科樹種がほとんどみあたらない。天然林や択伐林が孤立化している現状で、果たして二次林がバイオマスの点でも天然林なみに回復する可能性があるのか疑問をもっている。

## 5. 択伐林地での修復植林

このように劣化した天然林の修復の基本は 2 つが考えられる。1 つは残存木 (高木、幼稚樹) の成長や更新を促進させること、2 つ目はエンリッチメントと呼ばれる植林で、残存木 (高木、幼稚樹) の個体数の不足を在来種で補うことを基本にした手法である。局所除伐やギャップ植林は、天然林で発生するギャップ更新を模擬した発想であり、人為的ギャップにより環境条件を整備し成長を促進し、更新個体を増やして生存機会を増やしてやるものである。

まず、除伐天然更新法を試みた。100 m<sup>2</sup> から 1,600 m<sup>2</sup> の複数の区画内で、フタバガキ樹種を残して小中木を除伐した (写真 2)。測定対象は DBH<5 cm で樹高>1.5 m の幼樹で、個体数は約 500~1,500 本/100 m<sup>2</sup> であった。伐開しない閉鎖区の幼樹と比較すると、伸長成長は閉鎖区が年 14.0 cm に対して除伐区が年平均 34.0 cm、直径成長は閉鎖区が 0.9 mm に対して除伐区が 4.4 mm であった。明らかに伐開区の成長が良いのは、光条件の変化と隣接樹木との競合が減少したためであろう。光条件は、伐開前が相対照度 1~5% であったものが伐開後には 10~25% になっていた。ただし、暗い林内で延びていた樹高数メートル以上の幼樹は、細い幹であったので除伐すると隣接木からの支えがなくなって

自重を支持できず傾いてしまう場合があった。

次に、上記と同様に人為的にギャップとライン状に伐開を行って、フタバガキ苗木をエンリッチメント植栽した。ギャップ植栽は3つのサイズ、小ギャップ ( $100\text{ m}^2$ )、中ギャップ ( $400\text{ m}^2$ ) および大ギャップ ( $1,600\text{ m}^2$ ) をつくり、ライン伐開は2つのサイズ、幅5 mと

10 m で直線上に切った。それぞれ3回以上の繰り返し区を作り、植栽密度は  $1\times 1\text{ m}$  と  $2\times 2\text{ m}$  の密植で行った。ギャップ形成による光条件の変化は、上記の除伐と同様であるが、ライン状の場合は直線で機械的に伐開していくので場所によって光条件はずいぶん異なった。6年間の伸長量でみると(図2)、中ギャップが最も良く、その相対照度は15%程度であった。場所にもよるが、小ギャップだと3年ぐらいで周辺の林冠が伸びてきてあまりギャップとして認識できなくなり暗くなる。大ギャップだと小面積皆伐と同じで相当に明るく、半年ごとに除草をしないとシダ、先駆樹が繁茂し植栽苗木が覆われてしまう。中ギャップは伸長成長は高くやや光量が不足するためか徒長気味になるが、シダや先駆樹の繁茂が抑えられる。

除伐天然更新やギャップ植林は、試験としては効果もあり興味深いのだが、実用上は問題もある。除伐天然更新の場合の大きな問題は、作業員にフタバガキ樹種を識別できる人が少ないことである。植林作業では、付近の農民などを一時的に雇用することが一般的で、フタバガキの高木は知っていても幼稚樹になると知らないことが多く、また、よほど丁寧に作業しないと潔くどんどん切ってしまう。ギャップをつくる場合、林内に分布するギャップを基本としてそこを整備したり拡大する作業になる。しかし、林内の現場に入ってギャップの認識が人によって千差万別であること、ギャップサイズの認識が定量的にしばらくの間もある。たとえギャップを設定しても、広い林内に数百個に及ぶであろうギャップの位置が不規則ではアクセスに時間がかかる。また、植林コストを考えると皆伐一斉植林のような集約的な植栽に比べて、苗木の運搬効率が悪く過重労働となりコスト高になることも考えられる。



写真 2 除伐によるフタバガキ天然幼樹の育成  
(幹に白ペンキを塗ったもの)

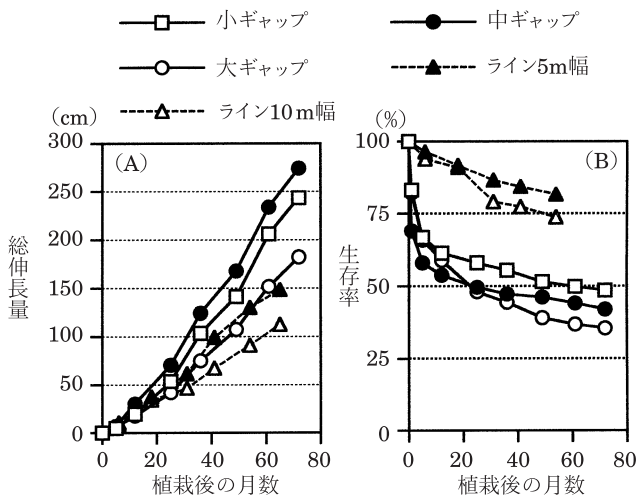


図 2 エンリッチメント植林木の総伸長量 (A) と生存率 (B)



写真 3 先駆樹トレマを被陰樹にした植林：メルサワ (*Anisoptera megistocarpa*)

## 6. 被陰樹を利用した植林

裸地での植栽は光が強すぎて苗木の成長も菌根の形成も悪いため、中庸な光条件を提供する被陰樹を育てることが必要である。伐採・火入れ後に自然に繁茂する先駆樹種トレマ (*Trema cannavina*, *T. orientalis*) を残したり、また二次林の一部を切り残すなどそれぞれ被陰樹として利用する方法を考えた。トレマは葉が小さく細いので適度な遮光をおこなう。苗木の成長が最も良いのは相対照度 20% 程度であった。密生するトレマはシダなどの発生を抑える上に、3~4 年で自然枯死していくので、被陰樹種には最適であった (写真 3)。

一方、被陰効果という点で産業林早成樹種を利用する試験も行ってきた。スマトラ島や

カリマンタン島ではこの10数年間に製紙パルプ生産を目的とした早成樹産業植林が急速に拡大し、およそ200万haが植林されており、この存在を無視できない。このアカシア-マンギウム植林木を被陰にしてフタバガキ苗木を育成し、アカシア-マンギウム植林の後継樹とする考えである。この手法はすでに半島マレーシアのイポーでJICA（日本国際協力事業団）が先駆的に実施し成果を上げている（FDPM, JICA 1999）。本プロジェクトでは、アカシア-マンギウムの他にセゴン（*Paraserianthes falcataria*）などに樹下植栽したもので比較試験をしているが、まだ3年目で成果をみるには少し時間が必要である。

コンセッション周辺には農民のゴムノキ農園が広がっている。この農園でゴムノキを被陰樹にしてフタバガキ苗木を植栽してみた。15年生ゴムノキで樹高20mに達するものがあり、マカラングなどの高木先駆樹と混交し相対照度は10%未満と暗いので、先駆樹を伐開しゴムノキだけを残してやると相対照度は平均27%になり、*Shorea macroptera*は非常に成長が良く、3年で樹高5m以上に達するものもあったが（写真4）、フタバガキ苗木の成長はバラツキがあり、成長の悪い苗木では菌根形成が阻害されており、どうもゴムノキの根と拮抗作用が働いている可能性もあった。他の科の樹木とフタバガキの混植には光要因だけでなく、それらがフタバガキ菌根形成に及ぼす影響など多面的にみる必要があり、大和政秀氏（KANSO）が検証している。

## 7. 見逃せない植栽後の保育管理

研究期間中にブッシュの伐開地や二次林、択伐林などに計80ha、88,000本（うちフタバガキ78,000本）を植栽した。初期に植栽したものはまだ8年目であるが、植栽後の管理の問題点も浮かび上がってきた。植栽後は除草、ツル切り、補植などの管理が欠かせない。これは当たり前のことであるが、現実のエンリッチメント植林ではなかなかこれが実行されていない。せっかく植えて育った苗木も、ギャップの明るいところでは、ツルが巻き頂芽を痛めたり、ツルに引っ張られて苗木が湾曲し頂芽が伸びなくなったりして結局下部から側芽が伸び出て一から出直しになる。この管理を怠ると、生存率と成長が相当に落ちる。

また、場所や樹種によっては獣害で試験区が全滅したところもある。獣害にもイノシシ、シカ、サルといった野生種もあれば、付近の農家が放し飼いにしている水牛の群が植林地になだれ込む場合もあった。一部では隣接農民の火入れや盗伐による被害もあった。植林技術は、苗木の生産や植栽時の方法だけで



写真 4 ゴムノキ林下の植林  
(*Shorea macroptera*)

なく、その後の管理全体にわたって体系的でなければならない、という当然のことをいかに実行するか、の苦労を痛感している。

## 8. 共同研究の終了とフォローアップ

本共同研究では、他に、炭の施用による植栽木の成長効果試験、アグロフォレストリーの適用試験による植林方法の改善や、土壌中の炭素量測定など森林生態系の CO<sub>2</sub> 貯留機能についても研究しており、植林技術に関わる問題を多面的に取り組んできた。本共同研究は 2002 年 3 月で 10 年間の研究期間が終了したが、これらの課題を含めて 2 年間のフォローアップを行うことを決めた。これまでガ

ジャマダ大学林学部からつねに 10 数名の研究者がこの共同研究に参加し、施設の提供など林学部から全面支援を受けることができた。10 ケ年の共同研究を実施し、多くの成果が得られたのは大学の協力のおかげである。当方も 4 人の研究者を派遣するとともに、ガジャマダ大学の若い教官を招聘して研究所で微生物学実習を行うなど人の交流にも努めてきた。共同研究の成果は相互の信頼関係の上に成り立つものであることをつくづく実感した。

## 9. 押し寄せる盗伐とこれからの植林

インドネシアの森林を取り巻く環境は、この 10 年間で激変した。特に 97 年の経済危機、98 年のスハルト政権交代以来、インドネシアの政情の不安定さは森林にも押し寄せており、盗伐の激増もそのひとつである。スマトラ島の低地林は 2005 年にほぼ消失するという世銀インドネシア事務所の推定（佐藤 2000）。我々の教育研究林があるコンセッションにも 1999 年から大規模に盗伐が入り、現在も止む気配がない。共同研究を開始した時には、このコンセッションの森林は 3 万 ha であったが、今はおそらく数千 ha ではないだろうか。合法的な大規模アブラヤシ園の造成も原因ではあるが、この盗伐を契機に農民の火入れ、ゴムノキ園の造成という構図も定番であり、先の世銀の 2005 年には熱帯低地林がなくなるという推定を身をもって体験している。この切実さはインドネシア政府も同様であり、政府は昨今にフタバガキ植林をアピールし出し

た。それを展開するには、植林する側（企業、住民）に具体的なインセンティブを提起する必要がある、これがたいへんに難しい問題である。その点では、京都メカニズムに提案された吸収源 CDM 事業は、CO<sub>2</sub> 固定という樹木の本質に資金が提供されるというかつてない仕組みであり、フタバガキ植林を推進する起爆剤のひとつになる可能性をもっている。

〔引用文献〕 1) Browns, S. and Lugo, A.E. (1990) Tropical secondary forests, *Journal of Tropical Ecology* 6 : 1-32. 2) Forestry Department Peninsular Malaysia (FDPM), Perak State Forestry Department and JICA (1999) Project report on management model for multi-storied forest 76 pp. 3) 加藤 剛 (1997) 択伐後の低地フタバガキ林における大面積研究とその背景, *熱帯林業* 38 : 16-24. 4) Kato, R., Tadaki, Y. and Ogawa, F. (1978) Plant biomass and growth increment studies in Pasoh Forest, *Malayan Natural Journal* : 30 (2), 211-224. 5) 菊地淳一, 小川 眞 (1997) 共生微生物を利用したフタバガキの育苗, *熱帯林業* 38 : 16-24. 6) Margaret J. S. (1996) Rates of mortality and growth in three groups of dipterocarp seedlings in Sabah, Malaysia, in *The Ecology of Tropical Forest Tree Seedlings* (ed. M.D. Swaine), UNESCO. 7) 佐藤雄一 (2000) 経済危機・政変後の激動のインドネシア森林セクター, *熱帯林業* 49 : 10-19.