

途上国森づくり事業  
(開発地植生回復支援)

平成 23 年度報告書

平成 24 年 3 月

財団法人国際緑化推進センター

## まえがき

現在もなお発展途上国を中心に森林の減少・劣化が進んでいる。FAO 統計では、2000~2010年の10年間平均で毎年1300万haの森林が土地利用転換や自然災害によって減少したと報告されている。一方、植林や天然力を利用した森林回復によって毎年約780万haの森林が造成されていると報告されている。すなわち現在の世界の森林減少の速度はこの様な森林回復の勢いが増したことにより毎年約520万haと大きく減殺されてきている。

この森林回復の勢いは、1992年リオデジャネイロ「国連環境開発会議（地球サミット）」以降、地球規模での気候変動などの問題を世界が共有したこと、ならびに天然林の減少により木材需要を植林木で補わざるを得ないことが背景にあると考えられる。そのような状況下、以前のように森林伐採や焼き畑などを実施した後に放置するだけではなく、植林や天然更新を進めて再び森林に誘導する動きが活発化している。今後もこのような森林回復の勢いを刺激することが重要であるが、一部の林地においてこのような森林回復が適切に進められない場合も発生してきている。特に鉱物採掘跡地や乾燥気候下での過剰な農牧畜業開発地など、土壌的な問題から従来の森林回復技術がそのまま適用できない事例が多く発生してきており、これらの森林回復困難土壌地域の克服が重要となってきている。

このような現状を打開するために、平成23年度からこのような森林回復困難土壌地域での植林・植生回復に焦点を絞った林野庁補助事業が4年間の期間で推進されることとなった。本事業では、こうした森林回復困難地域の環境条件、特に土壌条件に着目し、モデルとなる森林を造成しながら、このような実証活動を通じて自然科学的なデータを踏まえた上での適切な樹種選択や適切な植栽方法を用いた森林・植生回復技術を開発することとした。その上で、開発した技術を普及するために、現場で簡易に使用可能なレベルにまとめた技術指針を作成することを目的としている。

さらに、こうした開発跡地の森林・植生回復ならびに造成された森林の保全・持続的利用管理には周辺に住む地域住民の継続的な協力が不可欠である。そこで本事業では、地域住民の生計向上にも寄与するような植栽樹種を選択、非木材林産物（NTFP）やその他の有用植物の利用の可能性等についても検討することとした。

本事業を進めるにあたり、林野庁森林整備部計画課海外林業協力室上田浩史室長、武藤信之課長補佐、天野拓郎調査調整係長にご指導を頂いた。また、調査の企画実行にご指導いただいた本部会委員長小島克己氏をはじめとする委員各位ならびに調査等に全面協力を頂いたインドネシアの関係者に厚く御礼申し上げる次第である。

平成 24 年 3 月  
(財) 国際緑化推進センター  
理事長 佐々木 恵彦

# 途上国森づくり事業（開発地植生回復支援） 平成23年度報告書

## 目次

まえがき

委員会、部会の構成及び開催記録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ i

### 第1章 鉱山、農業等人為開発地における森林・植生回復支援事業の目的と全体計画

- 1) 鉱山、農業開発についての現状の認識・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 2) 開発地植生回復支援事業の目的と全体計画・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

### 第2章 開発地の森林・植生回復に適用可能な技術の分析

- 1) 森林・植生回復に適用可能と考えられる森林施業技術の情報収集、分類・類型化・ 8
- 2) 菌根共生の形態、機能及び東南アジアにおける活用の現状・・・・・・・・ 42

### 第3章 森林回復技術開発モデル林造成事業

- 1) 対象国の絞り込みと対象地域の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
- 2) 対象地の自然環境と試験地の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 65
- 3) 実施体制と実施内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 84
- 4) 石炭採掘跡地の土壌モニタリング計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 91

### 第4章 森林回復技術マニュアル案

- 1) 樹種選択のためのインドネシアにおける植林樹種特性表・・・・・・・・ 101
- 2) アルカリ性土壌地域に適応可能な樹種と種特性・・・・・・・・・・ 105
- 3) 熱帯モンスーン気候下の乾燥地における植林技術・・・・・・・・・・ 118

### 第5章 インドネシアにおける石炭生産の現状と法規制

- 1) インドネシアにおける石炭生産の現状・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 132
- 2) インドネシアの石炭生産に関する法規制・・・・・・・・・・・・・・・・ 138

(資料) 委員会・部会の開催記録、現地調査等の実施結果概要

- 1) 委員会の開催と審議概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 147
- 2) 部会の開催と審議概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 147
- 3) 現地調査の実施結果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 150
- 4) 現地ワークショップの実施結果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 155

(別添1) 第1回途上国森づくり委員会 説明資料・・・・・・・・・・・・・・・・ 157

## 委員会、部会の構成及び開催記録

国際林業協力、地球温暖化防止、NGO等の森林保全活動に関する有識者で構成する途上国森づくり事業委員会を設置するとともに、より専門性の高い有識者で構成する開発地植生回復支援部会を設置した。

### 1. 委員会

委員会は、年1回開催し、途上国森づくり事業全体における実施の方針、事業の実施計画、各部会の連携、事業の成果等の基本的事項について検討した。

#### 1.1 委員会の構成

名称：途上国森づくり事業委員会

委員長	森川 靖	早稲田大学 人間科学学術院 教授
委員	石塚 森吉	森林総合研究所 研究コーディネータ
委員	岡本 敏樹	緑のサヘル 代表理事
委員	古賀 剛志	富士通（株）環境本部 ストラテジーエキスパート
委員	小島 克己	東京大学 アジア生物資源環境研究センター 教授
委員	土屋 利昭	技術士

(五十音順)

#### 1.2 委員会の開催記録

(1) 第1回 途上国森づくり委員会

日時：23年9月5日（月）14:00~16:00

場所：林友ビル6階 日本森林林業振興会 中会議室

議題：

- ①途上国森づくり事業の全体概要及び平成23年度の事業要領案について
- ②平成22年度の事業実行結果について
- ③平成23年度の事業実施計画案について
- ④その他

### 2. 部会

部会は、年2回開催し、担当する業務の効率的な手法や具体的実施方法等を検討・審査を実施し、それらの具体的な課題を解決した。

#### 2.1 部会の構成

名称：開発地植生回復支援部会

部会長	小島 克己	東京大学 アジア生物資源環境研究センター	教授
委員	井上 真	東京大学大学院 農学生命科学研究科	教授
委員	岡部 宏秋	森林総合研究所 森林微生物研究領域	研究員
委員	太田 誠一	京都大学大学院 農学研究科	教授
委員	坂井 睦哉	コマツマーケティング&サポートインドネシア	取締役
委員	砂入 道夫	日本大学 生物資源科学部	教授
委員	田原 恒	森林総合研究所 生物工学研究領域	主任研究員

(五十音順)

## 2.2 部会の開催記録

### (1) 第1回 開発地植生回復支援部会

日時：23年8月1日（月）13:30~15:30

場所：文京シビックセンター 区民会議室 5階会議室D

議題：

- ①事業目的・全体計画の説明
- ②インドネシア予備調査結果報告
- ③コマツのインドネシア石炭採掘地における森林再生プロジェクト
- ④今年度の事業計画と実施スケジュール

### (2) 第2回 開発地植生回復支援部会

日時：24年2月17日（金）10:00~12:00

場所：林友ビル6階 日本森林林業振興会 中会議室

議題：

- ①全体の進捗状況報告
- ②森林回復技術開発モデル林造成計画
- ③森林回復モデル林造成対象地の土壌概要
- ④今年度の報告書案について

委員会、部会ともに議事概要については巻末の（資料）を参照。

# 第1章 鉱山、農業等人為開発地における森林・植生回復支援事業の目的と全体計画

国際緑化推進センター 仲摩栄一郎・佐々木恵彦

## 1) 鉱山、農業開発についての現状の認識

### 1. 鉱物、特に石炭採掘による森林減少と荒廃地化

鉱物のなかでも燃料としての石炭は、石油などの他の資源と比較して安価であることや、資源量が比較的多いことから、中国やインドなどの新興国で発電用を中心とした需要が急速に増えており、アジアを中心として需要が堅調である。中国は世界第一位の、インドは同三位の石炭生産国であるが、国際エネルギー機関 (IEA) は、今後これらの国において、さらに海外炭の輸入量が増加していくと予想している。

輸出量が最も多い国は、オーストラリアで、日本や韓国等への輸出などをはじめ、生産量の約7割を輸出している。インドネシアも同様に石炭を輸出しているが、近年は国内の電力需要の伸びが著しく、輸出用に加えて国内発電用の石炭利用も増加される計画となっている (エネルギー白書、2011)。

現在、このような新興国および日本も含めたアジア太平洋地域の石炭需要の増大により、アジア地域のなかでも貴重な熱帯林を有するインドネシアでは、石炭採掘の増加による森林の減少が深刻な問題となっている。石炭採掘によって天然林が減少し、人工林に置き換わる場所もあれば、採掘後に発生する酸性硫酸塩土壌により森林が回復せず荒廃した土地が増加しており重要な問題となっている。

### 2. 農業開発による森林減少と荒廃地化

インドネシアでは、農業開発による森林減少、荒廃地化も問題視されている。特に、1995年に開始され1999年に途中で終了した中央カリマンタンの泥炭湿地100万ha開発計画地域 (メガライズプロジェクト) では、排水により、地下水位が低下し、1997年や2002年のエルニーニョ現象で乾燥化が進んだ年には大森林 (土地) 火災が発生し森林の荒廃が進んでいる。また、高硫酸イオン濃度 (75.3~110 mg/L)、低 pH (2.6~2.9)、水銀の検出 (0.29  $\mu$ g/L) など水質が極度に悪化していることが明らかにされた (岩熊、2004)。このように一度、酸性硫酸塩土壌が発生した土地では、森林の回復が極めて困難である。

また、インドネシアにおいて農業開発により森林の回復が困難な地域として、熱帯モンスーン気候下での季節的な乾燥期間のある地域が挙げられる。特に顕著なのは、西ヌサテンガラ州や東ヌサテンガラ州であり、一度、森林が伐採された後は、乾期の乾燥及び森林火災の発生等により森林回復が困難であり、荒廃地化が進んでいる。

## 2) 開発地植生回復支援事業の目的と全体計画

### 1. 開発地植生回復支援事業の目的

鉱物採掘跡の放棄地や農業不適環境における過剰農業開発跡地では極端な酸性土壌やアルカリ性土壌などの問題土壌が発生しやすく、通常の植林樹種や植栽方法では活着率や成育状況が悪いことが多く、森林・植生が十分に回復せず、荒廃地化している場合が多い。

このような現状を打開するために、平成 23 年度からこのような森林回復困難地での植林・植生回復に焦点を絞った本事業が 4 年間の期間で推進されることとなった。

本事業では、こうした森林回復困難地域の環境条件、特に土壌条件に着目し、モデルとなる森林を造成しながら、このような実証活動を通じて自然科学的なデータを踏まえた上での適切な樹種選択や適切な植栽方法を用いた森林・植生回復技術を開発することとした。その上で、開発した技術を普及するために、現場で簡易に使用可能なレベルにまとめた技術指針を作成することを目的とする。

さらに、こうした開発跡地の植林・植生回復ならびに造成された森林の保全・持続的利用管理には周辺に住む地域住民の継続的な協力が不可欠である。そこで本事業では、地域住民の生計向上にも寄与するような植栽樹種の選択、非木材林産物（NTFP）やその他の有用植物の利用の可能性等についても検討する。



図 1-1. 石炭採掘跡の放棄地  
(インドネシア南カリマンタン)



図 1-2. 農業用地開発失敗地  
(インドネシア中央カリマンタン)

### 2. 開発地植生回復支援事業の実施内容

本事業の目的を達成するために、ア) 資料収集分析、イ) 現地調査・実証活動、ウ) ワークショップの開催、エ) 技術指針作成を実施する (図 1-3)。

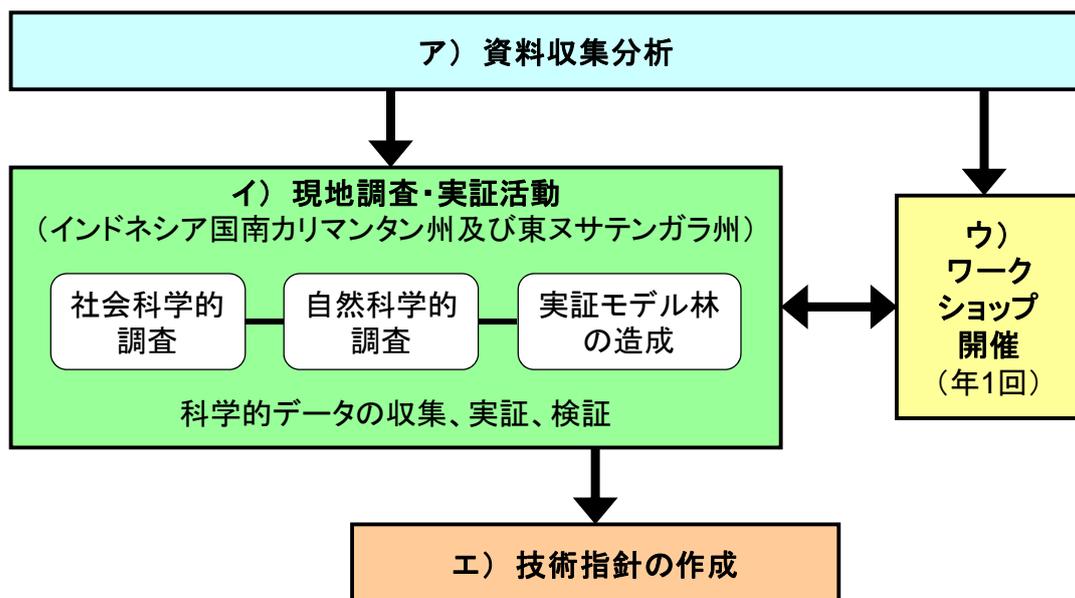


図 1-3. 開発地植生回復支援事業の進め方

## 2.1 資料収集分析

### (1) 開発地における土壌の分類・類型化

東南アジアにおける代表的な森林開発要因である石炭採掘及び農業用開発の跡地を問題土壌として取り上げ、酸性硫酸塩土壌とアルカリ性土壌等について分類する。最終成果品として、開発跡地における問題土壌の特性（土性、硬さ、透水性、pH 等）を簡易に判定するためのマニュアル（技術指針）を作成する。

### (2) 荒廃した土地ならびに周辺の森林及び疎林地の荒廃状況の把握

インドネシア南カリマンタン州を対象として、石炭鉱区の分布、土地被覆図、土地利用図等を用いて開発の現状を把握する。また、石炭採掘許可に関する法令についても情報を収集するとともに、対象地周辺地域の荒廃状況と保全地域の取り扱いについて、REDD プラスの動向も踏まえて調査・検討する。

### (3) 森林・植生回復に適用可能と考えられる森林施業技術

東南アジアにおける森林・植生回復に関する既存の文献・資料を収集し、適用可能と考えられる森林施業技術について情報を収集整理する。また、インドネシアの現地で実際に実施されている森林・植生回復事業のグッドプラクティスについて情報を収集分析する。

## 2.2 現地調査・実証活動

### (1) 森林回復技術開発モデル林の造成

インドネシアにおいて、代表的な鉱物採掘事業である石炭採掘跡事業の跡地として南カ

リマンタン州を、熱帯モンスーン気候下での農業開発跡地として東ヌサテンガラ州を現地調査・実証活動の対象地域として選定した。

インドネシア林業省の流域管理・社会林業総局及び地方出先機関である流域管理署をカウンターパートとして現地調査・実証活動を実施する。南カリマンタン州では民間企業2社の石炭採掘跡地（酸性土壌）、東ヌサテンガラ州では2つの村の住民による過放牧地（アルカリ性土壌）において、「森林回復技術開発モデル林」を造成することとした。

## (2) モデル林の立木の生育に関するデータ収集

石炭採掘跡地及び過放牧地それぞれの環境条件（気候、土壌）に耐性があると考えられる代表的な造林樹種をそれぞれ8種リストアップして、客土、リッピング、施肥や土壌改良等の造林試験を実施する。

造成したモデル林の管理を継続するとともに、造林試験の結果（樹種特性、植栽技術）を検証するために下記の通り立木の生育に関するデータを収集し、それぞれの開発地に適切な樹種ならびに植栽方法を検討する。

- ・環境条件・・・降水量、気温、地温、湿度、土壌水分、光条件等
- ・植栽木の生育・・・生存率、成長量（地際直径、樹高）

## (3) 土壌調査（pHおよび理化学性（物理性）のモニタリング）

南カリマンタン州の石炭採掘跡地のモデル林造成地（潜在酸性土壌）では、現在のところアルカリ性であるが、埋め戻し材料中には海成堆積物が多く含まれ、その中には強いH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>反応を示すものもあり、Pyrite（FeS<sub>2</sub>—黄鉄鉱）と同定される硫黄化合物が存在する。今後、植物の生育を阻害する酸性硫酸塩土壌（Acid Sulphate Soil-ASS）に変化する可能性が高い。そこで土壌pHのモニタリングを行う。

また、石炭採掘跡地は、下層土を用いて埋め戻し、重機で転圧されたため極めて緻密で硬質な土壌となっており、植栽を行う際の植え穴掘りや植栽木の根の伸張に困難が生じる。さらに、透水性が悪く排水不良で植栽木が過湿害によって枯損する事例も多い。そこで、本造林試験では、土壌表面のリッピング（かき起こし）や客土を実施して土壌改良を図ることとした。その効果を含めて土壌の圧密度の変化のモニタリングを行う。

## (4) 植生調査（原植生として天然林構成樹種の調査）

開発跡地の森林回復では、早成樹を一次緑化樹種としてまず植えて、土壌や微気象が改善された後に在来種を植えることで最終的に自然林に近い林に修復する方法がある。そこで、元々の自然林の構成樹種を把握するために、南カリマンタン州のモデル林造成地周辺に現存する天然林の調査を実施する。

## (5) 共生微生物調査

問題土壌へ適応している樹木または植物は、菌根菌（内生菌根菌、外生菌根菌）やバク

テリアとの共生をとおして適応能力を強化している場合が多い。菌根共生の形態、機能及び東南アジアにおける活用の現状について文献調査を実施するとともに、南カリマンタン州の石炭採掘跡地のモデル林造成地（潜在酸性土壌）周辺において、バクテリア、内生菌根、外生菌根等の抽出調査を行う。

#### (6) 社会経済調査

開発跡地の森林回復ならびに森林の保全・持続的利用管理には周辺に住む地域住民の継続的な協力が必要不可欠である。そこで、東ヌサテンガラ州の農牧開発地のモデル林造成地周辺の地域住民を対象として下記項目等について社会経済調査を実施する。

- ・土地権利および森林資源の所有・利用ルール
- ・森林減少の時期・原因およびそれに対する地域住民の対応
- ・地域住民ニーズのある植栽樹種、非木材林産物（NTFP）や有用植物の利用可能性
- ・本事業のモデル林の利用ルールと地域での普及可能性

### 2.3 ワークショップの開催

本事業の効果的な普及・啓発のため、ならびに森林保全・復旧方策を検討するために、調査対象地である南カリマンタン州および東ヌサテンガラ州においてワークショップを開催する。本事業の調査結果ならびに現地での既存の取り組み（グッドプラクティス）等の紹介を通して情報収集・情報交換を実施する。

また、適宜、現地協力機関と連携して地域住民向けの説明会も開催する。

### 2.4 技術指針の作成

上記の資料収集分析、現地調査・実証活動ならびにワークショップを開催した結果を基にして、自然科学及び社会科学的データに裏打ちされ、かつ現場で簡易に使用可能なレベルにまとめあげた「開発跡地の森林回復技術指針」を作成する（下記案）。

- (1) 開発跡地における問題土壌の簡易な判定手法
- (2) 問題土壌ごとに適切な樹種の選択手法
- (3) 問題土壌ごとに適切な植栽方法の選定手法
- (4) 地域住民の主体的参加を促す造林プロジェクト実施手順（土地権利、植栽樹種の選択、非木材林産物（NTFP）や有用植物の利用可能性）
- (5) 普及用の簡易版パンフレット作成

## 3. 開発地植生回復支援事業の実施計画（年度単位）

平成23年度から26年度までの4年間に実施予定の長期的計画（○）を以下に示す（表1-1）。

表 1-1. 開発地植生回復支援事業の実施計画（年度単位）

項目	23年度	24年度	25年度	26年度
ア) 資料収集分析	○	○	(○)	(○)
イ) 現地調査・実証活動				
土壌調査	○	○	(○)	(○)
植生調査	—	○	—	—
共生微生物調査	—	○	○	(○)
社会経済調査	○	○	(○)	(○)
モデル林の造成	○	○	○	—
モデル林の保育	—	○	○	○
生育データ収集	○	○	○	○
ウ) ワークショップ開催	○	○	○	○
エ) 技術指針の作成	作成準備	作成準備	バージョン1	バージョン2

※ ( ) については、必要に応じてモニタリングを実施する。

#### 4. 開発地植生回復支援事業の成果とその効果や活用方法

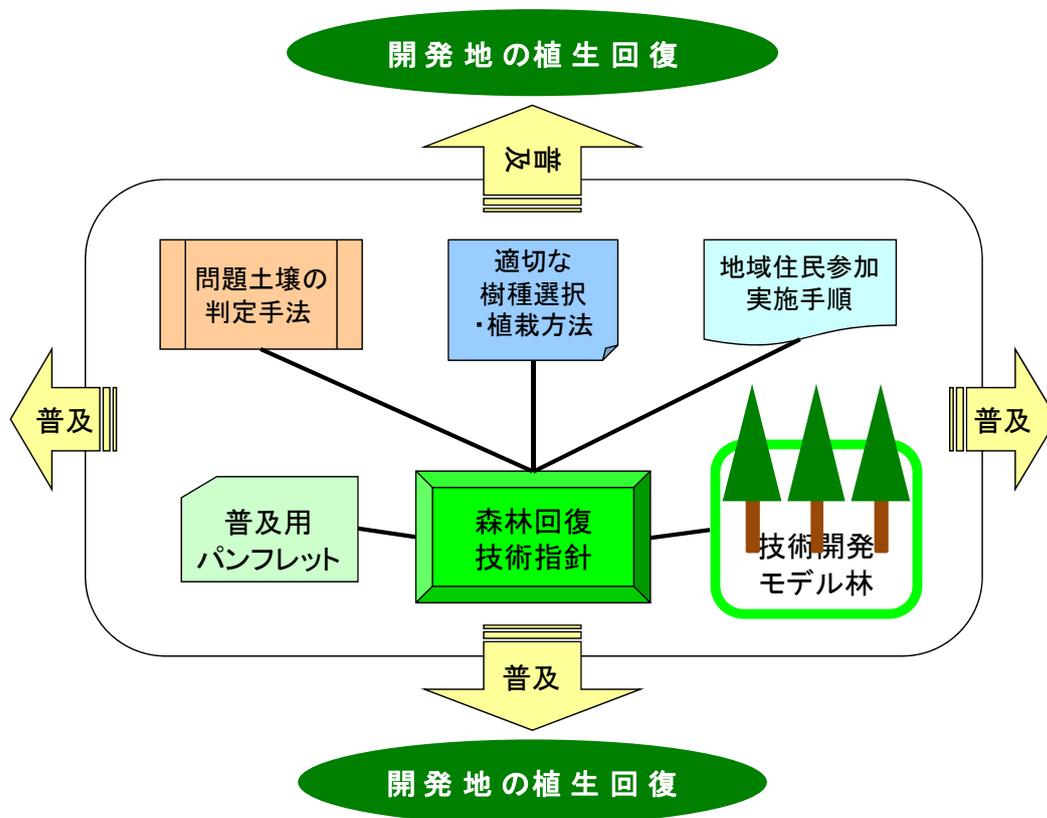


図 7. 事業の成果とその効果や活用方法のイメージ

## 引用文献

経済産業省資源エネルギー庁（2011）エネルギー白書 2011.

岩熊敏夫（2004）中央カリマンタン（ボルネオ）の低地湖沼生態系の長期研究、日本熱帯生態学会ニューズレター No.56 : 3-7

## 第2章 開発地の森林・植生回復に適用可能な技術の分析

### 1) 森林・植生回復に適用可能と考えられる森林施業技術の情報収集、分類・類型化

国際緑化推進センター 特別研究員 加茂 皓一

#### 1. はじめに

アジア太平洋地域では約 7000 万ヘクタールの熱帯林が過度の伐採あるいは移動耕作などにより荒廃し、森林が本来もっている再生可能な木材生産の機能だけでなく水土保持、保健休養あるいは炭素蓄積などの機能が失われている。森林を再生し、これらの森林機能を回復させるため、各地の荒廃地で森林の再生に関わる調査、研究が行われているが、その技術の確立は今後の課題である。

ここでは、荒廃地再生技術の発展に資するため、荒廃地造林についての既存の文献資料を収集し分類、類型化するとともに、荒廃地再生に適用可能な技術を整理した。まず荒廃地の再生に係る荒廃の程度や気象条件と再生の方法・目標を整理して類型区分し、収集した荒廃地造林の既存文献資料をその類型区分にしたがって整理し、どのような荒廃地でどのような方法と目標を持った技術試験が行われてきたかを把握できるようにした。そして、荒廃地に適用可能な施業技術をそれらの文献資料だけでなく個別の施業技術について他の文献資料からも集め、育苗から保育までの個々の施業について取りまとめた。

#### 2. 荒廃地の再生に関わる要件

荒廃地の再生に強く影響するのは、まず立地の荒廃の程度である。著しく疲弊している土地ほど再生に多大な努力を要する。そして再生してくる植物の生育に影響するのが温度、水分、養分である。熱帯では植物の生育に必要な温度は十分あるので、水分と養分が問題になる。各立地に供給される水分は雨量が、また植物が利用できる水分、養分は土壌の状態が大きく影響する。ここでは立地の荒廃の程度を分類し、対象地域の東南アジアの気候を概観する。土壌についてはすでに述べられている。

##### 2.1 荒廃の程度

荒廃地とは、人為や自然要因攪乱により草原や無立木地で植生遷移が停滞している立地 (Bruenig 1996) であり、荒廃の程度は植被と土壌の攪乱の強さによって決まり (図 2-1)、次ぎの 3 つに大別されている (Aber 1987)。

1) 軽度の攪乱地：植被は一部攪乱されているが、土壌の攪乱はほとんど起こっていない。適度の択伐が行われた森林などが該当する。

2) 中度の攪乱地：植被と土壌の双方が攪乱されている。土壌養分や水分が低下している焼畑跡地、チガヤ草原などこれに当たる。

3) 重度の攪乱地：植被がなくなり、土壌は大きく改変されている。土壌有機物が喪失し、土壌構造は完全に破壊され、有毒物質が残存しているような鉱山採石跡地や土壌の有機層が完全に消失している大規模な浸食地、また農業開発後の泥炭湿地や塩類化土壌地などが該当する。

中度と重度の攪乱地では植物に水分と養分を供給する養分に富み団粒状構造の発達した表層土壌が破壊され、特に重度の攪乱地では表層土壌が完全に消失していることが植生の自然再生を困難にしている。

ここでは荒廃した裸地の森林再生が課題であるので、中度攪乱と強度攪乱を対象にした既往の試験・研究事例を調べ、各資料を中度攪乱（焼畑跡地、チガヤ草原等）、強度攪乱（鉱山跡地、伐採集材跡地、低湿地等）に分類した。

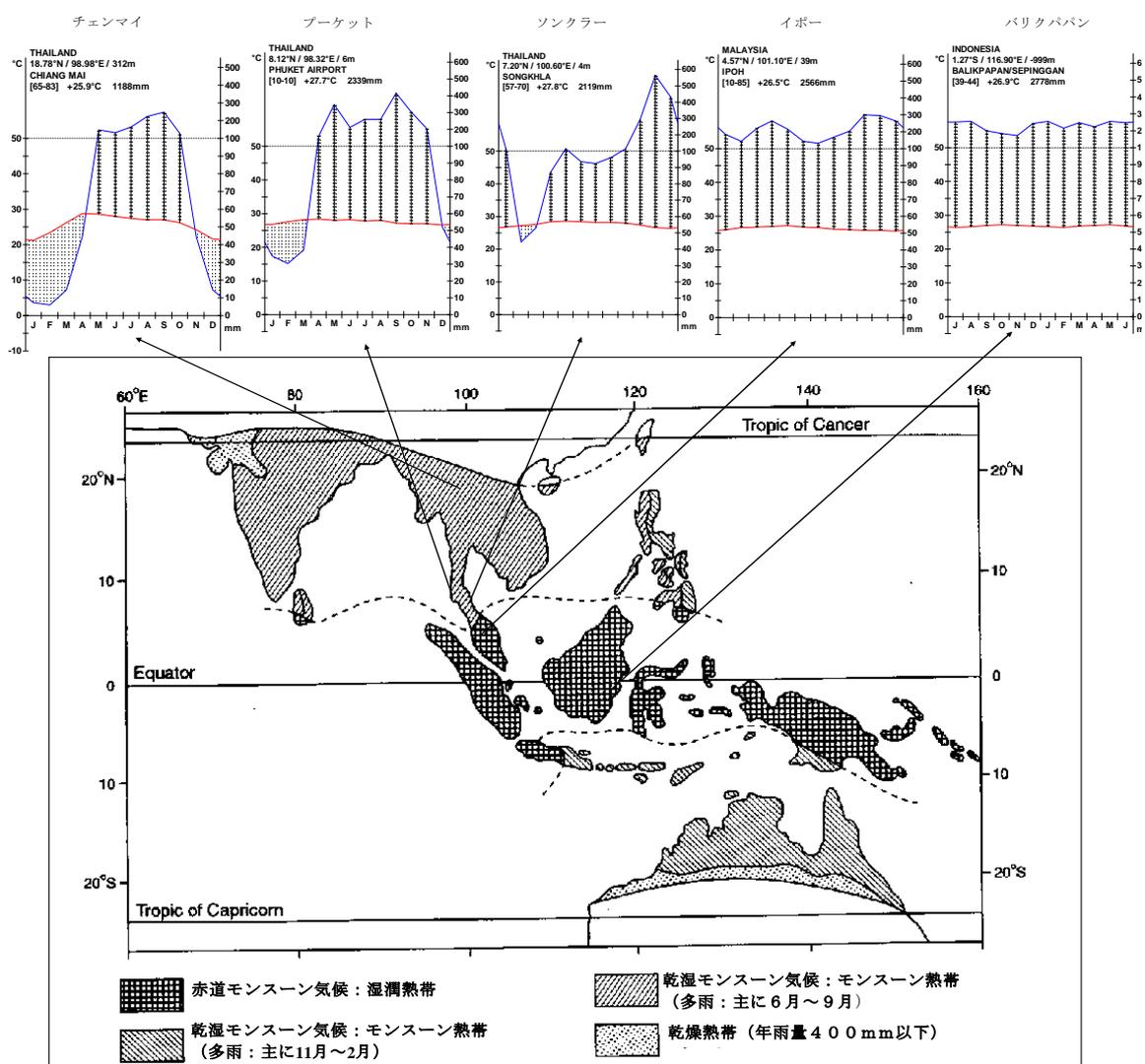


図 2-1. アジア太平洋地域の気候概略図 (McGregor & Nieuwolt, 1998 より)

各地のワルターの気候図 (CD1 - Climate Diagram World Atlas より)

## 2.2 気候

各立地の水分条件を決めるのは、降水量の大小でなく降水量の一年間の配布状態である。東南アジアの気候は、この地域が半島と数多くの島々からなっているため海洋性気候が強いことと、モンスーン（季節風）の影響を強く受けることが特徴で、次ぎの2つに大別される（図 2-1）（吉良 1983；McGregor & Nieuwolt 1998）。

赤道モンスーン気候（最小雨量月の降水量が 60mm/月以上：湿潤熱帯）

マレー半島南部、スマトラ島、ボルネオ島、セレベス島、ニューギニア島の大部分、ジャワ島西部などの北緯 8 度から南緯 10 度の地帯。南西、東北 2 つのモンスーンが一年を通して降雨をもたらし、林木の生活が休止状態に近づく月雨量が 50～60mm 以下の乾期がない湿潤多雨の気候である。ただし、エル・ニーニョが起きると、この地域は乾燥しやすくなる。1982 年～1983 年のエル・ニーニョでは、典型的赤道モンスーン気候が卓越するボルネオ島でも干ばつに見舞われ、東カリマンタンで森林火災が起り、広大な面積が被害を受けた。またサバでも山火事が起り、人工林などが消失した。この時期の荒廃地植林試験では植林後干ばつに見舞われ、十分な成果が得られていない。この地域で荒廃地造林を実施する際、近年地球温暖化によって発生頻度が高まっていると言われていたエル・ニーニョの動向に注意を払う必要がある。

乾湿モンスーン気候（モンスーン熱帯）

異なった二つのモンスーンが各々降雨と乾燥をもたらし、明瞭な雨季と乾季があらわれる。北半球ではマレー半島の北部、東南アジア大陸部、フィリピン諸島の大部分、南半球でジャワ島東部から東側がこの気候帯に属する。大陸部では湿った南西モンスーンが主に夏に、乾いた東北モンスーンが主に冬に優勢になり、各々雨季、乾季となる。乾季は赤道から離れるほど長くなり（図 2-1）、例えばタイ南部のソンクラでは平均 1 ヶ月程度であるが、タイ北部のチェンマイでは平均 5 ヶ月になる。ただし乾湿モンスーンの強さや交代期が年によって変動し、乾季、雨季の時期、長さには年変動がある。造林作業を行う際に、このことに留意しなければならない。

乾季は森林の再生や成長に多大な影響を与える。乾季に起こる野火は森林造成のもっとも深刻な問題の 1 つであり、また雨季に植林しても乾季に多くの苗木が消失しやすく、多くの樹木が乾季に長短はあるが成長を停止するので樹木の成長期間も湿潤熱帯より短い。このような乾季の存在による森林の再生のしにくさが東南アジアでモンスーン熱帯の方が湿潤熱帯より森林破壊の程度が大きいことに関係していると考えられる。

各既存資料を湿潤熱帯とモンスーン熱帯に分け、乾季の長さが分かったものは記した。

## 2.3 土壌

土壌は赤色酸性土壌や、塩類化土壌、酸性硫酸塩土壌、BRIS 土壌などが問題になるが、土壌の詳しい記述がある資料は少なかった。

## 3. 植生回復の方法・目標

荒廃地を再生させるに当たっては、再生の方法と目標の大筋を定めて置く必要がある。

Lamb (1994, 1997)は森林修復の目標を次ぎの3つに大別している。

復元 (restoration) : 種構成も林分構造も同じ元の森林に戻す。

修復 (rehabilitation) : 在来樹種を主とした森林を造成する。ただし厳しい荒廃地を緑化するため経済的にも生態的に必要な外来樹種は利用する。

再生 (reclamation) (単一外来樹種造林) : 厳しい荒廃地を緑化するため経済的にも生態的にも優れた外来樹種のみを使う。

さらに、再生から出発し途中で在来種を樹下植栽し、修復に変更する方法もある。そこで再生-修復を加え、各々の資料がどれに該当するかを記した。

復元では超多樹種造林による超多樹種混交林、修復では多樹種造林による混交林、再生では単一樹種造林による単一樹種林の育成が基本となる。そして再生は蓄積 (現存量) を高めることが、修復と復元は蓄積とともに生物多様性を高めることが目標になる。

次に目標林の機能は、木材やパルプ材の林業生産を目的とした産業造林と経済的な枠組みの中の林業生産でなく非経済的な環境の修復を目的とした環境造林 (佐々木 1992) に大別される。ここでもこの分類に従う。ただし森林は本来林業生産と環境保全の2つの機能を持っているので、はっきり分けられない場合もある。

荒廃の程度と植栽回復の方法・目標をまとめたのが図 2-2 である。

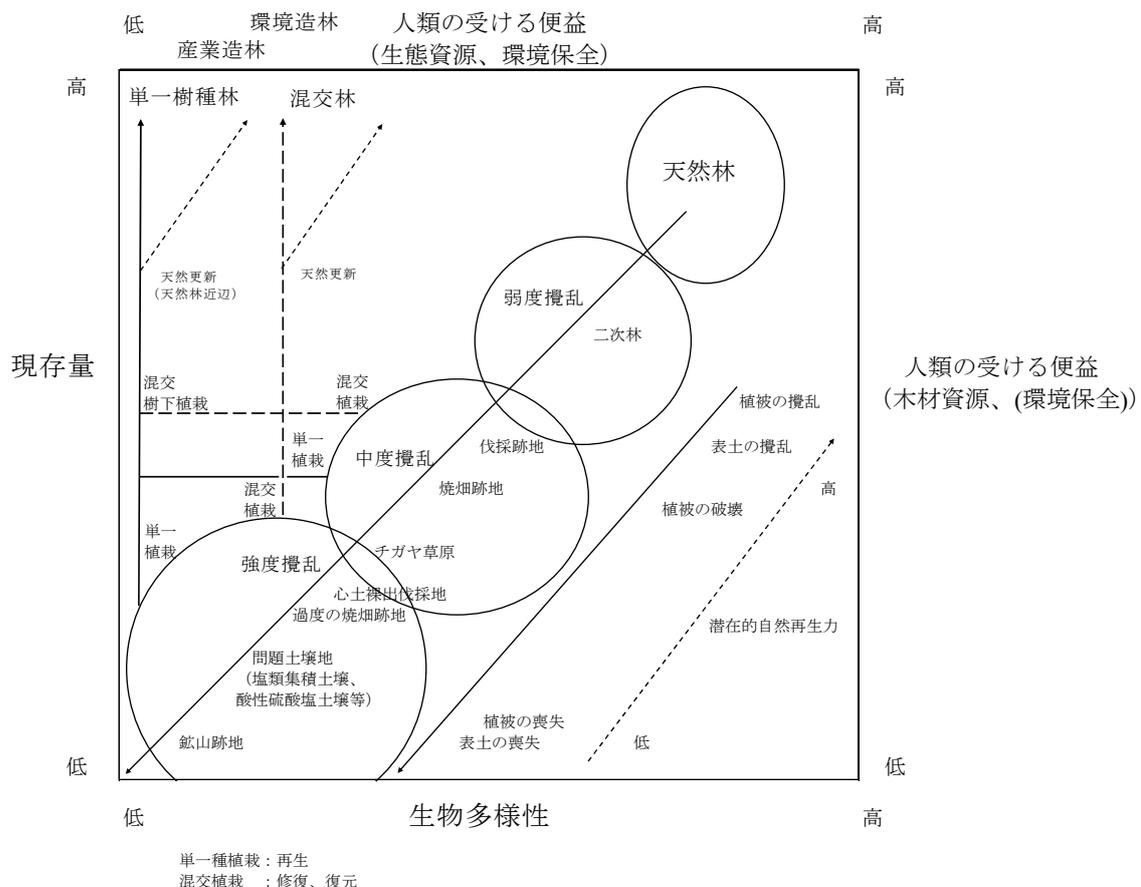


図 2-2. 森林の攪乱と再生、修復、復元の流れの概念図 (Lamb (2011)を参考にして描く)

#### 4. 荒廃地再生技術の既往の文献情報：分類、類型化

荒廃地の攪乱の程度、気候、再生方法等が異なる植栽試験の文献・資料を整理し、以下に取りまとめた。今後の技術開発が重要な課題であるので、試験結果がはっきりしない文献・資料でも試験方法については詳しく記述した。なお焼畑跡地としたものはチガヤ草原かどうかの記述のないものがあった。焼畑跡地の中にはチガヤ草原が含まれている可能性がある。

##### 4.1 植樹造林

分類：強度~中度の攪乱地（鉱山跡地、焼畑跡地、二次林荒廃地）、モンスーン熱帯（乾季、3~6ヶ月）、再生・修復、環境造林・産業造林

「タイの熱帯荒廃地における生物生産の向上」（Kanzaki et al. 1991<sup>a</sup>）

① 目的：荒廃地の生物生産力の改善および回復を目的にタイ国内で土壌型、気候、土壌荒廃の原因がそれぞれ異なる4箇所の荒廃地（wasteland）を選定し、人工更新による植生回復過程を1984年から7年間調べた。

② 植栽地：錫鉱跡地（南タイ Phangnga 県 Takua Pa (8°52'N, 98°20'E, 10m alt)、荒廃した dry dipterocarp forest 地域内過伐跡地（中部タイ Ratchaburi 県 Ratchaburi (13°35'N, 99°44'E, 40m alt)）、低地の移動耕作跡地（東北タイ Kalasin 県 Somdet (16°35'N, 103°40'E, 200m alt)）、高地（標高 1200m）の移動耕作跡地（北タイ Chengmai 県 Huey Tung Jaw (19°10'N, 98°40'E, 1200m alt)）

③ 植栽樹種：*Eucalyptus camaldulensis*, *Pterocarpus macrocarpus*, *Cassia angustifolia*, *Acacia mangium*, *Pinus kesiya*, *Cunninghamia lanceolata*, *Chamaecyparis obtusa*, *Cryptomeria japonica*, *Calliandra calothyrsus*（多目的灌木）、*Paulownia* spp.（各試験地で植栽樹種が異なる。*E. camaldulensis*は Huey Tung Jaw を除き各試験地で植栽。）

④ 植栽時に、農業用トラクターによる耕耘、化学肥料（15:15:15 NPK）、堆肥、マルチングを施した試験区および対照区を設定した。また錫鉱跡地で土壌が極度に悪化している Takua Pa では植え穴（0.5×0.5×0.5m）に粘土を客土し、堆肥を混入し化学肥料を施肥し土壌改良した試験区も設けた。

⑤ 結果：*Eucalyptus camaldulensis*の年平均幹重量増加量は、Takua Pa で 0.13 t/ha yr、Ratchaburi で 3.9 t/ha yr、Somdet で 11.1 t/ha yr であり、Takua Pa できわめて小さかった。Somdet での増加量はタイの本種の平均的な値であった。

Takua Pa で 4.4 年生 *E. camaldulensis* 平均現存量は、化学肥料、堆肥施用区では無施肥区の 14 倍となり、著しい施肥効果が認められた。さらに客土処理と施肥をした試験区では無肥料試験区の 31 倍と驚異的な処理効果が認められた。またマルチングによっても現存量が無施肥区に比べて著しく増加し、顕著なマルチング効果があった。これはマルチングによって乾季の高温、土壌水分の低下が著しく緩和されたことと、マルチングと施肥

が土壌の肥沃度を改善したためであると推測される。また無処理区では *E.camaldulensis* は処理区より成長は劣るが、植栽後成長を続け、生存率も高く、本種のせき悪土壌に対する耐性の強さが示された。他の試験区では各処理効果はやや認められるか、ほとんどなかった。高地の移動耕作跡地では外来および在来針葉樹の死亡率が高く、本試験では有望な造林樹種は見いだせなかった。ただし広葉樹の多目的灌木 *C. calothyrsus* は森林再生の初期段階で有用な樹種であることがわかった。

**分類：強度の攪乱地（BRIS 土壌、強酸性土壌、塩類化土壌）、湿潤熱帯～モンスーン熱帯、再生・修復、環境造林・産業造林**

「せき悪地の地力改善と生産力の回復」（国際緑化推進センター1998、2000、脇 2001）

東南アジアに分布するせき悪地の生産力の回復と緑地環境の改善をはかるため、養分、水分の保持力が著しく低い砂壤土（BRIS 土壌）、漂白作用を受けた強酸性土壌（赤黄色ポドゾル土壌）、可溶性塩が植物の成長を阻害する内陸塩類化土壌で種々の地表処理を施した植栽試験を行った。

(1) BRIS 土壌：マレー半島東部、湿潤熱帯

① 植栽樹種：*Acaica auriculiformis*, *A. mangium*, *Hopea odorata*, *Casuarina equisetifolia*, *Cinnamomum iner*, *Melaleuca cajuputi*

② 処理：単植区：無施肥区、マルチング（椰子殻）、マルチング＋遅効性肥料 50g/本、マルチング＋遅効性肥料 100g/本、マルチング＋化成肥料 5g/本＋リン鉱石；混植区処理：地被植物導入区（リン鉱石を表面散布し、その後尿素 100kg/ha 散布）、化成肥料 5g/本。

③ 結果：生存率は *A. auriculiformis* で 70~90%、*A. mangium* で約 50%、他の樹種は 30%以下。18ヶ月間の成長量は *A.auriculiformis* と *A.mangium* が他の樹種より著しく大きかった。単植区ではマルチング＋肥料の効果が認められたが、混植区ではなかった。他の樹種は異常乾燥の影響で成長を比較できなかった。高温のため裸地への地被植物は導入できなかった。BRIS 土壌では *A.auriculiformis* が導入可能樹種と見られる。

(2) 強酸性土壌：スマトラ島、リアウ州、湿潤熱帯

① 植栽樹種：フェーズ 1：*Paraserianthes falcataria*, *A. magnium*, *Peronema canescense*, フェーズ 2：*Swietenia macrophylla*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus deglupta*

② 処理：有機肥料（牛糞 200g/本）、有機肥料＋化成肥料（100g/本）、有機肥料＋化成肥料＋石灰（45g/本）、化成肥料＋石灰

③ 結果：生存率はフェーズ 1 では干ばつにより、フェーズ 2 では森林火災により低かった。*Gmelina arborea* が 83%で他の樹種は 30%以下。成長量：フェーズ 1：15ヶ月間の成長は *A. mangium* が最大。酸性矯正のための石灰施用は樹高成長を抑制する傾向があった。有機肥料（牛糞）の効果は大きかったが、化成肥料を連用するとさらに効果が高まった。

フェーズ2：植栽後11~24ヶ月の成長量は *E. deglupta* が最大で、*G. arborea* には先枯が発生。石灰の効果は認められなかった。施肥により土壤肥沃度が改善され、成長が高まった。チガヤは除草剤散布後火入れをすると完全に消失しないが、火入れ後除草剤散布するとほぼ消失することが、環境汚染の可能性はあるが、分かった。強酸性土壤では *A. mangium* の成長が良好であった。

(3) 塩類化土壤：東北タイ、カラシン州、モンスーン熱帯

① 植栽樹種：*E. camaldulensis*, *Albizzia lebeck*

② 処理：無施肥、ドロマイト（苦土石灰 1250kg/ha）、ドロマイト+堆肥 1kg/本、ドロマイト+化成肥料 100g/本、全処理区に籾殻 1kg/本をマルチング

③ 結果：生存率は *E. camaldulensis* が *A. lebeck* より高い傾向があった。植栽後7ヶ月~34ヶ月の成長は単植区、混植とも *E. camaldulensis* が *A. lebeck* より著しく大きかった。混植区では *E. camaldulensis* の成長が特に大きかった。*E. camaldulensis* は *A. lebeck* より葉のナトリウム濃度が 1.3~2.2 倍高く、耐塩性も高いことが分かった。施肥効果も認められ、特に即効性の化成肥料の効果が顕著であった。

椰子殻や籾殻のマルチにより、大きな土壤水分保持効果が認められた。

塩類化土壤では *E. camaldulensis* が導入可能とみられる。

**分類：強度の攪乱地（天然林伐採集材跡地）、湿潤熱帯、修復、環境造林**

「攪乱された伐採集材路跡地におけるフタバガキ科樹種の植栽」(Nussbaum et al. 1995)

① 目的：伐採後集材作業で攪乱された裸地の緑化。

② 試験地：マレーシア、東部サバ、Ulu Segama 保護林(5°0'N,117°30'E)、約1年前に天然林が伐採され、ブルドーザーで攪乱された広い集材路跡裸地、土壤が固められ水分状態が悪く、多くの表土が除去され土壤有機物がなくなり、土壤浸食が起り、陽性の蔓植物や竹類が繁茂し、天然更新を妨げている。マレーシアではこのような攪乱地が伐採地の40%を占めると推定されている。

③ 樹種：フタバガキ科 (*Dryobalanops lanceolata*, *Shorea leprosula*)、先駆樹種 (*Macaranga hypoleuca*, *M. gigantea*)

④ 方法：苗畑：森林の表層土を入れた4×12cmのポリバックで育苗。菌根菌の感染を促すため母樹周辺の表層土を少し混入。二重のネットで被陰（相対照度：25%）。植栽10日前に被陰ネット除去。全ての苗木に菌根菌の感染確認。

⑤ 裸地処理区：1) 堅い土壤（無処理）、2) 堅い土壤+施肥、3) 堅い土壤+マルチング、4) 掘り起こし土壤、5) 掘り起こし土壤+施肥、6) 掘り起こし土壤+マルチング、7) 客土。

⑥ 掘り起こし：深さ30cm、植栽2, 3週間前処理、施肥：各植え穴に植栽時100gの岩石リン酸塩を入れ、40gの粒状肥料(12:12:17 N:P:K+微量栄養素)を植栽時と植栽6ヶ月後に施用、粒状肥料は土壤浸食による流亡を防ぐため各植栽木から10cm離れた環状に表土の下に施用。マルチング処理：一年前伐採木の樹皮片を方形区(2×1m)に被覆。

客土処理：方形区内の表層 30cm を除去し、近くの攪乱されていない天然林の表層 30cm の土壌を客土。植え穴 (20cm×20cm×20cm)。

土壌分析結果、無処理区：土壌養分が極めて少ない、客土区：無処理区土壌より非常に肥沃、掘り起こし区：無処理区より土壌密度が低下し、水分保持力が著しく高い。

⑦ 結果：施肥によって植栽 6 ヶ月後の成長は両樹種とも土壌の掘り起こしの有無に関わらず約 3 倍増加し、植栽 1 年後には施肥と無施肥の差はさらに増加した。掘り起こしの成長に対する効果はわずかであった。堅い土壌でマルチングした場合、成長量はやや増加した、これはマルチングによって利用できる水分が増加したことによると推測される。掘り起こし土壌では *M. hypoleuca* を除いて成長量が減少した。この原因はマルチングにより滞水が起こったためだと推測される。森林土壌の客土は施肥に匹敵する成長促進効果をもたらした。客土区では先駆樹種を含む植物が埋土種子から天然更新し、その数は客土しなかった方形区の 35 倍であった。荒廃地の緑化に天然林の土壌を利用できる可能性がある。

**分類：強度の攪乱地 (低湿地酸性硫酸塩土壌、砂地)、モンスーン熱帯 (乾季、3 ヶ月)、修復、環境造林**

「タイ南部熱帯低湿地での森林再生」(小島他 1998)

① 目的：低湿地の酸性硫酸塩土壌と周囲の砂地での在来種の育成

② 試験地：南タイ、ナラティワート県、湿地林の農地造成により荒廃した低湿地、植栽地 1：泥炭土壌 (強酸性、貧栄養、物理性不良) で植物の生育が困難な酸性硫酸塩土壌；植栽地 2：湿地の周囲、1~2m 高い砂地、保肥力、保水力が極めて乏しい未熟土壌。植栽地 1, 2 とも乾季の乾燥と雨季の冠水が問題。

③ 方法、結果：植栽地 1：湿地林構成種を中心 35 種以上の樹種を植林 (王室林野局)、その中で *Macaranga pruinosa*, *Sterculia bicolor*, *Baccaurea bracteata*, *Syzygium oblatum*, *S. kunstleri* の成長が良好。*Acacia mangium* は高さ 30cm の盛り土をして植栽すると、生存、成長とも良い。二次林の主要構成種である *Melaleuca cajuputi* は滞水ストレス耐性が強く、酸性土壌での制限要因の一つであるアルミニウム耐性が強いが、地元での経済的価値は低い。経済的価値を高めることが課題。

砂地：フタバガキ科 *Shorea roxburghii*, *Hopea odorata*, *Dipterocarpus chartaceus*, *D. alatus* 植栽、いずれも植栽後 3 ヶ月間の活着率は高い、その後乾季に多数枯死。

*Acacia mangium* 植栽 (1m×2m)、活着率高く、植栽 3 年後の樹高 8~10m。土壌が硬い土壌盤層箇所では成長不良。*Acacia mangium* の列間に同時に上記フタバガキ科樹種を植栽、*A. mangium* の林冠閉鎖後 *D. alatus* と *H. odora* の成長は *A. mangium* と混植していない区より良くなり、砂地土壌でも *A. mangium* の被陰樹効果が認められた。同じマメ科の *Paraserianthes falcataria* はアルミニウムによる成長阻害が小さかった。

**分類：強度の攪乱地 (低湿地酸性硫酸塩土壌、砂地)、モンスーン熱帯 (乾季、3 ヶ月)、修復、環境造林**

「タイ南部荒廃地における造林技術の開発」(丹下&小島 2004 ; 丹下 2000)

試験地：南タイ、ナラティワート県バチョ (6°30'N, 101°45'E,)

植栽地 I：砂地 (砂質土壌：雨が多い時期は滞水)。

試験 I：大きさの異なるポットで育苗した苗木の植栽後の活着と成長

① 方法：大型 (24×31cm) と小型 (11×14cm) のビニールポットでフタバガキ科樹種 6 種 (*Anisoptera costata*, *Dipterocarpus chartaceus*, *D. obtusifolius*, *Hopea odorata*, *Shorea roxburghii*) を育苗。植栽 2 ヶ月前に小ポット区苗木を大ポットに移植し、大ポット区、小ポット区、移植区を設定。植栽地は表層約 20cm 耕耘、各処理区で約 60 本 (1×1m) 植栽

② 結果：植栽 7 ヶ月後の活着率は、何れの樹種も大ポット区 (活着率 49~100%) が小ポット区 (活着率 22~89%) より大きかった。*Anisoptera costata* 以外は移植区の方が小ポット区より活着率が高かった。大ポット区では小ポット区より苗木の乾重が大きく、大きなポットで育苗した大苗は小苗に比べて裸地での活着が期待できそうである。

試験 II：苗畑における苗木の光硬化処理と植栽後苗木の活着

① 方法：フタバガキ科 6 種 *D. obtusifolius*, *H. odorata*, *Neobalanocarpus heimii*, *Shorea leprosula*, *S. roxburghii* を砂と沖積土壌混合培土を入れたビニールポット育苗。植栽 3 ヶ月前に苗木を半数ずつ相対日射量 5% の被陰 (無処理区) と全天空下 (光硬化苗) に置き、無処理苗と光硬化苗をそれぞれ裸地と 5 年生フタバガキ・*A mangium* 混交林に植栽し苗木の活着を調べた。

② 結果：植栽 3 ヶ月後の裸地での活着率は *H. odorata* と *N. heimii* で光硬化処苗が無処理苗より有意で大きかったが、他の樹種では違いは認められなかった。混交林内に植栽した苗木も同様の結果になった。光硬化処理によって、裸地だけでなく林内でも活着率が向上する樹種があることが分かった。

植栽地 II：酸性硫酸塩土壌

試験：泥炭湿地における森林再生

① 方法：盛り土 (高さ約 30cm) を作り *Syzygium kunstreli* など湿地林在来種 5 種を植栽、植栽木の成長に対する盛り土の効果を調べた。

② 結果：盛り土の有無による成長差は植栽当初に大きく、成長にともなって小さくなった。盛り土が植栽木の初期成長を促進することが明らかになった。

分類：強度の攪乱地 (鉱山跡地)、湿潤熱帯、再生、環境造林

「半島マレーシアの錫鉱山跡地におけるマメ科 3 樹種の成長」(Awang 1994)

① 目的：鉱山跡地の外来マメ科樹木による森林再生

② 試験地：15 年以上前の錫鉱山跡地、土壌：Entisol

③ 方法：*Acacia auriculiformis*, *A. mangium*, *Leucaena diversifolia*、3 樹種の各々の 2 産地 (provenance) を植栽 (2×1m 間隔)。植栽前に根粒菌を接種。植栽地は深さ 30cm まで円盤裁断機で耕耘 (disc ploughed)。その後回転耕耘機で深さ 15cm まで耕耘。排水路を西側と南

側の境界に設置。3~4ヶ月毎に除草剤散布。無施肥。

③ 結果：植栽18ヶ月後の生存率は3樹種とも高く、アカシア2樹種は93%以上、成長量は *A. auriculiformis* > *A. mangium* > *L. diversifolia* となった。各樹種の産地間には有意な差はなかった。これらの樹種、特に *A. auriculiformis*、*A. mangium* は錫鉱山跡地植栽樹種として有望とみられる。

**分類：強度の攪乱地（鉱山跡地）、モンスーン熱帯（年雨量：720mm 乾季：6ヶ月）、修復、環境造林**

「鉱山跡地における新規生態系（novel ecosystem）の造成」（Lamb 2011）

① 目的：鉱山採掘前の植生構成種とは異なるが、樹木、灌木、草本の植生構成が類似し、自然再生が可能な新しい植生を造成し、鉱山跡地の環境保全を図る。林業的な利用は考えない。

② 場所：オーストラリア北部、Kidston 金山跡地、アルカリ土壌、周囲は灌木林、

③ 方法：試験地の気候と土壌環境に耐性があると見られる樹木、灌木を約30種（少なくとも *Myrtaceae*、*Mimosaceae* と *Casuarinaceae* か *Proteaceae* を含む）を植栽

④ 結果：植栽3年後の各樹種の生存率は17~95%で、全ての樹種が生存し、すでに実をつけ、天然生稚樹が成立している樹種があった。

次の段階として、植栽より経費節減が可能な直まき法による植生造成を行うため、本試験から強い環境耐性を持つと認められた樹種を直播きし、追跡調査を行っている。

⑤ 成果：極せき悪地で多数の樹木と灌木の混植によって自己再生（天然更新）可能な植物群落を造成できる見通しが立った。

**分類：中度の攪乱地（チガヤ草原）、湿潤熱帯、再生・修復、産業造林**

「*Imperata* 草原における人工林造成」（Otsamo 2001）

① 目的：チガヤ（*Imperata cylindrica*）草原の産業用人工林への転換と2代目造林樹種の選定。

② 植栽地：インドネシア、西カリマンタン、Riam Kiwa パイロット造林地（3°30'S, 115°E.）。年降水量2113mm。土壌：Acrisols、Ultisols。土壌：リンが少ない。物理性は良好。

③ 方法・結果：

A. 1代目造林：植栽樹種83種の中で外来樹種の *Acacia mangium*、*A. crassicarpa*、*A. auriculiformis*、*A. aulacocarpa*、*Gmelina arborea*、*Cassia siamea*、*Paraserianthes falcataria* の初期成長が良好。その後 *Acacia crassicarpa*、*A. cininnata* の多くは消失し、*P. falcataria* は活力が著しく低下。*Paraserianthes falcataria* と *G.arborea* は立地感受性が高く、*C. siamea* は材質が不良。総合的に *A. mangium* が草原の1代目植栽樹種に最適。ユーカリ類やマツ類の成長はこれらの樹種より劣った。在来樹種の生存、成長は外来樹種に及ばなかったが、在来種の中で *Anisoptera marginata* が比較的高い生存率を示し、潜

在的な草原植栽可能樹種と推測される。

*Acacia mangium* の材積成長量は全面耕耘すると、筋状に耕耘するより 3 倍大きくなった。これは全面耕耘により植栽木の根と競合するチガヤの根が除去されたためである。全面耕耘に施肥を組み合わせると *G. arborea*、*P. falcataria*、*A. mangium* の成長が促進された。*Gmelina arborea*、*A. mangium* にはリン酸の施肥が不可欠である。

B. 2 代目造林：*A. mangium* の潜在能力がもっとも高い、天然更新による造成も期待できる。

草地植栽から 2 代目林造成までを考え、林業の基本である保続性を追求した今回の取りまとめでは唯一の論文。

#### 分類：中度の攪乱地（チガヤ草原）、湿潤熱帯、修復、環境造林

「赤色酸性土壌地域での森林再生」（小島他 1998）

① 目的：チガヤ草地でのフタバガキ科樹種の育成

② 場所：インドネシア東カリマンタン州スブル、山火事後の焼き畑跡地でチガヤ草原、赤色の酸性土壌（貧栄養、透水性、通気性が悪いが林木の成長を大きく阻害しない）

③ 植栽樹種：*Shorea leprosula*、*S. mecistopteryx*、*S. pauciflora*、*S. pinanga*、*S. seminis*、*S. stenoptera*、(*S. smithiana*、*S. johorensis*、*S. ovalis*、*S. curtisii*)

④ 方法：苗木を苗畑で（1）水分を十分に与えた露天下、（2）寒冷紗による被陰下、で育成し、チガヤ草原に植栽し成長比較。

⑤ 結果 *Shorea leprosula* は苗畑露天下で成長良好、裸地植栽でも成長比較的良好、裸地に適した生理的特性保持、*S. stenoptera* は苗畑被陰下で成長良好。苗畑被陰下から裸地に植栽した *S. smithiana*、*S. mecistopteryx*、*S. johorensis*、*S. ovalis*、*S. curtisii* は当初葉が日焼けなどを起こしたが新葉が展開し、成長した。

#### 分類：中度の攪乱地（焼畑跡地）、湿潤熱帯、修復、環境造林

「丘陵性熱帯雨林生態系の持続的生物生産技術の開発」（櫻井 1998；櫻井他 2005）

① 目的：焼畑後跡地を在来樹種林に修復。

② 試験地：マレーシア、サラワク州、バンカム（ミリの近く）、天然林伐採後の焼き畑跡地：アクリソル土壌（粘土集積）とアレノソル土壌（砂地）が不規則に分布。強酸性でケイ酸質の多い、極めて貧栄養土壌。急傾斜地が多く、土壌侵食と小規模の地滑りが多発。

③. 1. 1996 年植栽試験

植栽樹種：*Shorea macrophylla*（谷筋、斜面下部）、*Dryobalanops aromatica*（斜面中腹、上部） 方法：筋植え（列間 5m、苗間 2m（1,000 本/ha）；植栽時処理：遅効性被覆肥料区、化学肥料施肥区、植栽時遮光処理区、無処理区

結果；植栽 1 年後の生存率は *S. macrophylla* で 77%、*D. aromatica* で 59.9%であったがその後の大干ばつにより、生存率は著しく低下。

③. 2. 1997 年植栽試験：1996 年フタバガキ科の一斉開花。多種、多量の種子を採取。

植栽樹種：*S. macrophylla*, *D. aromatica*, *D. lanceolata*, *S. argentifolia*, *S. beccariana*, *Parashoea smythiesii*, *Dipterocarpus tempehes*, *Koompasia malacensis*, *Callophyllum* spp.

植栽方法：密植：筋植え、寄せ植え（Patch planting：12m×12mのブロック内に1.5m間隔で7行7列植栽、植栽密度4444本/ha、各ブロックに同一樹種植栽）、巣植え（nest planting：対角線が1mの四角に4本苗木を植栽、植栽密度20000本/ha、植え穴中心の間隔は5m、各植え穴に同一樹種植栽）を追加。

結果、エル・ニーニョによる厳しい干ばつ見舞われ、植栽6ヶ月後の枯死率は70%から80%ときわめて高くなった。

#### 分類：中度の攪乱地（焼畑跡地）、湿潤熱帯、修復、環境造林

「外生菌根を形成した *Dryobalanops lanceolata* 苗への肥効調節型被覆肥料施肥の試み」（入野他 2005）

① 試験地：サラワク州ミリ、ニア（3°41'N,113°39'E）森林研究所内苗畑と森林保護区

② 目的：健全苗育成のために外生菌根形成の促進と施肥方法の検討

③ 植栽木：*Dryobalanops lanceolata*、ポット（1.2L容積、用土：通常使われている土で養分含量は極めて少ない）

④ 方法：苗木の外生菌根は森林土壌中の菌で自然感染。肥料区（長期間安定した肥効が期待できる700日肥効調節型被覆肥料 N:P:K(12:14:12) と通常現地で利用されている化学肥料 N:P:K(15:15:15) をポット当たり2、5、10g施肥した処理区と無施肥区を設定、30%被陰下で16ヶ月育苗後、焼き畑後1~2年経過した草地に植栽。

⑤ 結果、

苗畑：1)無施肥区苗木：樹高成長悪く、葉が黄化、菌根形成率は低い（約30%）、2)化学肥料区苗木：10g区では過剰障害で半数近くが枯死、全ての区で著しい徒長苗が形成された、菌根菌の感染率は低かった。3)被覆肥料区：10g区でも過剰障害がみられず、養分含量の高い苗木が形成され、徒長成長は比較的抑制され、5g区と10g区では菌根菌形成率が高かった。

林地：化学肥料、被覆肥料2g区苗木は生存率、樹高成長量とも無施肥区との差は明らかでなかった。化学肥料5g、10g区苗木の生存率は被覆肥料区と無施肥区苗木より著しく低かった。樹高成長は肥料区苗木が無肥料区苗木より大きかったが、化学肥料区苗木と被覆型肥料区苗木とは差がなかった。菌根形成苗木は生存率、成長率が高い傾向があった。

⑥ 苗畑で被覆肥料を施用することにより苗木の徒長が比較的抑制され、また菌根形成が促進され、植栽後の生存、成長が良好な健全苗を生産できる可能性が高い。

#### 分類：中度の攪乱地（伐採跡地？）、湿潤熱帯、修復、環境造林

「インドネシアでの低地フタバガキ林の修復・再生」（沖森 2001、菊池&小川 1997）

試験地：スマトラ島中部ジャンビ州

試験Ⅰ：菌根菌を利用したフタバガキ科樹種の育苗

① 目的：択伐林と苗畑から採取した外生菌根菌のなかで高温乾燥に強く、増殖しやすいスクレロデルマ・コラムナレを苗木に接種する方法を検討

② 方法、結果：スクレロデルマ・コラムナレを感染させた苗木を苗床に一定間隔で植え、未感染苗の根と接触するようにして、遮光、散水すると、未感染苗は6ヶ月でほぼ100%感染し、未感染苗よりも乾重、無機養分が多い健苗が得られた。

試験Ⅱ：菌根菌感染苗の林地での生存、成長

① 方法：*Shorea acuminata*, *S. macroptera*, *S. parvifolia*, *S. leprosula* など12種のフタバガキ科の感染苗と未感染苗を裸地に2,500本植栽し、数年間追跡調査した。

② 結果Ⅰ：感染苗は未感染苗に比べて、生存率が平均2倍、樹高成長量が20%大きかった。ただし、裸地の強光下では未感染苗木の菌根形成は不良で、成長も良くなかった。

結果Ⅱ：そこで、伐採や火入れ後によく繁茂する典型的な先駆樹種である *Trema cannavina* や *T. orientalis* 林内（相対照度約20%）に苗木を植え、追跡調査した。これらの被陰樹内では *S. leprosula* の成長がもっとも良好で、5年生で平均樹高7.1m、平均胸高直径9.3cmとなり、大きなものは樹高10m以上になった。*S. parvifolia*, *S. macroptera* の成長も良好。広く植栽されているゴムノキを被陰樹として植栽したが、良好な結果は得られなかった。成長が不良な苗木は菌根形成が阻害されていた。

分類：中度の攪乱地（焼畑跡地）、モンスーン熱帯（乾季、5ヶ月）、復元、環境造林  
題名「タイ北部における森林復元のための Framework tree species の選択」（Elliott et al. 2003 ; Lamb 2011）

① 目的：水源域耕作跡地の森林復元

② 試験地：Doi Suthep-Pai 国立公園北部、約20年以前に天然林が伐採された焼畑跡地、土壌の養分、水分は天然林に比べて減少しているが、著しい低下は認められない。

③ 樹種：潜在的な Framework tree species として選抜した在来37樹種。

④ 方法：苗畑：子葉が展開後、ポット（黒色6.5×23cm；森林土壌：ピーナツ殻：ココナツ殻2:1:1）に移植し、2週間約20%の被陰下で窒素肥料を2日毎に施用し育苗。その後50%の被陰下に移し樹種によって3~18週間、遅効性肥料を施用し、雑草、病虫害管理をして育苗。苗木が50~60cmになると全天空下で硬化処理した後、山だし。

植栽地：植栽前：除草と除草剤散布、植え穴に施肥（100g、NPK15-15-15）；植栽後：雨季に4~6週間毎に除草、各除草後、各植栽木から30cm離れた環状に施肥（100g）。

⑤ 結果：植栽（3100本/ha）数年で天然生稚樹が発生し、6年生時には70種の稚樹が成立、その内61種は新しく侵入してきた樹種。植栽地内では鳥類や動物類の種数も増加。これらの生物が種子散布者として働いたと推測される。

植栽17ヶ月後の苗木の生存、成長、樹冠幅（雑草抑制の指標）、山火事からの回復能力を元に次ぎの樹種が最も有力な Framework tree species に選抜された。*Ficus hispida* var. *hispida*, *Gmelina arborea*, *Hovenia dulcis*, *Melia toosendan*, *Michelia baillonii*, *Prunus cerasoides*,

*Rhus rhetoides*, *Spondias axillaris*。

分類：中度の攪乱地（チガヤ草原）、湿潤熱帯（年雨量 2103mm）、再生－修復、産業造林

「チガヤ草原に造成したアルビジア林内に樹下植栽した有用樹種の成立」（Otsamo et al. 1996.）

① 目的： *Paraserianthes falcataria* を先行林し、チガヤ草原では成立が難しい成長が遅い有用樹種を *P. falcataria* 林内に樹下植栽し育成を図る。

② 場所：Riam Kiwa、南カリマンタン、インドネシア（3°30'S, 115°E, alt. 100~200m）、酸性土壌、Red podzolic type、チガヤ草原（他のチガヤ草原と比較すると植林に適した土壌）

③ 方法：植栽樹種：実生（*Agathis borneensis*, *A. loranthifolia*, *Durio zibethinus*, *Pericopsis Mooniana*, *Podocarpus polystachyus*, *Shorea macroptera*）、山引き苗（*Hopea sangal*, *S. hopeifolia*, *S. johorensis*, *S. leprosula*, *S. parvifolia*, *Vatica* sp）。

苗畑：実生：ポット苗（ポット（8×15cm、容積 750cm<sup>3</sup>）：土（泥炭：粃殻（70:30））施肥 NPK(15:15:15) 2週間に1回、225g/m<sup>2</sup>。5~7ヶ月育苗；山引き苗：高さ 25~40cm、根元直径 0.2~0.5cm の天然更新稚樹をフタバガキ二次林で採取。実生と同じポットに入れ、4週間温室で育苗し、その後被陰下で3か月育苗。

植栽地：被陰樹の *P. falcataria*（4×4m 植栽間隔）の植栽前に円刃鋤で2回耕耘、回転耕耘機で1回耕耘。植栽2年後、林冠が閉鎖した *P. falcataria* 林の林床にチガヤなどを除草するため glyphosate 除草剤を散布した後、列状樹下植栽（4×2m 植栽間隔）。植栽後草本や蔓植物は定期的に除去。

④ 結果：植栽後5年後の生存率は、*P. polystachyus*, *A. borneensis*, *P. mooniana*, *Vatica* sp. *A. loranthifolia* が 95~77.5%、*S. leprosula* と *H. sangal* が各々 52.5, 48.6%、*D. zibethinus*, *S. hopeifolia*, *S. parvifolia*, *S. macroptera* が 30~10%、*S. johorensis* が 5% で、樹高と根元直径の成長率の各樹種の違いは生存率ほど大きくないが、生存率の高い樹種群は成長率も概ね高い傾向があった。死亡率の高い樹種は植栽3年目と5年目の乾燥が影響していると推測される。*P. falcataria* 林内での樹下植栽木の定着率は樹種による違いが大きかったが、チガヤ草地でまず *P. falcataria* を先行造林し、その被陰効果を利用して目的とする有用樹種の育成が可能であると考えられる。

分類：中度の攪乱地（戦争による荒廃地）、モンスーン熱帯（乾季：4ヶ月）、再生－修復、環境造林・産業造林

「ベトナムにおける荒廃地の生育環境の改良」（McNamara et al. 2006、Lamb 2011）

① 目的：ベトナム戦争によって荒廃し、天然更新、人工植栽が失敗した荒廃地での森林再生。

② 場所：ベトナム中部 Hai Van Pass、ベトナム戦争による荒廃地、チガヤ草原、天然林

が点在。

③ 方法・結果：*Acacia auriculiformis* を植栽（1650~3300 本/ha）、8 年生で伐採幅 5m（後で 2.5m）の列状間伐し、間伐収入で *A. auriculiformis* 林を植栽するとともに、間伐地に在来樹種（*Dipterocarpus alatus*, *Hopea odorata*, *Parashorea chinensis*, *P. stellata*, *Scaphium lychnophorum*, *Tarrietia javanica* 等）を植栽（200~500 本/ha）。在来種が成長するにつれて、*A. auriculiformis* 林を間伐し、間伐収入で植栽し、その結果、数千ヘクタールの森林が造成された。調査時点で *A. auriculiformis* 林は 16~18 年生で、断面積合計は 9~13m<sup>2</sup>/ha。

④ 成果：ベトナム戦争による荒廃地で *A. auriculiformis* を先行造林し、樹下植栽した在来種の被陰樹として利用しながら、在来種の成長を図るため間伐を繰り返し、その間伐収入により広い面積で在来種樹種の混交林を成立させた。

**分類：中度の攪乱地（ゲリラ戦後の荒廃地、焼畑跡地）、モンスーン熱帯（乾季、5 ヶ月）、修復、環境（産業造林）**

「北タイ Khao Kho における劣化林地の修復」（Marghescu 2001）

① 目的：ゲリラ戦による天然林伐採後の耕作で深刻な浸食が起こっていた山岳地帯の森林修復。

② 植栽地：北部タイ、ペッチャブーン県 Khao Kho（標高 400~1200m）。

③ 方法：最初の造林（*Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *Pinus kesiya*）は、地形の多様性を考慮せず、画一的に実施したことと、地元農民による伐採や野火があり失敗。

二回目の造林：適地適木（土壌水分、浸食の程度、標高、人為の影響度合い）と地元の要望を元に立地を 7 区分し、各立地に適した樹種を選び植栽。植栽樹種は残存天然林から選定し現在タイの高地で広く植栽されている *Choerospondias axillaris*（チャンチンモドキ）と、*Acacia* 類、*Bambusa* 類、*Eucalyptus* 類、*Pinus* 類、*Hopea odorat*, *Tectona grandis*, *Xylia kerrii* を含めた 30 種。これらの樹種は地域住民がトウモロコシを間作できるように植栽間隔 2m×6m で等高線に沿って植栽。住民の要望から *Azadirachta indica*, *Leucaena leucocephala*, *Mangifera caloneura*, *Sesbania grandiflora* 等の多目的樹種を道路脇、農地と定住地の境界に植栽。

④ 結果：残存している天然林からの天然更新も加わり、森林が再生。現在観光客を集め、タイのスイスと一部で呼ばれている。

## 4.2 播種造林

**分類：中度の攪乱地（焼畑跡地）、モンスーン熱帯（乾季：5 ヶ月、年雨量、1000mm）、復元、環境造林（直播き）**

「直まきによるタイ北部焼畑地での森林の復元」（Wood & Elliott 2004）

① 目的：気候と土壌状態が厳しい耕作跡裸地で直播きによる森林の復元。

② 場所：苗畑実験：Doi Suthep-Pui 国立公園内の苗畑（18°50'N, 98°50'E, alt.1000m）、現地試験：標高 1207~1310m の国立公園内（約 20 年前に天然林が伐採された、農耕跡地で

土壌が劣化した草原)

③ 播種樹種: 以前の植栽試験から優れた植栽樹種と見られる樹種で試験開始時に種子が入手できた、*Sapindus rarak* (*Sapindaceae*), *Lithocarpus elegans* (*Fagaceae*), *Spondias azillaris* (*Anacardiaceae*), *Erythrina subumbrans* (*Leguminoase*).

④ 方法: 播種地 1 苗畑: 40%被陰下: 種皮処理 (種皮を切り開く)、無処理。

播種地 2 焼畑跡地: 種子埋土処理 (種子の直径の 2 倍の厚さの土を被覆)、マルチング処理 (土壌表面に播種し、刈った草を 10cm の厚さで被覆)、種皮処理+種子埋土、無処理。

⑤ 結果: 予想したネズミの被害はなかったが蟻の被害が見られた。種子の摂食害の軽減につながると期待された種皮処理による発芽促進の効果は苗畑、現地とも認められなかった。種皮処理の有無に関わらず種子を埋土すると土壌水分保持力が増し、蟻の摂食が防止され、発芽が促進された。マルチングによって *L. elegans* の発芽率が高まったが、他の樹種は変わらなかった。

⑥ 育苗経費の節減が可能な直播きは植栽より経費面では有利な植生回復方法で、また苗木の運搬が難しい奥地や傾斜地でも有望な方法とみられるが、実用化するためにはさらに試験が必要である。

**分類: 中度の攪乱地 (荒廃地)、モンスーン熱帯 (乾季: 6 ヶ月、年雨量、1500mm)、修復、環境造林 (直播き)**

「直まきによるラオス中部高地における森林修復」(Lamb 2005)

① 目的: 山岳地帯荒廃地で直播きによる森林の造成

② 場所: ラオス、Nam Ngum 流水域

③ 播種樹種: 多量の種子播種 (*Pinus kesiya*, *Keteleeria davidiana*, *Schima wallichii*, *Quercus serrata*)、少量の種子播種 (*Rhus rhesoides*, *Quercus griffithii* (落葉ナラ))

④ 方法: 播種方法: a 全面まき、b 筋状まき、地表処理: 水牛が耕耘し起伏のある土壌面を、a.土をまぐわでならした、b.穴を掘り起こした。播種の実行: 播種はプロジェクトに雇用され技術指導を受けた地元の女性たちが、雨季の開始時に行った。

⑤ 結果: 多数の稚苗が発生し、苗畑で育苗した稚苗と同等の生存、成長を示した。播種の 6 ヶ月前に 耕耘し、土をまぐわでならした処理区の方が前年に耕耘した処理区より成績がよかった。播種後雑草の侵入は多くなかったので除草はしなかった。

⑥ 播種時期、樹種の適切な選択、大量の種子の入手、熟練した作業員の確保ができれば、植栽より経費効率の高い直播きが可能であると考えられる。

**分類: 軽度~中度の攪乱地 (天然林、二次林、草原、荒廃裸地)、湿潤熱帯、修復、環境造林 (直播き)**

「各種の林地における種子直播き試験」(Camargo et al. 2002)

① 目的: 攪乱程度の異なった立地で種子直播きに適した立地を明らかにする。

- ② 場所：アマゾン中部荒廃地の裸地、草原、二次林、天然林
- ③ 播種樹種：在来樹種 11 種
- ④ 方法：各樹種の種子が自然に落下する時期に、種子を浅く地面に埋めた。
- ⑤ 結果：1年後、播種した種子からの稚樹の成立率は、裸地で 33%（8 樹種）、草原で 23%（4 樹種）、二次林で 15%（4 樹種）、天然林で 12%（4 樹種）となり、裸地では他の林地より、多くの樹種が多数成立した。種子の大きな樹種は小さな樹種より成立率が高かった。先駆種は成立しなかった。荒廃地裸地で播種造林の可能性がもっとも高いことが示され、非先駆性の大きな種子の樹種が直まきに適していると推測された。

## 5. 荒廃地再生施業技術の要点

荒廃地での森林造成を可能にするためには、まず各々の立地に適した樹種を選択し、苗畑で健全で強靱な苗木を育成して、地拵えによって劣化した土壤の改良などにより植栽木の生育環境を改善して植栽し、その後適切な下刈り、場合によっては枝打ち、間伐などの保育を行い、森林の成立をはかることになる。したがって適切な樹種の選定、苗畑での強靱な苗木の育成、植栽地の生育環境の改良、適切な植栽と保育作業が荒廃地造林の基本になると考えられる。ここでは要約した上の既往文献だけでなく、個々の技術に関わる知見も取り入れ、個々の技術の要点を洗い出し、整理した。また苗木の植栽によらず、種子を林地に播き付ける直播き造林も一部で行われている。さらに種子を播かず森林土壤を裸地に客土し、森林の再生をはかる方法もある。これらは、苗畑経費が削減でき、経費効果比の高い森林再生法と考えられるのでこれらの技術についても整理した。

### 5.1 荒廃地耐性樹種の選定

既存資料から荒廃地に導入可能とされている樹種を荒廃地のタイプ別に示した(表 2-1)。

表 2-1. 強度の攪乱地で生育が期待できる樹種

立地	樹種	出典	立地	樹種	出典
錫鉱山跡地			泥炭湿地：酸性硫酸塩土壤		
	<i>Acacia mangium</i>	(Majid et al 1994, Awang 1994)		<i>Acacia mangium</i>	(田原他2008)
	<i>Acacia auriculiformis</i>	(Awang 1994)		<i>Acacia mangium</i> (盛土上)	(小島他1998)
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	(Kanzaki et al. 1991 <sup>a,b</sup> )		<i>Baccaurea bracteata</i> ,	(小島他1998)
	<i>Fragrea fragrans</i>	(Bruening 1996)		<i>Dipterocarpus alatus</i> ,	
	<i>Intsia palembanica</i>	(Bruening 1996)		<i>Gmelia arborea</i>	
	<i>Palaquium gutta</i>	(Bruening 1996)		<i>Hopea odorata</i>	(田原他2008)
BRIS土壤				<i>Macaranga pruinosa</i>	(小島他1998)
	<i>Acacia auriculiformis</i>	(脇2001)		<i>Melastoma spp.</i>	
強酸性土壤				<i>Melaleuca cajuputi</i>	(小島他1998)
	<i>Acacia mangium</i>	(脇2001)		<i>Shorea javanica</i>	
アルカリ土壤				<i>Shorea roxburghii</i>	(田原他2008)
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	(脇2001)		<i>Sterculia bicolor</i>	(小島他1998)
	<i>Shorea obtuse</i>			<i>Syzygium kunstleri</i>	(小島他1998)
	<i>Shorea robusta</i>			<i>Syzygium oblatum</i>	(小島他1998)
	<i>Shorea siamensis</i>		泥炭湿地：砂地土壤		
				<i>Acacia mangium</i>	(小島他1998)

・タイのモンスーン熱帯で広く植栽されている外来樹種の *Eucalyptus camaldulensis* は細根が表層土壌を密に広範囲に広がり、葉量/細根量比が小さく、錫鉱山跡地のような貧栄養で土壌有効水分量が少ない土壌に適した形態を持ち (Kanzaki et al 1991<sup>b</sup>)、さらに耐塩性も強い (脇 2001)。これらのことがせき悪地での早い成長を可能にし、鉱山跡地や塩類化土壌でも良く生育し、モンスーン熱帯では現在のところもっともせき悪地に耐えうる造林樹種になっている。ただし、タイのチガヤ草原に植栽された外来早生樹種林と在来樹種林の中で *E. camaldulensis* 林は土壌水分率がもっとも低く (加茂他 2001)、せき悪地に植栽された *E. camaldulensis* は *Acacia mangium* や在来樹種に比べて水消費量が多かった (Kanzaki et al. 1991<sup>c</sup>)。 *E. camaldulensis* には以前から指摘されているが水問題がありそうである。本種の造林は、パルプ材生産など産業造林樹種としては場所を限ればそれほど大きな問題にならないかもしれないが、せき悪地の環境保全を目的とした場合は慎重な取り扱いが必要になると考えられる。

・マメ科の外来樹種の *A. mangium* と *A. auriculiformis* はせき悪地の有力な造林樹種である。後述するように肥料木として土壌改良効果があり、土壌水分も *E. camaldulensis* よりは多かった (加茂他 2001)。ただし湿潤熱帯で本種は従来から幹のしん腐れの問題をかかえ、近年二代目造林地では根腐れが脅威になってきた (Harwood 2011)。湿潤熱帯で *A. mangium* を植栽する際この問題に留意する必要がある。

・フタバガキ科樹種は一般に裸地での生育が不良だと見られているが、*Shorea leprosula* のように強光下で早く成長できる光合成・水分生理特性を持った樹種は裸地でも成立でき、比較的良好な成長が期待できる (佐々木他. 1998、小島他 1998)。植栽後裸地での成立が期待できそうなフタバガキ科樹種を表 2-2 にまとめた。ただし、サラワクの草地で植栽後の危険な時期を乗り越えたフタバガキ科 6 樹種は林内に植栽されたものより成長量が大きくなった (Hattori et al. 2009)。サバでのフタバガキ科 5 樹種を含めた植栽試験でも同様の結果が得られている (Kamo et al. 未発表)。したがって植栽後数年間の危険な時期を過ぎれば、裸地で成長が期待できる樹種は多いとみられる。

表 2-2. 裸地に成立できそうなフタバガキ科樹種

樹種	特徴	出典
<i>Anisoptera laevis</i>	耐乾性強い	(Appanah & Weinland 1996)
<i>Anisoptera marginata</i>	潜在的に草原植栽可能	(Otsamo 2001)
<i>Dipterocarp alatus</i>	裸地定着率高い	(Vacharangkura et al. 未発表)
<i>Dryobalanops aromatica</i>	裸地定着率高い	(Appanah & Weinland 1996)
<i>Parashorea malaanonan</i>	裸地定着率高い	(Nusshaum & Hoe 1996)
<i>Parashorea tomentela</i>	裸地定着率高い	(Kamo et al. 未発表)
<i>Shorea leprosula</i>	裸地に適した生理的特性、耐乾性強い	(小島他 1998、Appanah & Weinland 1996)
<i>Shorea parvifolia</i>	裸地定着率高い	(Ang 1991)
<i>Shorea platyclados</i>	裸地定着率高い	(Ang & Maruyama 1995)
<i>Shorea. assamica</i>	裸地定着率高い	(Ang & Maruyama 1995)

- ・造成地の保全のため地域住民の好みあった樹種の選択も必要である。ジャワ島中部では、せき悪地でも生育でき、燃材、用材などの用途の広い *A. auriculiformis* と成長は遅いが高価値材を生産できる *Tectona grandis* が好まれ、多くの造林地が残されていた (Soerianegara & Mansuri 1994)。 *Tectona grandis* は子孫への投資と考えられている。
- ・せき悪地に導入可能な樹種の選択肢を増やすため新しい樹種の探索が大きな課題である。酸性硫酸塩土壌に強い耐性がある *Melaleuca cajuputi* (小島他 1998) のように荒廃地の近辺の二次林に生育している樹種の植栽試験、生理生態的な研究を行い、各々の荒廃地に生育可能な樹種を探索したり、また地域によっては多様な樹種が村落などに植えられている (Lamb 2011) のでそれらの選抜試験を行うことも考えられる。

## 5.2 健全で強靱な苗木生産

(詳細な苗木技術については、山手 1993、Evans&Turnbull 2004 等を参照)

アカシアやユーカリ類は苗木技術が確立されているのでここでは主にフタバガキ科樹種を取り上げる。

### A 種子採取

- ・種子採取の目安となる主要な一斉開花フタバガキ科樹種の開花間隔は Appanah & Weinland (1996, pp.426. Table 11.)に記載されている。
- ・苗木の遺伝的多様性を高めるため種子と山引き苗は違った母樹の林床から採取する。約 30 本の母樹が適当 (Adjers & Otsamo 1996) とされている。

### B 山引き苗、挿し木苗、スタンプ苗

- ・フタバガキ科樹種は開花が不定期で開花の間隔が一般に長く (湿潤熱帯)、種子の寿命が短いため長期間保存しにくい、そのため安定した苗木の供給が難しく、造林計画が立てにくい。そこで実生苗を補完するため山引き苗や挿し木苗あるいはスタンプ苗の育成が行われている。
- ・山引き苗：林床で自然淘汰され、すでに菌根で感染されている。採取が容易な大雨直後に 10~40cm の山引き苗を採取、根の発達を促すため採取後直ちに湿度の高い温室で育苗 (3 週間程度)。 *Dipterocarp* 属は *Shorea* 属より根がつきにくい (Adjers & Otsamo 1996)。
- ・挿し木苗：斜向性のある側枝を避け、直伸の挿し穂を採取、萌芽枝や若木からの挿し穂や *S. leprosla* のような成長の早い樹種の挿し穂は根付き良好。造林樹種では *Tectona grandis* や *Gmelina arborea*、 *Pterocarpus indicus* 等が挿し木苗の育成が可能 (浅川 1996) で、フタバガキ科樹種で可能性の高い樹種は Appanah & Weiland (1996; pp. 422. Table 8)に記載されている。
- ・スタンプ苗：幹の基部の一部と太い根を残した棒状のスタンプ苗は *T. grandis* の造林によく使われている。フタバガキ科樹種では *Shorea talura* のスタンプ苗で高い活着率が得られ

た (Sasaki 1980)。フタバガキ科樹種を用いた実験では、貯蔵デンプンの多い樹種ほどスタンプ苗の活着率が高く、乾季のあるモンスーン熱帯樹種は湿潤熱帯樹種より貯蔵でんぷんが多く活着率が高いことが明らかにされ、スタンプ苗育成の可能性の高いことが示唆された (Mori 1979)。モンスーン熱帯に分布する *Dipterocarpus alatus* のスタンプ苗裸地植栽試験では高い活着率 (71~100%) と実生苗と同程度の初期成長を示した (kamo 1989)。スタンプ苗はポット苗より大量に運搬できるため、運搬経費が節減でき、またビニール袋で7ヶ月程度貯蔵できる (Sasaki 1980)。今後さらに試験が必要であるが、モンスーン熱帯の荒廃地でスタンプ苗によるフタバガキ科樹種育成の可能性は低くないと考えられる。

### C 菌根菌

・フタバガキ科を含む多くの熱帯樹種には根に菌根菌が感染し、苗木に窒素や熱帯土壌で欠乏しやすいリンなどの要素を供給する。菌根菌を持ったフタバガキ科苗木は植栽後生存率、成長量が大きくなった (沖森 2001、菊池&小川 1997、入野他 2005)。苗畑で菌根菌未感染苗木を感染させるため、母樹の林床の土壌を発芽床あるいはポットに混ぜる、苗菌根菌感染フタバガキ科苗木を未感染苗と根が接触するように混植する (沖森 2001: 菊池&小川 1997) 等の方法がある。荒廃地では菌根菌が欠如していることが多く、菌根菌感染苗の育成は植栽後の苗木の生育をはかるための重要な作業の一つと言える。

### D 根瘤バクテリア (Rhizobium)

・アカシアなどのマメ科植物の根には根瘤バクテリアが窒素固定し、土壌を改善する効果がある。極度に荒廃した立地ではマメ科の根瘤バクテリアが十分存在しない場合があり、種子にバクテリアを接種する必要がある (Nussbaum et al. 1995)

### E 施肥

・苗畑で被覆肥料施用することにより苗木の徒長が比較的抑制され、また菌根形成が促進され、植栽後の生存、成長が良好な健全苗を生産できる可能性が高い (入野他 2005)。

### F 硬化処理

・発芽後実生は直射光に露光すると枯死しやすいため、苗畑で被陰し、水分を与える。そのような環境から苗木を植栽地の強光、高温、乾燥の環境に順応させるため、山出し前に施肥量、水散布量、被陰の程度を減少させて、強靱な苗木を作り、裸地での活着率の向上をはかる。

・硬化処理の期間は樹種によって異なるが、2~3ヶ月が適当 (Nussbaum & Hoe 1996) とされている。フタバガキ科樹種のように裸地で活着しにくい樹種は、特にこの処理が必要である。ただし樹種によっては硬化処理しても活着率が向上しなかった (丹下&小島 2004; 丹下 2000)。硬化処理の方法についてはさらに研究が必要である。

## G 山出し苗の規格

・フタバガキ科樹種を含めた一般的な山出し苗木の規格 (Adjers & Otsamo 1996) は、病虫害にかかっていない瑞々しい健全苗、長い直根よりも側枝が発達した根系を有する苗、T/R 比はバランスがとれていて、樹冠と比較して根の発達が良い苗、育苗 3~8 ヶ月で苗高は平均 30cm 程度の苗である。

## 5.3 荒廃地の改良

### A. 土壌物理性の改良

・すき起し、耕起：草原や侵食し心土が露出した所、鉱山跡地などの堅い土壌や硬い土壌盤があるところでは通常樹木の生育は不良で、土壌耐性が強い *A. manigum* でも成長が不良な場合 (Nussbaum & Hoe 1996, 小島他 1998) がある。そのような立地では根の成長を妨げる石や堅い土壌を崩し水の浸透性を高める、リップピング (すき起し) や下層土サブソイリング (耕起) が有効である (Whisenant 1999)。心土が露出し土壌が堅いところで土壌を掘り起こすと、フタバガキ科樹種苗木の成長が増加した (Nussbaum et al. 1995)。

・客土：またこのような立地では大きな堀穴を作り周囲の表層土をかきくずして入れる作業が行われている (Whisenant 1999)。錫鉱山跡地で耕耘した後 0.5m×0.5m(平面) ×0.5m (深さ) の植え穴に粘土 (clay soil) を客土し堆肥と化学肥料を混入処理したところでは、*E. camaldulensis* の成長が無処理区よりきわめて大きく、客土せず堆肥と化学肥料を施肥した処理区より大きくなった (Kanzaki et al.<sup>a</sup> 1991)。施肥すると客土の成長促進効果が増進されるといえよう。

・耕耘：チガヤ草地などでは耕耘も苗木の活着と成長を高める有効な方法である。これは JICA のフィリピンでの植林でも認められ、タイ、サケラートの植林でも大きな耕耘効果があった。インドネシアのチガヤ草原では全面耕耘が筋状耕耘よりきわめて有効であった (Otsamo, et al. 1995, Otsamo 2001)。さらに全面耕耘後に施肥をすると *G. arboria*, *Paraserianthes falcataria*, *A. magnium* の定着が著しく高まった (Otsamo et al. 1995)。

錫鉱山跡地で深さ 30cm まで円盤裁断機で耕耘 (disc ploughed) し、その後回転耕耘機で深さ 15cm まで耕耘して、3~4 ヶ月毎に除草剤散布したが、施肥はしなかった。その結果アカシア類の生存率が高く成長量も大きくなった (Awang 1994)。

・盛土 泥炭湿地では周囲から土壌を取り盛り土を作り、苗木の活着、成長を促す作業が行われている。泥炭湿地では盛り土 (高さ約 30cm) によって苗木の初期成長が大きくなった (丹下&小島 2004 ; 丹下 2000)。

### B. 土壌化学性の改良

#### 施肥

・タイで錫鉱跡地、過度の伐採地、移動耕作跡地で堆肥と化学肥料を施用したところ、*E. camaldulensis* の成長は土壌がもっともせき悪な錫鉱山跡地で顕著な増加が認められたが、他の試験地ではほとんど認められなかった (Kanzaki et al. 1991<sup>a</sup>)。土壌養分が少ない所で

は施肥によってフタバガキ科樹種と先駆樹種の成長が著しく増加した (Nussbaum & Hoe 1995)。土壌が極めて劣化しているせき悪土壌では施肥による植栽木の成長増進が期待できる。

・せき悪地の問題土壌である BRIS 土壌(砂丘未熟土) では *A. mangium* と *A. auriculiformis* に対してマルチング(椰子殻)に施肥を組み合わせると施肥効果が認められ、強酸性土壌(赤黄色ポドゾル土壌)では酸性矯正のための施用した石灰は成長を抑えるかあるいは効果がなかったが、有機肥料(牛糞)の施肥効果は大きく、化成肥料を連用するとさらに効果が高まり、塩類化土壌でも施肥効果が認められ、特に即効性の化成肥料の効果が顕著であった(国際緑化推進センター1998、2000、脇 2001)。

#### 肥料木

・熱帯に広く分布している酸性土壌ではリン、カルシウム、マグネシウム含有量が少なく、植物に有毒なアルミニウムやマンガンの含有率が高い。石灰を加えれば酸性が改善されるが、石灰を表層数センチより下に浸透させるのは難しい、そこで酸性土壌に強い *Acacia* 類を肥料木として植栽し、土壌の化学性を改善し、その後目的とする樹種を植栽するのが有効な方法である (Lamb 2011)。

・例えば、ユーカリと *A. mangium* との混植では、ユーカリの単植に比べて、土壌水分が 20~30%高まり、腐植や窒素の含有量が増加した (Lanh 1994)。塩類化土壌での *Acacia lebbek* と *E. camadullensis* の混植では *E. camadullensis* の成長が促進された(国際緑化推進センター1998、2000、脇 2001)。*Eucalyptus globulus* に *Acacia mearnsii* を混植すると、*E. globulus* の成長は単植した場合より増加した (Lamb 2011)。

### C. 被陰樹の利用(先行造林)

・直射高温下にあり土壌が劣化した荒廃裸地では、まだ十分解明されていないが葉の光阻害や水分ストレス、あるいは繁茂したチガヤなど草本が原因してフタバガキ科などの成長が遅い遷移後期・極相樹種は定着しにくい。そこで荒廃裸地でも生育可能な外来早生樹を最初に植栽し、林冠が閉鎖し陽性草本のチガヤなどが排除されると、被陰下でも生育可能なフタバガキ科樹種などの在来樹種を植栽し、育成しようという試みが行われている。これが被陰樹法あるいは保護樹法である。

・被陰樹法による在来樹種育成の例として、ベトナム戦争による荒廃地で *A. auriculiformis* を被陰樹として先行造林し、間伐収入を得ながら、広い面積に在来種樹種の混交林を成立させた (McNamara et al. 2006, Lamb 2011)、半島マレーシアの荒廃地で *A. mangium* を被陰樹にして広い面積に在来樹種林を成立させた (Samsudin & Ismail 2008、大谷 2011)、チガヤ草原で *P. falcataria* を先行造林し、在来樹種を成立させた (Otsamo et al. 1996.)、露光下の砂地に *A. mangium* とフタバガキ科樹種を混植し、成長が早い *A. mangium* の被陰効果を利用して、フタバガキ科樹種の育成を図った(小島他 1998)等がある。

・被陰樹の候補木として、マレーシアで *A. mangium*, *P. falcataria*, *G. arborea*, *Macaranga* spp、*Endospermum malaccense*, *Octomeles sumatrana*, *Anthocephalus chinensis* があげられている

(Nussbaum & Hoe 1996)。 *P. falcataria* は樹冠が薄く、林内の陽光量が多いので樹下植栽木の成長は *A. magnium* や *G. arborea* より大きく (Otsamo 1998)、被陰樹に適しているが、土壌選択性が大きい。また *G. arborea*, *O. sumatrana*, *A. chinensis* も *A. magnium* ほど立地耐性の幅が広くない。サバの人工林 6 樹種について樹下植栽木の成長、林内陽光量、土壌窒素量、材の市場性などから総合的に被陰樹として *A. magnium* がもっとも適していると推測された (Kamo et al. 2009)。東南アジアで広く植栽されている *A. mangium* は林分葉量が比較的少なく、葉の回転率が高い (Kamo et al. 2008) ため、林床に適度の被陰を与え、多量の落葉落枝によって養分を供給し (Inagaki et al. 2010)、適度の微気象を作り (Norisada et al. 2005)、荒廃地の先行造林樹種として現在のところもっとも有望であると考えられる。モンスーン熱帯では *A. auriculiformis* も在来樹種に対して被陰樹効果 (McNamara et al. 2006、Lamb 2011、加茂 & Tiyanon 2006) が期待できる。

また伐採跡地によく成立する典型的な先駆種である *Trema orientalis* がフタバガキ科樹種の被陰樹に適している (沖森 2001) と考えられる。この樹種は寿命が短いため樹下植栽後の上木の取り扱いに留意しなくてよい。

・人工被陰下ではフタバガキ科樹種は植栽初期には適度の被陰下で成長がもっとも大きくなり (Nicholson 1960、Sasaki & Mori 1981 等)、重量成長は相対照度が 50% 程度までは明るいとところほど大きくなる (佐々木他 1998)。*Acacia mangium* 林では伐採幅を *A. mangium* 林の樹高の 1~1.5 倍 (積算相対照度 30~70%) にすると下木成長が最大になる (Samsudin & Ismail 2008) とされている。伐採方位 (東西、南北) は植栽木の生存率には影響せず、また成長量にも明らかな違いはないようである (Adjers et al. 1995、Samsudin & Ismail、大谷 2011、Kamo et al. unpubl)。

・天然更新の可能性：樹下植栽しなくても、天然林が断片的にでも残っているところでは天然林からの種子散布により天然生稚樹が成立した例が、南米の荒廃地の鉱山跡地や草原に植栽された人工林 (Parrotta et al. 1997、Lamb et al. 1997) 等で認められ、天然林に近い人工林ほど多くの稚樹が成立している。タイのチガヤ草原に植栽された *A. mangium* 林や *A. auriculiformis* 林でも天然生稚樹が成立していた (加茂 & Tiyanon 2006)。天然林が残っている地域の荒廃地に人工植栽すると、樹下植栽しなくても、天然更新により在来樹種林に導ける可能性がある

#### D. 多樹種植栽

混交植栽の方法には、単木混交と群状・帯状混交がある。天然林を指向した単木混交は集約的な作業が必要であるが、群状・帯状混交は施業の集約度が単木混交より低く、造成しやすい。ただ、帯や群の面積を広く取りすぎると単一種皆伐造林と変わらなくなる。

##### 群状的混交

タイ北部の荒廃地で適地適木と地域の社会の要望を考慮して、土壌水分、浸食の程度、標高、人為の影響度合いならびに地元の需要を元に立地を 7 区分し、各立地に適した樹種を選び 30 種の樹木を植栽し、付近の天然林からの天然更新も加わり森林が再生された

(Marghescu 2001)。

#### 単木的混交

・ 荒廃地で出来るだけ多く生育特性の異なった樹種を植栽して、二次遷移を模倣した森林の再生をはかる方法が試みられている。数多くの生育特性の異なる樹種を植栽すれば、せき悪地で植栽後消失する種があっても、残った種で種子散布者が集まり天然更新しやすい複雑な構造の多種混交林の育成が期待できる (Lamb 2011)。

#### Framework species 法

・ 天然林が近くに残っている荒廃地で Framework species という二次遷移の枠組みを作る樹種を 20~30 種同時に植栽し、植栽した樹種と鳥類などによって散布された近くの天然林からの種子により天然更新、二次遷移を促進する方法を Framework species 法 (Lamb et al. 1997、Elliott et al. 2003、Lamb 2011) という。Framework species は荒廃地で天然更新を促進し、生物多様性を高められ種子の入手と育苗に手間がかからない樹種で、劣化した裸地で成長が早く土壌の肥沃度を改善できるマメ科樹種、雑草類を排除できる密な広い樹冠をもつ樹種、果実や蜜などなどで野生生物 (種子散布者) を引きつけられる樹種、野火耐性の強い樹種、天然林からの種子の散布が期待できない大きな種子を持った樹種や絶滅危惧種等である。

・ 北タイの荒廃地では、植栽 (3100 本/ha) 数年で天然生稚樹が発生し、6 年生時には 70 種の稚樹が成立、その内 61 種は新しく侵入してきた樹種で、植栽地内では鳥類や動物類の種数も増加した。これらの生物が種子散布者として働いたと推測される (Elliott et al. 2003、Lamb 2011)。また東北タイの Khao Yai 国立公園の隣接地では、一部外来種を含めた多くの樹種を、地域住民と NGO の連携のもとに、天然林が伐採され少数の天然木が散在する耕作放棄後地で植栽し、植栽木の成長に伴い周囲の天然林から稚樹が天然更新し、森林が再生し、生物多様性が高まった。 (Lamb 2011)

#### Maximum diversity 法

・ 天然林から離れた荒廃地で、生存成長特性が異なる種々の樹木を植栽し、それらの樹種で遷移を促し、森林を造成する方法 (Lamb 2011) である。

・ オーストラリア北部で金鉱山跡地に現地の気候と土壌に耐性があると見られる約 30 種の樹木、灌木を混交植栽し、再生能力を持った植物群落を造成した (Lamb 2011)。

・ ブラジルのポーキサイト鉱山跡地で、採掘前に表土 (深さ 15cm) を取り除き、採掘終了後、リッピングを行い表土を戻し、80~100 種を植栽したところ、埋土種子由来の樹種や 600m 以上離れた天然林から種子散布された樹種が加わり、38 科 141 種の樹種を含んだ森林が成立した (年降水量 2200mm の熱帯降雨林地帯) (Lamb 2011)。

## 5.4 対象木の植栽

#### 植栽時苗木の大きさ

・ 荒廃地でのフタバガキ科樹種の植栽時の大きさは約 50cm が適当 (Nussbaum & Hoe 1996) とされている。

・大きな苗木の方が小さな苗木より植栽後の生存率（丹下&小島 2004、丹下 2000）や乾季の生存率（Gerhardt 1996）が高く、裸地では大苗の方が植栽に適している（Barizan & Newbery 2088）とされている。一方、二次林伐採後の裸地に植栽されたフタバガキ科等の苗木では生存個体と死亡個体の植栽時の大きさに有意な差はなかった（Kamo et al.未発表）。植栽樹種、裸地の状態によって大苗が有利とは言えない場合もあると考えられる。

#### 植栽間隔

・熱帯の *Acacia* は種内競争に弱いいため、植栽密度はヘクタール 1100 本以下にする（Harwood 2011）

・植栽間隔は通常土壌条件、成長・生存特性ならびに生産目標などによって決めるが、熱帯広葉樹では、伐期時の各樹種の樹冠直径を植栽間隔の指標とし、植栽間隔は樹冠直径の大きな *Dryobalanops oblongifolia* などでは広く、小さな *Dipterocarpus costulatus* では狭くとる方法（Appanah & Weinland, 1996）が考えられている。

・草地でチガヤなどを早期に排除するため、密植（例えば 1m×1m～3.3m×3.3m）し、林冠の閉鎖を促すべきだとする考えがある（Nussbaum et al. 1995）。ただし、熱帯のせき悪地で植栽密度を著しく高めると成長が減退する樹種がある。

#### マルチング処理

・マルチング：乾燥の強い全天下で植栽後苗木の根元周辺を主に自然物（伐採木の樹皮、おがくず、オイルパームの残片等）で被覆し、①土壌面からの蒸発量を減少させ、②土壌温度を低下させ、植栽木の成立をはかる。植栽木周辺への雑草の侵入を防ぐ働きも期待できる（浅川 1992）。

・塩類化土壌や BRIS 土壌で椰子殻や籾殻のマルチにより、大きな土壌水分保持効果が認められ、BRIS 土壌では成長量が増えた（国際緑化推進センター1998、2000、脇 2001）。同じような効果は錫鉱山跡地（Kanzaki et al.<sup>9</sup>）や表土を欠く集材跡地（（Nussbaum et al. 1995）でも認められている。

・ただしマルチングの材料とマルチングをする際の土壌処理によっては効果が期待できないこともある。マルチングに除草した草を用いると、場所によっては、苗木がシロアリの被害を受けることがある（浅川 1992）。湿性草地でアブラヤシの空の果房をマルチングすると、果房がイノシシのえさになり、苗木が被害を受け、果房が腐食する過程で湯気をだし、植栽木の葉を乾燥させた（Ismail 2008）。サトウキビの絞り殻を用いると、絞り殻が野ねずみを引きつけ、成長の遅い木が被害を受けた（Applegate & Robson 1994）。土壌を掘り起こし植栽した苗木に伐採木の樹皮をマルチングすると、過湿になり苗木の成長が抑制された（Nussbaum et al. 1995）。マルチングの材料と地表処理の方法には注意を払う必要がある。

### 5.5 下刈り・蔓切り

・一般的に植栽木が 3m 以上になると、除草を必要としない（Appanah & Weinland 1996）。樹高以下の雑草は保護効果があるとされている。

・裸地に蔓植物やつる性の竹が侵入しているところでは、年 4 回の除草が必要である (Appanah & Weinland 1993 等) とされているが、除草の頻度は、植栽地の草本や蔓植物の繁茂状態と植栽木の生育状態を元に決める必要がある。

・通常行われている全ての雑草木を除草する下刈りでは、雑木草の再生が促され、さらに強度の除草を繰り返さなければならず (Appanah & Weinland 1996)、経費がかかる。そこで、特に苗木を抑制する蔓植物などの雑草灌木 (Zuhaidi & Weinland (2002;pp.97, Table A9-2)) を除去する部分下刈りが有効である (Appanah & Weinland 1996)。

・除草の留意点：熱帯では蔓植物の除去が重要で、蔓植物は切断するか、可能であれば根を引き抜く；蔓植物の *Mikania* が生育していれば、1年間毎月除草する；苗木から 1m の範囲を除草、可能ならば引き抜く、くわ型の除草器は植栽木を傷つけやすいため、使用を控える；苗木に影響している雑草木を主体に除草し、他の雑草木は植栽木の微環境を保つため残す；全面下刈りはしない (Zuhaidi & Weinland 2002)。下刈りを効率的に実施するために、安易で機械的な全面刈り取りを避け、苗木の育成を基本に苗木周辺の雑草の繁茂状況を観察し部分的選択的に除草する集約的な作業が個々の作業員に求められていると言える。

・半島マレーシアにおける除草が優先される植物名のリストが (Appanah & Weinland 1996; pp.434, Table 15) に挙げられている。この場合、作業員は植生を習熟する必要がある。

・植栽木の成長は除草期間が長いほど、また植栽後除草を始めるのが早いほど、増加した (Lamb 2011)。一方北タイでは更新 8 ヶ月後の樹木の生存率は除草区より無除草区の方が有意に高かった。これは草本による強い日射や高温からの保護効果による (Hardwick et al. 1997) と推測されている。

・チガヤは除草剤散布後火入れをすると完全に消失しないが火入れ後除草剤散布するとはほぼ消失することが、環境汚染の危険性はあるが、わかった。(脇 2001)

## 5.6 間伐、枝打ち

・バイオマス生産が目的の外来早生樹林では間伐の必要がなく、用材生産を目的とする場合は少なくとも 1 回の間伐が必要である (Lamprecht 1989)。荒廃地造林に適しているアカシアは 5 年かから 8 年の伐期で短繊維パルプ生産のために造林されており (Harwood 2011)、間伐の必要性は低い。*Acacia mangium* はバイオマス生産だけでなく、家具材や用材などの需要が増加しており、その場合 4 年生から 6 年生で間伐が行われている。ただし成長最大期を過ぎ、成長量がかなり少なくなった間伐手遅れの *A. mangium* 林でも、間伐により成長が著しく増加し、市場に出荷できる大きさの材が増加したのが認められている (kamo et al. 2009)。

・ベトナムでは *A. auriculiformis* の素材は *A. mangium* より価値が高く、パルプ材の 2 倍の立木価格で売られている。適切な植栽密度、適度の施肥、植栽後 1 年目の下枝打ち、植栽後 2 年間の適度の除草によって、材積が増加し、高価値材の比率が高まり、材の価値を高めている (Harwood 2011)。

・フタバガキ科樹種は競争がなくても自然落枝がよく起こる。枝下高が所定の高さ（丸太の長さ）になるまで被陰を保ち、その後間伐を行い、樹冠の発達と成長を促す（Appanah & Weinland 1996）。

## 6. 植栽以外の荒廃地再生技術の可能性

### 6.1 直播き

・直まきは苗畑での育苗が省略できるため、経費の節減が期待できる森林再生法の一つで、同じ攪乱地でも二次林や草原よりも荒廃した裸地に適した（Camargo et al. 2002）森林再生法である。東南アジアでは、ラオス中部（Lamb et al. 2005）、タイ北部（Wood & Elliott 2004）やインドネシア（Lamb 2011）の草原で、またブラジルの草原やボーキーサイト鉱山跡地（Lamb 2011）およびアマゾンの荒廃裸地（Camargo et al. 2002）、熱帯オーストラリアの荒廃地や鉱山跡地（Lamb 2011）などで種子が直播きされ、稚樹や成木が成立した事例が報告されている。また直まきから成立した幼木が周囲の森林からの天然更新を促した事例もある（Lamb 2011）。

・直まきの成否に関わる要因：苗木植栽より活着率が低いため活力のある多数の種子が必要。種子が地面に播かれた後、発芽するまで立地によってはネズミやアリなどの生物害が多い。そのため発芽速度を速める種皮処理が必要。直まき前に、裸地では徹底した除草や地がき、耕耘など林地改良が、また鉱山跡地では表層土の客土などが必要で、直播き後は生物害や乾燥害を防ぐため、種子大きさにもよるが5cm程度土壌を被覆するのが良いとされている。また種子の大きな樹種の方が発芽率が高く、直播きに適している。乾季の厳しい所では雨季の始まりとともに直播きする。

・直播きは、苗畑がないところでも実行でき、苗木の運搬の必要がないため、奥地や急斜面での森林再生に利用でき、直播き技術があれば、奥地の村落共同体でも実行可能である。今後の直播き技術の発展が待たれる。

### 6.2 表土播き出し

・裸地に森林の表土を客土すると、先駆樹種や草本が多く発生し、緑化が始まる。これを表土まきだし法といい（梅原徹他 1982）、荒廃地の緑地造成で試みられ（Bradshaw & Chadwick, 1980）、ダム貯蔵湖の法面緑化などに利用されてきた。荒廃地の森林造成に適用できれば、造林経費のいっそうの節減が期待できる。

・熱帯では、表土喪失箇所へ天然林の表層土壌を客土すると先駆樹種を含めた多くの植物が発生し、定着した（Nussbaum et al. 1995）。表土を欠く強度の攪乱地に熱帯天然林の埋土種子が存在する表層数cmの表土（Whitmore 1991）を播きだし、種子が発芽し先駆種や草本が裸地を被覆した後、そのまま遷移にまかせるか、在来樹種を植栽して育成する方法が考えられる。

## 7. 各荒廃地再生に必要な施業技術

荒廃地を再生させるためには適切な樹種の選定、苗畑での健全で強靱な苗木の育成、植栽環境の改良、適切な保育作業が施業の骨格になる。その一連の作業の中で、攪乱の程度が異なる種々の荒廃地で実施され、効果が期待される作業の概要を表 2-3 に示した。限られた資料からの結果ではあるが、表から明らかなように、ほとんどの作業は各々の荒廃地で共通で、多少なりとも独自の作業が認められたのは、植栽環境の改良の中の土壌物理性の改良であった。荒廃地での造林技術を進めるため、特に、各荒廃地の土壌環境の違いに基づく土壌物理性の改良と各々の荒廃地に耐えうる樹種の選定が各荒廃地で個別に必要とされる作業技術でないかと考えられる。

表 2-3. 主な荒廃地における施業技術の概要

場所	施業項目	効果が期待される作業（詳細は本文参照）			
		各荒廃地で共通	鉱山跡地	焼畑	チガヤ草原 低湿地
	樹種の選定	表 1 参照			
苗畑	苗畑処理	菌根菌の感染処理 被覆肥料の利用等 硬化処理2~3ヶ月			
	苗木の規格	本文参照			
植栽地	植栽環境の改良				
	a. 土壌物理性の改良		すきお越し 耕起 客土* 耕耘	すきお越し 耕起 全面耕耘*	盛土
	b. 土壌化学性の改良	施肥（せき悪地ほど効果大） マメ科樹種の混交			
	c. 被陰樹の利用	A. mangium（幹のしん腐れ等に注意） A. auriculiformis（モンスーン熱帯） 下木植栽時の伐採幅：樹木の1~1.5倍			
	d. Framework species	天然林の近くの荒廃地			
	e. Maximum diversity	近くに天然林が無い荒廃地			
	植栽木の保護	マルチング（材料と地表処理に留意）			
	除草	蔓植物などの雑草灌木を植栽木が3m以上になるまで除草			
	間伐	間伐は早生樹のバイオマス生産では必要性低い、用材生産では適宜実施			

\* 施肥で効果増進

## 引用文献

- Aber, J.D. 1990. Restored forests and the identification of critical factors in species-site interactions. In: Jordan, W.R., Gilpin, M.E. & Aber, J. D. (ed) Restoration ecology A synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Pp.241-250.
- Ådjers, G. et al. 1995. Enrichment planting of dipterocarps in logged-over secondary forests: effect of width, direction and maintenance method of planting line on selected *Shorea* species. *Forest ecology and management*, 73:259-270.
- Ådjers, G & Otsamo, A. 1996. Seedling production methods of dipterocarps. In Schulte, A & Schone, D. (ed.) *Dipterocarp forest ecosystems*, World Scientific, Singapore. pp.391-410.
- Ang, L.H. 1991. Effects of open and underplanting on early survival and growth of *Endospermum malaccense* (Sesendok), *Alstonia augustilba* (Pulai) and *Shorea parvifolia* (Meranti Sarep Punai), *Journal of Tropical Forest Science*, 3:380-384.
- Ang, L.H. & Maruyama, Y. 1995. Survival and early growth of *Shorea platyclados*, *Shorea macroptera*, *Shorea assamica* and *Hopea nervosa* in open planting. *Journal of Tropical Forest Science* 7, 541-557.
- Appanah, S. & Weinland, G. 1993. Planting quality timber trees in Peninsular Malaysia. Forest Research Institute Malaysia, Kepong, Malaysia.
- Appanah, S. & Weinland, G. 1996. Experience with planting dipterocarps in Peninsular Malaysia. In Schulte, A & Schone, D. (ed.) *Dipterocarp forest ecosystems*, World Scientific, Singapore. pp.411-445.
- Applegate, G.B. & Robson, K.J. 1994. Establishment of mixed rainforest species on degraded land - a case study from the coastal lowlands of northeastern Australia. *Journal of Tropical Forest Science* 7: 8-17.
- 浅川澄彦. 1996. 熱帯の造林技術. 国際緑化推進センター
- Awang, K. 1994. Growth of three multipurpose tree species on tin tailings in Malaysia. *Journal of tropical forest science*, 7:106-112.
- Barizan, R.S.R & Newbery, D.M. 2008. Early establishment of dipterocarp seedlings in Berkelah forest reserve, Pahang. In: Chan, H.T., Shamsudin I. and Ismail, P (ed) *An in-depth look at enrichment planting*. Forest Research Institute Malaysia, Kepong, Malaysia. pp. 89-105.
- Bradshaw, A.D., & Chadwick, M.J. 1980. *Restoration of Land. the Ecology: Reclamation of Derelict and Degraded Land*
- Bruenig E.F. 1996. Conservation and management of tropical rainforests An

- integrated approach to sustainability. CAB International, Wallingford, UK.
- Camargo, J.L.C. et al. 2001. Rehabilitation of degraded areas of central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds. *Restoration Ecology*, 10:636-644.
- Elliott, S.P. et al. 2003. Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. *Forest Ecology and management*, 184: 177-191.
- Evans J. & Turnbull, J.W. 2004. *Plantation forestry in the tropics*. Third edition. Oxford University Press, Oxford. UK.
- Gerhardt, K. 1996. Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. *Forest Ecology and Management*. 82, 33-48.
- Hardwick, K. et al. 1997. Understanding and assisting natural regeneration in northern Thailand. *Forest Ecology and Management*, 99:203-214.
- Harwood, C. 2011. Strengthening the tropical *Acacia* plantation value chain: The role of research. *Journal of Tropical Forest Science*, 23 (1) 1-3.
- Hattori, D. et al. 2009. Effect of light intensity and soil physico-chemical properties on seedling mortality and growth of six dipterocarp species planted for rehabilitation of degraded grassland, secondary forest and logged forest in Sarawak, Malaysia. *Japanese Journal of Forest Environment*, 51:105-115.
- Inagaki, M. et al. 2010. Nutrient dynamics through fine litterfall in three plantations in Sabah, Malaysia, in relation to nutrient supply to surface soil. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 88: 381-395.
- 入野和朗他. 2005. 外生菌根を形成したフタバガキ (*Dryobalanops lanceolata*) 苗への肥効調節型被覆肥料施肥の試み. *熱帯林業*, 64: 34-41.
- Ismail, P. 2008. Rehabilitation of degraded peat swamp forest in Raja Musa forest reserve, Selangor. In: Chan, H.T., Shamsudin I. and Ismail, P (ed) *An in-depth look at enrichment planting*. Forest Research Institute Malaysia, Kepong, Malaysia. pp. 43-50.
- Kamo, K. 1989. Research activities and the progress of silviculture section in the project. *Research and training in re-afforestation project*. Royal Forest Department, Bangkok, Thailand.
- 加茂皓一他. 2001. 東北タイサケラートにおける人工林、天然林、草原の現存量、生産力、林内環境. 開発途上国人工林環境影響調査事業平成 12 年度調査報告書 (第 1 年次) 海外産業植林センター. PP.93-134.
- 加茂皓一&Sirin Tiyanon. 2006. 熱帯人工林の在来種侵入に対する触媒効果ータイ東北部サケラートにおける調査からー. *熱帯林業*, 67:25-33.
- Kamo, K. et al. 2008. Biomass and dry matter production in planted forests and an

- adjacent secondary forest in the grassland area of Sakaerat, northeastern Thailand. *Tropics*, 17: 209-224
- Kamo, K. et al. 2009 Choice of suitable nurse tree species for rehabilitating degraded tropical land. JIRCAS working report, 60:32-38.
- Kamo, K. et al. 2009. Response of unmanaged *Acacia mangium* plantations to delayed thinning in North-east Thailand. *Journal of Tropical Forest Science*, 21:223-234.
- Kamo, K. et al. Survival and growth of 11 indigenous tree species on degraded open land and under *Acacia mangium* Willd. plantation in Sabah, Malaysian Borneo (未発表)
- Kanzaki, M. et al. 1991<sup>a</sup>. Biomass production and survival of trees planted in tropical waste lands in Thailand. In: Yoda & Sahunalu (ed) Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand. Department of Biology, Osaka City University. Osaka, Japan. pp.139-159..
- Kanzaki, M. et al. 1991<sup>b</sup>. Root system plasticity of *E. camaldulensis* planted on various soils of tropical waste lands. In: Yoda & Sahunalu (ed) Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand. Department of Biology, Osaka City University. Osaka, Japan. pp.93-113.
- Kanzaki, M. et. al. 1991<sup>c</sup>. Preliminary study o the transpiration rate of tropical tree species in Thailand. In: Yoda & Sahunalu (ed) Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand. Department of Biology, Osaka City University. Osaka, Japan. pp.139-159.
- 菊池淳一・小川眞. 1997. 微生物を利用したフタバガキの育苗. 熱帯林 38:16-24
- 吉良竜夫 1983 熱帯林の生態 人文書院 京都 251 ページ.
- 小島克己他. 1998. 熱帯荒廃地の環境ストレスと樹木の反応 地球環境 3:55-62.
- 国際緑化推進センター. 1998. せき悪林地生産力回復技術開発基礎事業 平成 9 年度調査事業報告書
- 国際緑化推進センター. 2000. せき悪林地生産力回復技術開発基礎事業 平成 11 年度調査事業報告書
- Lamb, D. et al. 1994. Reforestation of degraded tropical forest lands in the Asia-Pacific region. *Journal of Tropical Forest Science*, 7: 1-7.
- Lamb, D. 1997. Rejoining habitat remnants: restoring degraded rainforest lands. In: Laurance, W.F. & Bierregaard, J. R. (ed) Tropical forest remnants ecology, management, and conservation of fragmented communities. the University of Chicago Press, Chicago, USA pp. 66-385.
- Lamb, D. et al. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science supporting* online

- material([www.sciencemag.org/cgi/content/full/310/5754/1628/DC1](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/310/5754/1628/DC1))
- Lamb, D. E. 2011. Regreening the bare hills Tropical forest restoration in the Asia Pacific region. Springer, Dordrecht. Germany. Pp.547.
- Lamprecht, H. 1989. Silviculture in the tropics. Technical Cooperation, Eschborn.
- Lanh, V.L. 1994. Establishment of ecological models for rehabilitation of degraded barren Midland land in northern Vietnam. Journal of tropical forest science, 7: 143-156.
- Majid, N.M.et al. 1994. Rehabilitation of ex-tin mining land by agroforestry practice. Journal of tropical forest science, 7:113-127.
- Marghescu, T. 2001. Restoration of degraded forest land in Thailand: the case of Khao Kho. Unasyuva, 52: 52-55
- McGregor, G. R. & Nieuwolt, S. 1998. Tropical climatology. John Wiley & Sons. New York, USA. Pp339.
- McNamara,s.et al. 2006. Rehabilitating degraded forest land in central Vietnam with mixed native species plantings. Forest ecology and management, 233:358-365
- Mori, T. 1979. Physiological studies on some dipterocarp species of Peninsular Malaysia as a basis for artificial regeneration. Research pamphlet no.78. Forest Research Institute kepong Peninsular Malaysia.
- Nicholson D.I. 1960. Light requirements of seedlings of five species of Dipterocarpaceae. Malayan Forester 23:344-356
- Norisada, M et al. 2005. *Acacia mangium*, a Nurse Tree Candidate for Reforestation on Degraded Sandy Soils in the Malay Peninsula. Forest Science, 51:498-510.
- Nussbaum,R. Anderson, J. & Spence T. 1995. Factors limiting the growth of indigenous tree seedlings planted on degraded rainforest soils in Sabah, Malaysia. Forest ecology and management, 74: 149-159.
- Nussbaum, R. & Hoe, A.L. 1996. Rehabilitation of degraded sites in logged-over forest using dipterocarps. In Schulte,A & Schone, D. (ed.) Dipterocarp forest ecosystems, World Scientific, Singapore. pp.446-463.
- 大谷達也. 2011. 半島マレーシア低地における複層林造成技術の評価ービドーJICA プロジェクト試験地の17年後.後編 海外の森林と林業 82:33-37.
- 沖森康行. 2001. 熱帯雨林の修復・再生研究(1)インドネシアでの低地フタバガキ林の修復・再生プロジェクト. 日本熱帯生態学会ニューズレター45,1-7.
- Otsamo, A et al. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv.dominated grassland. Forest ecology and management, 73:271-277.
- Otsamo, R. et al. 1996. Reforestation experiences with dipterocarp species on

- grassland. In Schulte, A & Schone, D. (ed.) Dipterocarp forest ecosystems, World Scientific, Singapore. pp.464-477.
- Otsamo, R. et al. 1996. Early performance of 12 shade tolerant tree species interplanted with *Paraserianthes falcataria* on *Imperata cylindrica* grassland. *Journal of tropical forest science*, 8:381-394.
- Otsamo, R. 2001. Forest plantations on *Imperata* grasslands in Indonesia – Establishment, silviculture and utilization potential. Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki. Helsinki, Finland.
- Parrotta, J.A. et al. 1997. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forests on a bauxite mined site in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 97:21-42.
- 櫻井克年. 1998. マレーシア／サラワク州・バンカムにおける生態系修復を目指した試験造林. *地球環境* 3: 43-53.
- 櫻井克年他. 2005. マレーシア／サラワク州における生態系修復の試み. *熱帯林業* 62: 20-28.
- Samsudin, M. & Ismail, P. 2008. Multi-storied forest management project. In: Chan et al. (ed) An in-depth look at enrichment planting, Forest Research Institute Malaysia, Kepong, Malaysia, pp. 51-64.
- Sasaki, S. 1980. Growth and storage of bare-root planting stock of dipterocarps with particular reference to *Shorea talura*. *Malayan Forester* 43:144-160.
- Sasaki, S. & Mori, T. 1981. Growth responses of dipterocarp seedlings to light. *Malayan Forester* 44:319-345.
- 佐々木恵彦. 1992. 序. 沈黙する熱帯林－現地からの報告. 東洋書店、東京.
- 佐々木恵彦他. 1998. 荒廃した土地の環境修復. 武内和彦&田中学編 生物資源の持続的利用. 岩波書店 pp.151-172.
- Soerianegara, I. & Mansuri, 1994. Factors which determine the success of greening in Gunung Kidul, Central Java. *Journal of tropical forest science*, 7:64-75.
- 田原恒他. 2008. 熱帯樹木の低 pH とアルミニウム過剰に対する応答と酸性硫酸塩土壌における適応能力. 佐々木恵彦 21 世紀 COE プログラム編環境適応生物を活用する環境修復技術の開発最終報告書、日本大学大学院生物資源科学研究科 pp.69-71
- 丹下健&小島克己. 2004. 荒廃熱帯林の景観レベルでの修復に関する研究：荒廃地における造林技術の開発. 環境省、東京
- 丹下健. 2000. 熱帯林の修復－タイ南部荒廃湿地での取り組み－ 世界の土壌資源の現状と問題点 日本学術会議シンポジウム, 18-20.
- 梅原徹他. 1982. 森林表土のまきだしによる先駆植生の回復法 緑化工技術, 9:1-8.
- Vacharangkura et al. Performance of ten indigenous tree species underplanted to *Acacia mangium* Wild plantations in northeast Thailand (未発表)

- 脇孝介.2001.熱帯せき悪化土壌の地力回復. 熱帯林業 52:10-20.
- Whisenant, S.G. 1999. Repairing damaged wildlands: a process-oriented, landscape scale approach. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
- Whitmore, T.C. 1991. Tropical rain forest dynamics and its implications for management. In: Gomez-Pompa A. et al. (eds). Rain forest regeneratin and management, UNESCO, Paris, pp.67-88.
- Woods, K. & Elliott, S. 2004. Direct seedlings for forest restoration on abandoned agricultural land ain northern Thailand. Journal of tropical forest science 16: 248-259.
- 山手広太. 1993. 熱帯地域における育苗の実務. 国際緑化推進センター.
- Zuhaidi, Y.A. & Weinland, G. 2002. Planting and tending. In:Krishnapillay, B. (ed.) A manual for forest plantation establishment in Malaysia. Malayan forest records, 45:93-102.

## 2) 菌根共生の形態、機能及び東南アジアにおける活用の現状

森林総合研究所 森林微生物研究領域 岡部宏秋

### 1. 共生を営む菌根

植物は陸上に踏み出したことで、それまでとはまったく異なった形態・機能を獲得した。それは根のはたらきにある。水中では漂い流れる養分を取り入れることで足りたが、土中では根を通じて水や栄養を取り込む必要に迫られた。土の中から集めなくてはならない。しかしながら養分を吸収する根は、その表面積を大きくするにも、その広がりにも限度がある。細かい根を増やし、土との接触面積を大きくしなくてはならない。しかし、土の中のこと、集めた場所の養水分はたちまち枯渇する。そこで成立したのがカビの仲間とのやりとりであったと考えられる。細菌は土の中では遠くのものを集めることができないが、カビは手を伸ばすように離れたところへ出かけて物質を取り込み、手元に引き寄せることができる。都合のいいことに、根の中に菌糸を差し入れることで細胞内に取り込まれた光合成産物、すなわちエネルギー（炭水化物）を取り込むことができ、逆方向では水や養分を細胞内に供給することでお互いに利する舞台が出来上がった。カビ側にとっても根に取り付いてさえできれば、エネルギーを確保でき都合がいい。こうして緑が消えたのではと思われるほどのいくつもの難局を共生体は乗り越えてきた、その共進化の姿が今にある。

根にみる共生の世界を概観してみよう。

1879年に deBary によって提案された共生 (symbiosis) という概念が、ここに来て大きく花開いている。10億年以上前にバクテリア (ミトコンドリアや葉緑体) を取り込むことでエネルギー変換器を獲得した動物・植物、それが共生のたまものだという。生き物は共生のかたまりといえるかも知れない。

菌根菌とは、植物の根系とカビの仲間が共生を営む菌類の総称で、分類学的には複数のカビの仲間からなる。菌根 (mycorrhiza) という名称は、Frank による 1885 年まで遡る。その後、菌根を形成する菌根菌の生活史や生態が次第に明らかにされてきた。

近年、この分野の進展は菌根共生機能に特徴的なリン代謝機構やその他の養水分動態といった生理生化学的な解析、電子顕微鏡などによる高解像の解析、分子生物学的手法による系統分類学の改変や使用した素材の追尾手法などなど目白押しで、根系と微生物間だけでなく、さまざまな動物とも関わる分野、ひいては炭酸ガス固定からみたグローバルな視点へと広がっている。

共生とは、初期の共生機能の定義にみる単なる異なった生物間の助け合いから、巧妙かつ複雑な仕組みを持った関わりへと、その解明にはまだまだ時間を要するようである。たとえば、エネルギー代謝が潤沢である状況では互惠関係にあったのが、宿主の光合成能に衰えがみられると菌根菌側がやや寄生菌的な活動に変わったり、あるいは芽生え時点と成長し始めたときにはすでに共生相手を変えるなど双方が生物経済学的な応答でやりとりしているようにみえるなど共生の世界が奥の深いことをうかがわせる。

ここでは、まず菌根分野の基本的な知見に触れ、さらに菌根共生の機能面について、そして、特に東南アジアにおける適用事情を取り上げる。

## 2. 菌根共生の形態と機能

菌根とは、文字通り myco (菌) + rhiza (根) の直訳で、mycorrhiza は世界共通語となっている。しかしながら、菌根を舞台とした共生という仕組みの捉え方は 100 年を越えて大きく様変わりした。

共生という用語は上述したドイツの植物学者が提案者、植物と微生物が双方向に関わり生活する、その在り方をみて定義したもので、今われわれがふつうに使っている共生、つまり双方が利益を得るといふ相利共生、一方のみが益する片利共生、一方のみが害する片害共生、片方が益し片方が害する寄生、これらすべてを共生としてまとめている。生物間の相互関係を 1 つの用語で仕切った、といえるかもしれない。近年、われわれの生活のなかでも使われ、文化的共生 (河合雅雄、2008) として、この用語「共生」が市民権を得ている。ちなみに、河合氏は人間と自然との本質的な共生関係は片利共生だが、自然と文化の調和を図ることで文化的相利共生を創ることができるとし、その道こそが未来を保証する進路と論じている。緑資源の修復分野だけでなく、テーマからも読み取れる東南アジアの自然との共生にも意義ある視点といえる。

植物の地下部にみられる共生には、菌根菌のほかによく知られた根粒菌、その他にも植物体内にみられる内生菌がある。菌根菌が関わる共生を菌根共生といい、分類学的には数目に及ぶ菌類、ひとくくりにするならば糸状菌 (カビ) の仲間構成されている。根粒は、根粒菌 (窒素固定を行う菌) がつくるが、マメ科は細菌、マメ科以外の樹木 (ハンノキ、グミやモクマオウなど) には放線菌、そして根粒ではないがサンゴ状の根をつくるソテツ、イヌマキなどには藍藻細菌 (シアノバクテリア) が関わっている。内生菌には、細菌やカビ類がリストに上がっているが、そのはたらきはわかっていないことが多い。

菌根菌が、有機物を腐らせてエネルギーを獲得する腐生菌と違うのは、宿主に取り入り炭水化物を獲得することにある。したがって、たとえばシイタケを栽培するホダ木が数年でぼろぼろになり、やがて土と見間違ふようになってしまい短期間でエネルギーを得ることができなくなってしまうのに対し、一端宿主の根と合体すると、その宿主が健全である間 (共生できる間は、というのが正しい) は、炭水化物を確保できるので、例に挙げたシイタケよりはるかに長期間にわたってほぼ同じ場所で生活することができる、ということになる。見方を変えると、宿主の健全性に貢献している菌根菌であれば、宿主も利する関係を長期にわたり保証される、といえる。

### 2.1 菌根、菌根菌の分け方

Harley and Smith (1983) は、菌根型を 7 つに分け、その特徴と、それらの菌根を形成す

る菌根菌、そして宿主を表にまとめた。その表は、その後わずかな改訂のみで現在 (Smith and Read, 2008) に至っている。今後もこの表が基本となるように思われる。近年、インドで見つかったAM菌に似た菌根形態を示し任意的な動きを示す担子菌 *Piriformospora indica* やフタバガキに見られ amphimycorrhiza と提案されたグループなど根の内生菌の新たな事例が紹介されている。この表内での位置づけについて関心が持たれている。

その表から、各菌根型に属する菌類群、宿主のみ抜粋し以下に示す。

この表に示す7つの菌根型は、根の中（根の表層から皮層部の細胞）に菌糸が広がる形態で分けられている。中でも根の細胞の中と細胞の外側、つまり細胞間隙に広がる菌糸が注目された。その形態によって、当初は内生、外生、内外生に分けられた。根の細胞の内外の菌糸の広がりか鍵となった。以降、内生型は細胞の中に菌糸が広がる形態がさまざまであることから複数タイプに分けられ、外生は1つのタイプのみであったので外生菌根、内外生はそのままとなった。

#### 菌根のタイプ、関わる植物群と菌類

菌根型	菌類	宿主
アーバスキュラー菌根	グロムス菌門	コケ・シダ・裸子・被子植物
外生菌根	担子菌、子のう菌、(接合菌)	シダ・裸子・被子植物
内外生菌根	担子菌、子のう菌	裸子・被子植物で少数
アークトイド菌根	担子菌	ツジ目
モノトロポイド菌根	担子菌、子のう菌	ジャクジョウソウ亜科
エリコイド菌根	子のう菌	ツツジ目、コケ植物
オーキッド菌根	担子菌	ラン目

菌根菌に該当する微生物は、いずれも、いわゆるカビの仲間（真菌類）で、大きな子実体（キノコ）をつくる高等な担子菌から、子のう菌、グロムス菌門からなり、土壤中に菌糸を伸ばし生活する。宿主はそのほとんどが陸上植物で、アーバスキュラー菌根（AM）と外生菌根（ECM）の2タイプで80%以上を占めている。その他の5つのタイプは、狭い範囲の分類群でツツジやその近縁種と緑色ランに限られている。

なお、まだ見慣れないものの放線菌根（actinorrhiza）という用語がある。これは、菌根ではなく、前述した非マメ科植物（ハンノキ類、ヤマモモ、グミ、モクマオウなど）と *Frankia* 属という放線菌によって形成される根粒を示す。

以降、これら代表的なAM菌、ECM菌に絞る。

## 2.2 菌根（AM、ECM）の分類、形態と機能

この2つの菌根型は、宿主となる植物が単一種の大きな広がりであっても、多様性豊か

なところであっても頻度高く見られる。他の5つが限られた植物群にみられ、その分布はヒース植生にみるエリコイドのように大きな広がりを見せることもあるが、むしろ点的なことが多い。

AM菌が樹木、草本に限らず広く関わり、下等な菌類が主役であるのに対し、ECM菌は樹木に多く高等なカビ、多くがキノコをつくることが特徴の1つとなっている。宿主側からみると、両方ともに、この2つのどちらかを相手とすることが多いが、時に両者同時に感染する。地理学的な分布は、おおむねAM菌の分布は低緯度で、一方のECM菌は高緯度で低緯度地域では高標高であることが多い。ECM菌の分布からみると、熱帯域のフタバガキやユーカリなどにみるECMは特異的に見える。

AM菌は絶対共生とされ、単独で有性世代を繰り返すことができないと考えられている。ECMでは同じく絶対共生もみられるが、任意的な共生、つまり宿主がいなくても腐生能力によって子実体をつくることのできるものがある。

### (1) アーバスキュラー菌根 (AM)

この呼称は比較的新しく、それまでは「VAM」を使用していた。変えられた理由は、全ての種類がA(樹枝状体(arbuscule)の略)を形成するのにに対し、V(のう状体(vesicle)の略)は形成しないものもあることから「A」表記のみを推薦したことによる。

上述した中でもAMの特徴について触れているが、その出現は地上に植物が上陸したあたりの4億年もの前に遡ることができる。化石から明らかになった根の細胞内の菌糸は、現在見ることのできる形状に酷似した樹枝状体であった。土の中での養水分を吸収する根がいかにそれらを取り込むのに苦労したか、根のサイズよりはるかに細い菌糸にその役割を託す機会を得て今を生き繁栄している姿の原点がその化石に秘められている。

AM菌の分類は、近年大きく変わった。当初は下等なケカビなどが属する接合菌の仲間として紹介されたが、現在グロムス菌門として独立させた科属種の提案段階にある。以下に示す。

#### AM菌(グロムス菌門)の分類(暫定)

目	科	属
Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>
Archaeosporales	Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>
	Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>
	Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>
Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>
	Entrophosporaceae	<i>Entrophospora</i>
	Diversisporaceae	<i>Diversispora</i> , <i>Otospora</i> , <i>Redeckera</i>
	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i> , <i>Scutellospora</i>

		<i>Racocetra</i>
	Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>
Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i> , <i>Funneliformis</i> <i>Rhizophagus</i> , <i>Sclerocystis</i>
	Claroideglomeraceae	<i>Claroideglomus</i>

amf-phylogeny\_home (A. Schüßler and C. Walker, 2011)

[http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/amphylo\\_taxonomy.html](http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/amphylo_taxonomy.html)

AM 菌の分類は、始め胞子の外観から 6 属 150 種ほどに分けられた。その後、胞子膜の構造に基づき、そして現在は分子生物学的情報を得て、ここに示す暫定案 (Schüßler と Walker による提案) にみるように、4 目 11 科を設け、約 18 属に分けている。種数が少ないものの、門で編成される特異な分類群といえる。固定されつつある科属なので種数がいまいちな点があるものの、この分類では、おおむね *Glomus* 約 80 種、*Acaulospora* 約 30 種、*Scutellospora* 約 30 種、*Funneliformis* 約 10 種、*Racocetra* 約 10 種、その他はそれ以下となり、全体で 200 種余りとなっている。

AM は、植物の根がいかにして土壌から栄養を求めてきたかの起源と重なる。後年現れた顕花植物にみる他の菌根や根粒形成は、AM が獲得した遺伝情報を活用していることが、最近明らかになった。大陸が 1 つの時代にその仕組みを完成させた AM 菌の種数が少なく、現在の大陸形態に近い 5000~6000 千万年前に一気に広がった植物との共生で現れた外生菌根菌の種数は 2 万種近くと予測されている。気候や土壌などとの複雑な応答でなしたものと思われる。環境によっては、まだまだ新たな応答が出現し固定されていくかも知れない。

AM 菌の分布は多くの種がグローバルであるという捉え方が一般的で、事実離れた大陸でも同種をみることが多い。日本国内でふつうにみられる、たとえば *Gigaspora margarita* や *Rhizophagus claus* がカリマンタンの低湿地でも同じくふつうにみられる。スギやヒノキにみられる種が同時にキウリやヒマワリにも共生している事例のように、いたるところで宿主を見いだすことができ、多様な宿主に対応 (宿主範囲が広い、という) する能力を持つと考えられている。一方で、AM 菌の生体は細かいサイズの菌糸であり、バクテリアと同じように生息域は細かく仕切ると考えられる。10cm 離れた土壌であっても異質な環境であれば好適ではないとして、土壌特異性を示し、特定の範囲であっても、その分布は不均質になるものと思われる。

AM 菌は下等な菌類で、外生菌根菌のような大型の子実体を形成することはない。その特徴は、微生物の中では特大の胞子を形成する。*Gigaspora* や *Scutellospora* では、直径 0.5mm も珍しくない (*Glomus* などでは小さいもので 0.01~0.02mm)。水中にあれば肉眼視できる。胞子は、単独で形成されているもの、菌糸で被われているもの、ミカンの房に似た集合体を形成するもの、胞子塊を形成し時には土壌表層で形成すもの、枯死した根の中や植物体残骸に形成するものなどさまざまな生育形を持つ。

孢子というと核は1個、というのが一般的、しかしAM菌は、百個から1万個以上とも推測される多核で、実際発芽した形跡をいくつもみることができる。しかも、同じ種でも孢子の大きさによって核数が違うというから、共生の世界を代表するグループといっても謎が多い。

ECM菌は栄養体、キノコともに食用・薬用などで利用されているが、AM菌にはない。

## (2) 外生菌根 (ECM)

関わる菌類は、前表に示すように担子菌、子のう菌、接合菌（アツギケカビ属）で、多くが大型子実体、すなわちキノコを形成する。宿主は、樹木を主とするが、一部の草本とも共生する。以下、関わる代表的な科名を挙げると、裸子植物では、マツ、グネツム、被子植物では、カバノキ、モクマオウ、フタバガキ、ブナ、フトモモ、ヤナギ、マメの樹木などで、草本では、一部木質化する種もあるが、ハンニチバナ、カヤツリグサ、トウダイグサ、オシロイバナ、タデ、オシダなどが知られている。ただし、これら科内のすべての属、あるいは属内のすべての種が対象となるものもあれば、一部に限られる場合もある。宿主は不連続に分布していることが多い。したがってAM菌の宿主範囲は広く宿主が連続していると捉えると、その違いは大きい。宿主が不連続であれば当然ながらECM菌も連動する。とはいってもECM菌にも *Pisolithus tinctorius* や *Cenococcum geophilum* のようにどうやら汎世界的に見られるものもある。

ECM菌には腐生能によって生残するものがある。実際、広大な成熟スギ（AM菌と共生）林でマツやブナ科の種子を発芽させると菌根化することからも、すべてが絶対共生するわけではない。ECM菌が種子を待ち受けるタイプといえる。

少し触れたが、外生菌根であるとは、根の皮層部細胞の間隙を埋め尽くし（これをハルティッヒ ネットという）、根の表皮をあたかも鞘のように被う（菌鞘 またはマントルなどという容易に肉眼視できる）ことを指標としている。

その栄養菌体は、菌根から土中へ伸展し、その際の形態はAM菌のように単一の菌糸ではなく、ヒモ状の菌糸ともいえる束状の菌糸束や組織的にも分化している根状菌糸束を形成し、菌根位置から約10m離れたところに子実体を形成することさえあるという。生存限界域を通過し安全域に到達する能力を持つものがある。また、菌糸を高密度に広げ、あたかもマットのように地表部を占領するものもあり、栄養体の機能はAM菌と大きく異なる。大型の子実体（キノコ）をつくり、土の表面や根の広がる深さに菌糸の束や高密度の菌糸体をつくる。群落内の樹木の根系を同種あるいは別種の宿主を菌糸でつなぐ、菌糸によるネットワークを形成し、群落内が結ばれている。

宿主をみると、前述したように代表的な科名（マツ、ブナ、フタバガキ、フトモモなど）に見るように、AMに比べて限られた樹種群であることに気づく。これらの樹種はおおむね単一種群落をつくり、特に高緯度では広大な森林を形成し、そのキノコはしばしば食用とされる。

外生菌根菌が3群の真菌類からなると述べたが、もっともふつうにみるのは担子菌で、

いわゆるマツタケ型のキノコを形成する種が多い。一方で、もう一つの子の菌を含めて、地下生、すなわち土中に子実体を形成（トリフなど）するものがある。ちなみに、キノコがつくる有性胞子が地上にあって風で拡散するのに対し、大型動物や土中での小動物による拡散がある。

### (3) 菌根共生の機能

宿主が光合成によって生産する炭水化物を共生相手の菌根菌に渡す量は 5~30%に達するという。場合によっては、それ以上とも言われているから驚くべき量が渡されていることになる。この量が菌体に渡され土壌に還元されるとなれば、生きた貯蔵庫として、重要な役割を果たしていることになる。近年、興味ある報告がなされた。AM菌がグロマリン（糖タンパク質 glycoprotein、glomalin）生産を行い、土壌機能に強い影響を与えているという。グロマリンは、土中炭素量の 20%を越えるという大きな数値で、重金属を抱え込み、物理・化学的ストレスの軽減、そして砂、粘土や有機物をつなぎクランプを形成し、豊富な有機物を含んだ土壌へと根圏環境を誘導するといった点で注目されている。

菌根共生による樹木の耐乾燥性については、水分経済学的にも着目されてきた。ECM菌の中でも *Cenococcum* の耐乾性は *Laccaria laccata* (キツネタケ) の約 5 倍に達すること、また土中から集水 (hydraulic lift) することによって表層土壌の水分環境を改善する側面が指摘されている。宿主・菌根菌の相互作用だけでなく、土壌生物の環境形成の役割を担っていると考えられ、土壌生態系の一員として欠かせない生物群といえる。

根系の広がりには微細な菌類からみればとても大きい。1種の共生菌のみと連携するには余りある大きさであろうし、1種で表層から深い層まで制するとは考えにくい。実際、複数の外生菌根菌を同一樹下にみることが出来る。また、上述したようにしばしば異なった菌根型を同じ根系で見る。たとえば、*Acacia mangium* はマメ科であり根粒を形成することが知られているが、ECM や AM も形成することが出来る。すなわち、共生体としては 4 者が共生するという多重共生を行っている。これらは、放線菌根を持つモクマオウやハンノキの仲間などでもみられる。しかも、これらには、競合面があるものの、相乗作用を持つことが知られている。根粒では窒素固定を行ううえで豊富なリンが必要とされるが、根粒菌はリンを集めることができない。一方、外生菌根菌や AM 菌のもっとも重要なはずはリンの吸収がある。ECM 菌は自身による難溶性リンの可溶化や吸収能があり、AM 菌は他菌や化学的作用で可溶化した土壌中のリンを集める能力が高い。一方、菌根菌に気中の窒素を固定する能力はない。そこで、双方は不足を補う互助関係を成立させる。実際、a.共生菌非感染、b.根粒、AM、ECM の 1 タイプのみに感染、c.根粒、AM、ECM のすべてに感染、という組み合わせを行うと、 $a < b < c$  の順位で宿主の成長量が勝る。4 者でなくとも、ECM と AM を同時に感染していることは珍しくなく、多重共生はごくふつうに営まれている。

また、これらの関わりにバクテリアやカビが重要な鍵を持つことが知られている。菌根圏という菌根の周辺で活躍するバクテリアに、窒素固定、リン、鉄、その他の吸収に関わ

るとされる PGPR または PGPF (Plant Growth Promoting Bacteria or(Fungi) ) と呼ぶグループがいる。ECM 菌・*Suillus* 属にも細菌・シュードモナスなどとの関わりがみられ、宿主への貢献度の高い事例がみられる。

菌根菌は地表に近い根系分布域で生活する。したがって、土壌表面が攪乱されるといち早く影響を受ける。その攪乱が、重金属汚染であった場合、菌根機能はバイオリメディエーションという分野で着目される。いま、注目されているはたらきの一つとなっている。菌根共生機構の課題として重金属汚染、近々では原発事故によるセシウム汚染など土壌表層に広がる根系とともに生きている菌根菌の養分吸収にも作用すると考えられる。実際、セシウムがキノコに多く集積することが知られている。ウラン、ヒ素、カドニウム、銅、鉄、スズ、バリウム、亜鉛、鉛、アルミニウムなどについても、実験的には菌糸から根、そして地上部への移動に関わっていると考えられている。しかし、その関わりは、単純ではなさそうで、たとえばカドミウムはハルティッヒネットや皮層部の細胞壁に取り込まれ細胞間隙を通過して菌から根にスムーズに取り込まれるのに対し、亜鉛は主に菌鞘（菌根の周りを被う鞘状の菌糸体）の細胞壁や細胞質に取り込まれるので植物にはあまり移送されない。後者の菌鞘に蓄積されることが多いといわれるが金属集積が菌体に及ぼす影響についてはあまり知られていない。しかしながら、マツと共生する ECM 菌が高濃度のカドミウムを菌体細胞質の液胞内へキレート化によって移送し解毒化 (detoxification) するという報告があり、取り込まれる過程で毒性回避を行う機構が明らかにされている。菌根菌は無秩序に養水分を吸収するのではなく、たとえば、欠乏状態であるときには吸収促進するが、過剰の場合には抑制する機構がはたらく事例があり、解毒作用とともにこの興味あるはたらきには活用面でも期待がかかる。鉱山跡地や重金属汚染地の緑化では、単に緑化するというのではなく浄化機能をその目的とすることができるため着目される。必然的に、扱う植物あるいは共生菌との連携に着目することとなる。現地への菌根共生の活用には、事例集積の必要性和各工程における技術開発が求められる。

菌根菌はカビの仲間であり、一般に同じような生活を行うものが同居する場合には競合作用がはたらくと考えられ、腐生性のカビが繁栄している状態は菌根菌にとって好ましい場所ではないとされてきた。上述したように腐生菌の生息空間は刻々と変わるのがふつうであるのに対し、菌根菌は一端共生すると長くその場所に留まることができる。腐生性きのこの広がりに対し、菌根性きのこの競合する場面では、後者が残ったと思われる報告がある。菌根共生は、短時間に大量に、そして高密度のバイオマスを確保することがないが、長期に渡って、いわば安定した生物経済学的テリトリーを築くといえる。ECM、AM にも見られるが、獲得したそのエネルギーを、ある植物に渡すグループがある。小さなバイオマスを持っているとしか思えない菌根菌に対しエネルギーを依存するグループ、すなわち葉緑素を欠く菌栄養従属植物群 (epiparasitic plants) が約 400 種知られている。少ない資源であっても、安定供給されることは大きな意味を持っている。

菌根共生の活用の記録は、18 世紀後半のトリフの収穫と ECM 菌との関わりが始めとさ

れるが、科学的なメスが入るのは 20 世紀初頭で後年の展開となる。同じく AM 菌は 1990 年代後半に分類学が伸展し、その後加速された。その展開は、新たな機能付与という微生物機能への期待を込めた科学技術を見込んだものであった。そのために、特に菌根菌の機能としてリン酸の吸収機構に集中し、その後多様なはたらきにも目が向けられた。菌を増やし活用する技術、すなわち分離、培養、増殖、そして接種、感染工程を経て活着、定着という課題も併行した。第 3 版となった Smith and Read (1998) の Mycorrhizal symbiosis が、いかに大きな領域として認識されるようになったかがわかる。これをみても、機能と利用・活用に関する課題は、圧倒的に前者の報告が多く、利用は感染工程から定着にいたる主にポットや苗畑管理が課題となってきた。

フィールドへの適用は、感染苗を植え定着するまでの工程が主力となった。しかしながら、共生機能を生かす森林管理領域は、感染苗を植えた段階で終了になる事例が多く、手つかずの分野が多い。こういった取り組みゆえの成り行きであるかも知れない。一方、日本に見る ECM 菌マツタケ生産と森林施業との関わりは稀な事例といえる。マツタケ感染苗の植栽後の成果はいまだに認められた段階にはない。付加価値のある換金作物への投資としてのマツタケに着目されたが、本来の森林管理のための菌根機能の有効活用には至っていない。感染苗を生産する、となると運用という出口が問われる。そもそも、感染苗を使うその有効性は、初期成長の確保、地上部/地下部のバランスを整え移植時の根圏環境を保全し、そして活着にある。その後は、問うてはいない。無数の因子を提供するフィールド環境に対し、単に感染苗を植えたというだけでは、見込みが立たない、フィールドに参入するには、現場合わせが必要となる。感染苗を生かすその後の管理技術をとまなびてこそ、感染苗を活用することになる。しかしながら、このような視点で行われた事例は見当たらない。

感染苗植栽で最も大きな課題は感染菌の現地適応性にある。土壌特性だけでなく土着の菌根菌と競合する、あるいは相乗作用する微生物群、そしておそらくはそれらの多様性が大きな鍵となると思われる。しかしながら、導入菌、土着菌ともども、その生理生態学的情報が蓄積されているとは言い難い。いまのところ、施業がこれら菌根菌の特性を少しでも生かしているように評価する段階といえる。

### 3. 東南アジアにおける適用事例

熱帯・亜熱帯における菌根分野が近年急速に進んでいる。いうまでもなく、温帯域で発信した菌根情報と異質な発見には驚かされる。気象条件や風土の過酷なこの地域には、その過酷さを乗り越える、もしくは緩衝能のある仕組みをつくる菌根共生が成立していても不思議ではない。

しかしながら、1980 年代以降でも現地対応型試験が少ない。もっとも近いのが苗畑管理で、接種から感染苗の生産工程が検討されてきた。この点については、ECM 菌が先行し、AM 菌はようやく着手されたといっている。現地では感染苗の植栽を行うにとどまっている。一部では、炭などによる土壌改善が図られてきた。これらは、いずれも試験サイズに

とどまっている。

苗生産工程のみを対象としてみると、今回の南カリマンタン及び東チモールの数箇所における実態調査から、菌根菌の知見や情報を得ているところであっても実用化段階にはなく、まったく知られていないところでも現地の慣習による知恵に共生機能の活用範囲を見ることはなかった。一部で有機堆肥を生産しながら苗生産を行うにとどまっている。

実用的なフィールド試験が感染苗の植栽に限定されている点は東南アジアに限らない。苗畑から現地環境にシフトするには、耐性強化／健全化の保証を得た感染苗といっても、試験的には分離から増殖に至る工程に応える種類のみ扱える対象であり、多くの土着菌相とまみえる現場での隔たりは大きい。現地の土壤生態系に重心を置いた取り組みが求められる。

東南アジアにおける菌根菌の研究は、インドネシアとマレーシアが先行し、その後タイ、そしてフィリピンが続き、そのテーマはフタバガキが牽引役となった。温帯以北に集中するマツやブナ科にみる外生菌根菌と一線を画すフタバガキと外生菌根菌の組み合わせは、熱帯域というしかも低標高という点だけでも新鮮で異質な素材と映ったに違いない。単系統群といわれるフタバガキと外生菌根菌の連携がどのようなものであるかが注目されている。生息域の土壤環境が与える影響は低湿地と直ぐ近くの鉱物質土壤では大きくことなるであろう。一般に宿主範囲の広いとされる種が現地では限られた種のみと連携するといった生態学的特異性がみられるなど情報を蓄積する必要がある。

land management に対する菌根菌への関わりについて触れる。

一般に、菌根菌への関心は、地位指数が低いこと、単調な植生、そして人為破壊・大規模自然災害において高い。豊かな土壤では関心度が低い。もっとも、20 世紀後半に出現した化成肥料や化学物質による土壤環境の破壊も含まれるので、現在は都市近郊においても関心が持たれるようになってきている。総じて人為的あるいは自然災害によって周囲環境と異質な空間が生じた場所、すなわち、耕作地、伐採地、皆伐地、休耕地、輪作地、鉱山の表層土壤消失や集積地、半砂漠化土壤など、菌根資源が黄・赤信号といえる場所が対象となる。

農地の話題ではあるものの人為的ストレスは、自然界にみられる対象地とは異質の、たとえば化学肥料をリン量として約 2g/m<sup>2</sup> 散布すると ECM 菌が 2 割弱減少もしくは菌根量が減少するといった過剰供給に対する反応がある。共生菌ばかりでなく土壤生物相の破壊、不毛化を予見させる。

### 3.1 フタバガキ科の主要な ECM 菌

フタバガキにみられる主要な属は、インドネシア、マレーシア、スリランカのフタバガキ科では *Amanita*、*Boletus*、*Russula* そして *Scleroderma* を典型としている。カリマンタンでの 23 属のフタバガキ科を 6 年間の調査した事例では、*Amanita*、*Boletus*、*Russula* が主要とし、36 属 172 種を報告している。フィリピンでは、11 科 32 種の ECM 菌で、主要な *Russula*、と *Lactarius* が報告されている。タイでは、乾季落葉性や半常緑

性フタバガキで、*Russula*、*Lactarius*、*Boletus*、*Amanita*、*Pisolithus*、*Tricholoma*などを共通属としている。これらの主要属がフタバガキのいくつかの近縁属に共通してみられる。事例が少ないものの、落葉性フタバガキでは、カリマンタンと異なった属が示唆されているのは興味深い。種レベルの菌類社会学的評価が望まれる。また、高木フタバガキ林の林冠閉鎖サイトに固有の生態環境は、菌根菌の生活にも特異な因子となっている可能性があり、これらが及ぼす基礎的知見も加えられる必要がある。上記の ECM 菌の属名を含めて、*Bletus*、*Boletellus*、*Strobilomyces*、*Pulveroboletus*、*Heimiella*、*Austroboletus*、*Tylopilus*、*Amanita*、*Russula*、*Lactaroius*、*Hebeloma*、*Cortinari*、*Laccaria*、*Phylloporus*、*Craterellus*、*Aphelaria*、*Scleroderma*、*Hydnum*、*Pisolithus*、*Cantharellus*、*Tricholoma*、*Ramaria*、*Inocybe*などがあげられている。

### 3.2 鉱山開発跡地の緑化修復

現地あるいは供試素材がどの程度重金属に汚染されているかについては、その生物学的評価、あるいは化学的背景がどのように推移するかなどといった動的解析は難解に違いない。

多くの報告から、菌根型の特性が各試験における問いかけの鍵を握っているように見える。AM 菌の根圏における広がりや密度には特徴がある。ポット試験においてさえ根の表面を完全に被覆することはなく肉眼視で識別できるほど根の変形がみられない。また、根圏においてさえ菌糸密度は肉眼視できるほど高くない。前述したように、その菌糸は単一で菌糸束を形成することがない。一方、ECM 菌は、これらの逆を特徴とする。菌根や周りに伸展する菌糸を肉眼視できることが多く、菌糸束は組織的分化がみられるほど発達したものもある。特に、菌根表面は厚い菌鞘で被われており、しかも根の内部の皮層部まで根の細胞間隙に菌糸を充満させる。物理的にガードすると指摘されてきたわけがここにあり、限界環境に踏みとどまる要因になっている可能性がある。前述したように、重金属を根の細胞内の液胞中に集積させる、あるいは菌鞘にとどめ置くなど外生菌根の仕組みが解読されつつある。総じて、AM 菌の重金属付加試験では対照区との有意差がみられる報告とみられない報告があるのに対し、ECM 菌では有意差を示すことが多い。ちなみに土壌表層を用いて再生させようとし裸地同然の土壌環境から出発し活躍した ECM 菌が *Pisolithus*、と *Scleroderma* で、これは温帯域でも有力な候補として知られている。

一方では自然界での限界環境に AM 菌を確認することはふつうであり、おそらくは生息環境をこなす巧妙さを読み切れていないと思われる。1980-1990 年代におけるいくつかの報告では、ウラン鉱石、スズ鉱山、モリブデン鉱山における ECM 菌の有効事例が紹介されているが、リン鉱石、鉄鉱石、ボーキサイト鉱山、クロム鉄鉱石、亜炭、陶土では AM 菌の効果がしばしば確認できないとしている。これらの中では、単に接種・感染させているだけでなく、化成肥料、汚泥、ピートモスなど添加物を伴う場合があり、試験目的が異なるため一様に評価できないものの、どちらかという AM 菌に特有の試験設定の難しさがうかがえる。AM 菌は、単一の菌糸であり高密度に発達することがないが、一端感染す

るとその互惠関係は長く続くと考えられる。

実験的には、カリマンタンの低湿地帯における土着 AM 菌の有効性や土壌改良材として鋸屑堆肥が pH の改善に有効であるなど実用化可能な取り組みとして評価できる活動がある。いずれにしても現地に対応しうる課題の構築が望まれる。

#### 4. 菌根共生機能の活用

これまでの成果から、東南アジア各国は農地・森林問わず菌根菌の活用視野を傍らに、まずその取り扱い技術の習得、基盤情報の蓄積に取り組んできたと読み取れる。しかしながら、主張されていた中に、研究者数、予算、海外からのプロジェクト数などに危機感もっていると述べた報告（1998）があった。もちろん、このような事態は伸展を揺るがすものであり、主張されたように危機感が募る。その背景は、さまざまな環境破壊に対する、あるいは修復に対する焦慮があつてのことであろう。ここでとりまとめるはずの菌根共生を生かした適用事例に当てはまるものが調査中に見いだせなかったことを裏付けているのかもしれない。このような状況で菌根共生を活用するには、現地における共生機能の最大限の利用に求めることになるろう。

## 参考文献

- Appanah, R and Turnbull J M (eds.) (1998) : A Review of Dipterocarps: Taxonomy, ecology and silviculture、 pp.223、 CIFOR
- Robson, AD, Abbot, LK, Malajczuk, N (eds) (1994) : Management of mycorrhizas in agriculture、 horticulture and forestry、 pp.238 Kluwer Academic Publishers
- Pfleger, FL and Liderman, RG (1994) : Mycorrhizae and plant health pp.344 APS Press*
- Schüßler, A and Walker, C (2011) : amf-phylogeny\_home*  
[http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/amphylo\\_taxonomy.html](http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/amphylo_taxonomy.html)
- Smits、 WTM (1994) : Dipterocarpaceae: Mycorrhizae and regeneration, pp.240 Tropendos series 9, The Tropendos Foundation
- Smith, SE and Read、 DJ (2008) : Mycorrhizal symbiosis, pp787. Academic Press
- Singh, S (2003) : Role of mycorrhiza in reclamation of mine spoils, Mycorrhiza News 15 (2-12)
- Yuwati, TW, Santosa, PV, Hermawan, B (2008) : Arbuscular mycorrhiza fungi application for rehabilitation of degraded peat swamp forest in central Kalimantan. Buletin Tekno Hutan Tanaman. Balai Penelitian dan pengembangan hutan tanaman Indonesia bagian timur.
- Karyaningsih, I (2009) : Soil conditioner and mycorrhizal fungi (AMF) for improving the quality of forestry planting stocks in ex-mining land. E051060181、 IPB (Bogor Agriculture University)
- 国際緑化推進センター(1995) : カーボン・シンク・プロジェクト推進事業 (平成8年度調査事業報告書)

## 第3章 森林回復技術開発モデル林造成事業

### 1) 対象国の絞り込みと対象地域の選定

国際緑化推進センター 大角泰夫・棚橋雄平・仲摩栄一郎

#### 1. 目的

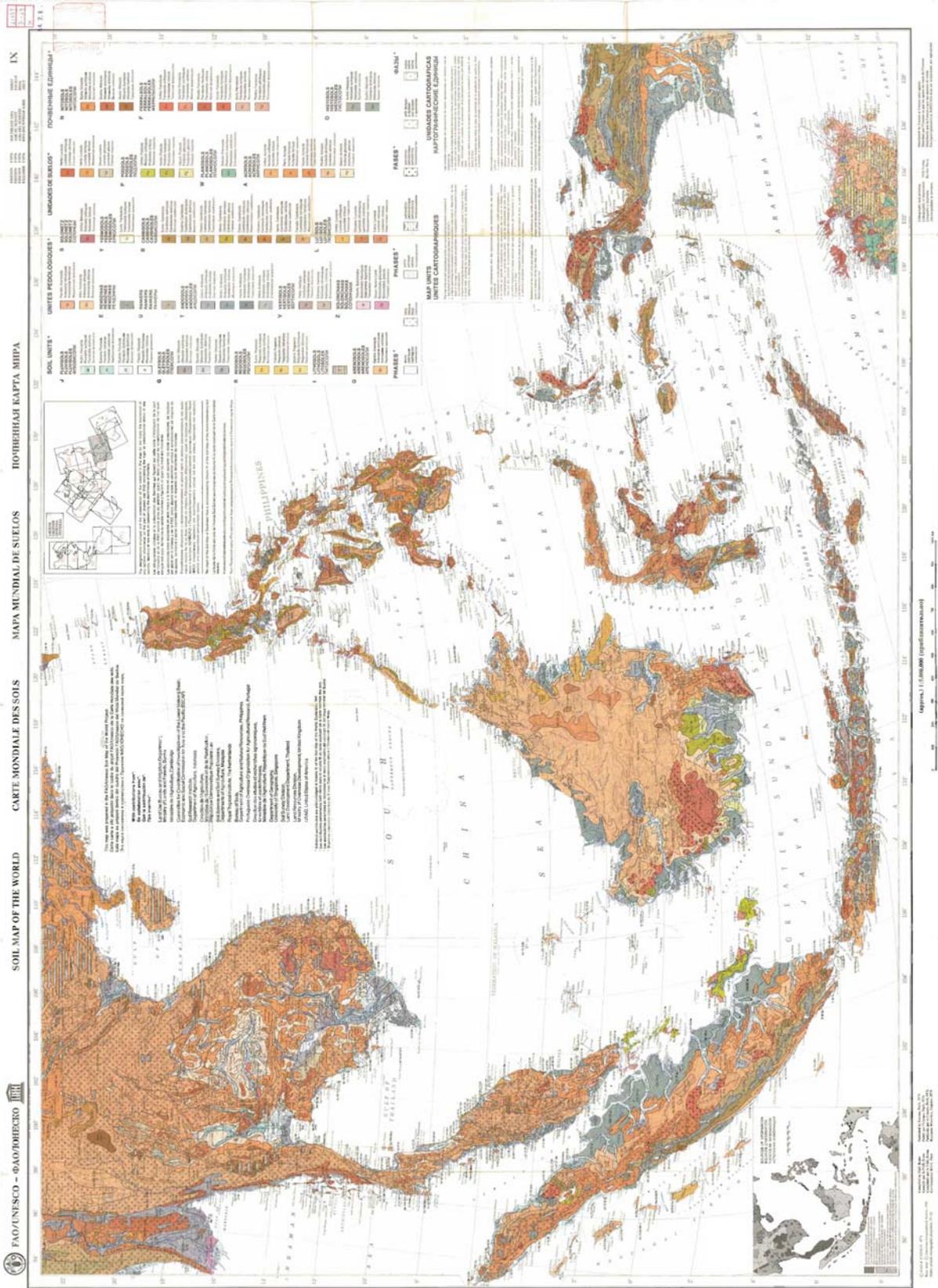
鉱山、農業等過剰な負荷がかけられた人為開発地は本来の森林植生が破壊され、その回復も通常の森林造成技術の適用が困難である場合が多い。特に鉱山跡地のような強い酸性が予想される場所や、環境容量を超えた過剰な農業、牧畜業が長年継続し、荒廃地化した場所で特にアルカリ性が強い場所ではより困難で、森林回復のための技術の開発が進んでいない。そこで本事業においては特に厳しい酸性あるいは酸性化が予想される土地及びアルカリ性の土地においてそれぞれ 10～30ha のモデル林造成を通して森林回復の仕組みを解明し、そのための技術マニュアルを作成することを目的とした。

#### 2. 分析方法

この目的を受けて、酸性土壌、特に鉱山開発によって硫黄を含む地層が地表に出現し、すでに硫黄酸化の結果である硫酸によって酸性化した土壌あるいはまだ硫黄の酸化が始まっていないが潜在的に硫酸が発生し酸性化すると予想される土壌、すなわち酸性硫酸塩土壌地域を抽出することとした。また、アルカリ性土壌については、農業や放牧によって荒廃化し、その上アルカリ性のために森林化が困難と予想される土壌地域を抽出することとした。

調査対象地は熱帯、亜熱帯地方を中心に調査することとし、温帯のカザフスタンや中国等の灌漑による塩類化土壌は対象としないこととした。また、相手機関との協働による技術開発とそのためのモデル林造成を進める際の密接な連携を考慮して、日本から離れている中南米、アフリカ及び南アジア諸国は対象から外した。さらに、ミャンマーについては好適な土壌地域が予想されたが、2011 年度当初は ODA 資金の運用に問題があったため、今回は外すこととした。結果として、インドシナ半島諸国、インドネシア、フィリピン、パプアニューギニア及び太平洋諸国を調査範囲とした。

対象地は酸性土壌(含む潜在酸性土壌)あるいはアルカリ性土壌地域から選定することが求められているため、調査は世界的な土壌分布図を用いることとした。世界的な土壌分布図には USDA による土壌分布図と FAO による土壌分布図がある(図 3-1)。前者は精細な基準によって作成されているが若干複雑である。一方、後者は基準に若干曖昧な箇所が存在するが、非常にわかりやすく、土壌分布図が容易に入手できる。このため今回は FAO による世界土壌図を用いて対象地を選定することとした。



☒ 3-1. FAO-UNESCO Soil map of the world South East Asia 版

対象地選定は FAO 世界土壌図(1975～)の土壌群の分布の中から関係する土壌地域を抽出する方法で行った。すなわち、世界土壌図に記載されている各土壌群の説明の中で、酸性土壌については「強酸性」と「硫黄化合物の存在」等をキーワードとし、アルカリ性土壌については「アルカリ性」、「石灰質」等のアルカリ性が類推されるキーワードから土壌群を拾い上げた。

### 3. 東南アジア等における酸性硫酸塩土壌とアルカリ性土壌の選別基準と対象土壌

前述したように FAO 世界土壌図の中から次の基準によって関係する土壌群を抽出した。すなわち、

- 酸性硫酸塩土壌関連土壌群：強酸性土壌反応、硫黄化合物の存在、海成堆積物の存在の記載等が含まれる土壌群
- アルカリ性土壌群：アルカリ性土壌反応、石灰質、さらに副次的基準として、中性土壌反応との記載がある土壌群

対象とした FAO 土壌図幅は、東南アジア図幅を中心として、一部太平洋地域を含んだ。したがって、西はタイ、北はラオス・ベトナム、東はフィリピン、イリアンジャヤ～ソロモン諸島、南はインドネシアまでの地域をカバーする。

この地域に出現するすべての土壌のリストは資料 3-1 に記載した。

これらの土壌群の詳細な吟味の結果、次の土壌が特に関連が深いと考えられた。

- 酸性硫酸塩土壌関連土壌群として、

① JL-硫黄型フルビソル	粘土質マングローブ土壌(含硫黄)
② Od-貧塩基型ヒストソル	淡水湿地泥炭土壌(含硫黄)
③ Oe-富塩基型ヒストソル	泥炭質マングローブ土壌(含硫黄)
④ Pg-還元型ポドソル	表層漂白下部鉄集積土壌
⑤ Ph-腐植型ポドソル	表層漂白下部腐植集積土壌
⑥ Po-典型型ポドソル	表層漂白下部鉄・腐植集積土壌
⑦ Qa-白色型アレノソル	全層白色砂質土壌
⑧ Qc-不定形型アレノソル	全層部分白色砂質土壌
⑨ Qf-鉄型アレノソル	全層淡色(鉄による)砂質土壌

などが抽出された。なお、JL, Od, . . . . は土壌コードで説明書引用に便利である。

これらのうち①～③は下層に pyrite( $\text{FeS}_2$ )の結晶を含むので、特に酸性硫酸塩土壌に変化する潜在性が高い。このような土壌地域で地表からの採炭が進められている場合はこれらの酸性及び潜在的酸性土壌が出現すると考えられる。ただ、鉱山、特に今回予定している炭坑の場合は石炭層の形成という側面から炭層を挟む層には過去に海成の硫黄を含む素材が堆積し、地中で上記①～③の化石土壌として存在するケースが多いと推察される。これらの化石土壌が採炭によって地表に出現する場合は、硫黄を含まない場合は酸性化しないと予想されるが、pyrite が含まれる場合は当然ながら地表に出現すれば酸性硫酸塩土壌と

なる。

また、④～⑨は過去に酸性硫酸塩土壌から変化した可能性があり、現在多くは酸性硫酸塩土壌の基準である pH3 より高い場合が多いが、これらの一部は現在も硫酸酸性が残っている場合があるので土壌地域選定にあたっての副次的基準として考慮に入れた。

○ アルカリ性土壌関連土壌として、

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| ① Eーレンジナ        | 石灰岩由来暗色礫質土壌      |
| ② Lgー還元型ルビソル    | 酸素欠乏型下層粘土質土壌     |
| ③ Lkー石灰型ルビソル    | 表層砂質下層粘土質石灰質土壌   |
| ④ Rcー石灰型レゴソル    | 石灰質砂礫土壌          |
| ⑤ Vcー彩色型ヴァーティソル | 赤黄褐色乾季地割れ土壌      |
| ⑥ Vpー淡色型ヴァーティソル | 淡色型乾季地割れ土壌       |
| ⑦ Beー富塩基型カンビソル  | 富塩基型褐色森林土様漸変土壌   |
| ⑧ Bgー還元型カンビソル   | 酸素欠乏型褐色森林土様漸変土壌  |
| ⑨ Bvー反転型カンビソル   | 表層地割れ型褐色森林土様漸変土壌 |
| ⑩ Geー富塩基型グレイソル  | 酸素欠乏型還元土壌        |
| ⑪ Lcー彩色型ルビソル    | 赤黄褐色表層砂質土壌       |
| ⑫ Loー典型型ルビソル    | 表層砂質下層粘質土壌       |
| ⑬ Lvー反転型ルビソル    | 表層砂質下層粘質乾季地割れ土壌  |
| ⑭ Neー富塩基型ニトソル   | 土性漸変型土壌          |

等が抽出された。

これらの土壌のうち FAO 土壌解説の中でアルカリ性という記載がある土壌は、①～⑥で、それ以外の土壌は中性という記載が含まれている土壌である。

本事業においては過去の過剰な農牧業開発が進められた場所で、アルカリ性の強い土壌を持つ場所を対象とすることになると予想されるので、上記の中から明らかにアルカリ性とされている土壌群(①～⑥)が分布する地域をまず複数地域選び出し、それらの中から事業実施のためのアクセス、技術開発の可能性及びモデル林の展示効果等を勘案して対象地を絞り込むこととなる。

#### 4. 酸性硫酸塩土壌候補地の選定とその際の留意事項

酸性硫酸塩土壌地域の森林回復技術マニュアルを作成する際の対象地として、炭坑跡地が鉱山跡地の中から選ばれた。本事業では炭坑跡地の中で、日本にも輸入されている石炭を産出するインドネシアを対象国とすることが決められた。

インドネシアにはカリマンタン、スマトラ等で採炭が行われているが、採炭後の森林回復を十分進めてはいない零細業者が散見され、過去の事業で JIFPRO との協力関係が結ばれているインドネシア・南カリマンタン地域が選ばれた (図 3-2)。

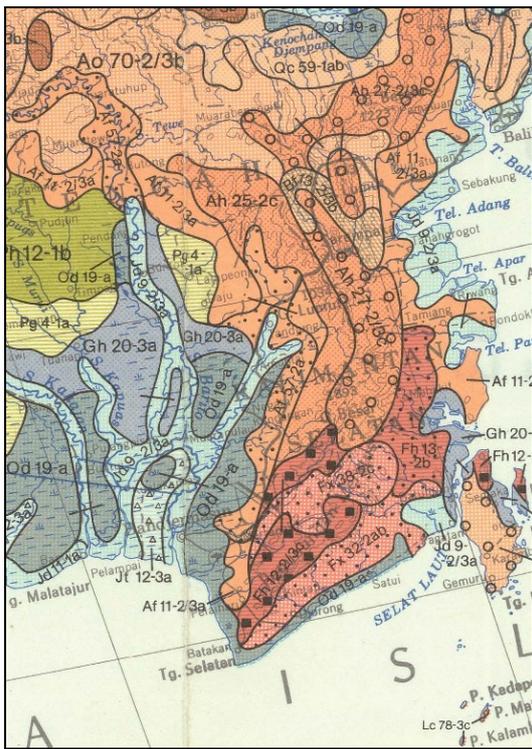


図 3-2. FAO-UNESCO Soil map of the world South East Asia 版  
 インドネシア・南カリマンタン地域の拡大図

インドネシアの法律では採炭後には速やかに森林回復を行うことと決められており、多くの業者は森林回復を積極的に行っているが、一部の零細業者は森林回復を行っていない。この原因として資金的問題もあるが技術的問題も多いとされており、本事業の成果の普及が重要であることが伺える。

南カリマンタン州では炭坑は Barito 川の左岸、比較的新しい新生代に堆積したと推察される台地に二つの大きな炭層線上に連続的に設定されている。炭層は地表面から相当深いところまで分布しており、多くは地中深くに埋まっている。したがって南カリマンタン州では炭層まで地表から掘り進んで後に採炭する方法、すなわち炭層までの地表部分が排除される露天掘りが普通である。排除される地表部分にはいろいろな年代の土壌が化石土壌として累積している（写真）。

これらの累層地層には海成堆積物と想像される地層が複数層重なっており、その中には硫黄を含む場合がある。このような地層は海成であることから地表に裸出した時点では海水に基づく塩基の存在からアルカリ性である。また硫黄化合物も pyrite(FeS<sub>2</sub>)という形態で存在しており、そのままでは酸性の pH を示すわけではない。この pyrite が空気にさらされると何らかのきっかけがあって、次のような反応によって硫酸が発生する。





#### 写真 炭層間及び炭層より上部に累積している化石土壌の一例

炭層間及び上部の化石土壌の多くは海成で、硫黄化合物が含まれることが多い。これらの素材が採炭後に埋め戻され、地表に裸出し、時にPyriteによって土壌pHが2前後あるいはそれ以下に低下し、更新する植物に被害を与える。この化石土壌は岩石のように固まっているが、地表に露出された場合は粒子がばらばらになる非固結堆積物である。

この発生する硫酸によって土壌が酸性化し、これがいわゆる酸性硫酸塩土壌となる。時に pH 1 台の極めて強い酸性土壌が発生することもあり、植物の生育が困難となる場合が多い。本事業はこの困難な状況を緩和する技術をモデル林を造成しながら開発することとされているが、対象となる土地が酸性硫酸塩土壌となるか否かについての見極めが必要である。そのため、対象地で酸性硫酸塩土壌が発生するか否かについて決められた方法によってチェックすることが必要である。

最も簡便なクイックテストによって Pyrite の存在を予想する場合は、濃度の高い過酸化水素水による発泡テストがある。激しく発泡する場合は pyrite が存在する可能性があり、将来硫酸が発生することが予想される。ただ、どの程度の酸性化が起きるかを知らずにはこのような定性的な試験に加えて定量的な方法によってチェックする必要がある。

この定量的チェックの方法として過酸化水素水による加熱試験がある。すなわち、過酸化水素水を対象土壌と混和し、加熱することによって硫酸を発生させる。結果として pH3.5 以下になればいわゆる潜在的硫酸酸性土壌で、その場所は将来的に酸性硫酸塩土壌となることが証明できる。

本事業の対象地においても過酸化水素-加熱試験を行い、その結果と植栽技術との対応について検討し、開発された技術の普遍化を目指すことが望まれる。

## 5. アルカリ性土壌地域候補地の選定とその際の留意事項

世界に分布するほとんどの土壌群は単独では世界地図に表示できるほどの広がりを持たないことが多い。アルカリ性に関連する土壌群も単独で広い面積で分布することは少なく、多くの場合はいろいろな土壌がこまかな気象や地形の違いに対応して絡み合いながら分布する。そのため土壌の集合体(アソシエーション)として地図上に表示されることが多い。

アルカリ性土壌を含むアソシエーションを FAO 世界土壌図—東南アジア編から抽出した結果は資料 3-2 に示した。

この結果から、東南アジアのアルカリ性土壌はタイ、ラオス、ベトナム、インドネシア、フィリピン、パプアニューギニア等に広く分布する。そのうち明らかにアルカリ性土壌が多いとされる地域(資料 3-2 の上から 8 土壌アソシエーション)はインドネシアで約 4,100 千 ha、タイ、ラオス、ベトナム及びカンボジアで約 3,300 千 ha、フィリピンで約 1,000 千 ha 存在する。したがって、インドネシアでの分布域が最も広く、特にスラウェシと東部島嶼地域にきわめて広く分布する。本プロジェクトの波及効果を勘案すると、インドネシアでの分布の中心である Lesser Sunda 諸島が対象地として好適であると判断される。

インドネシアの林業省森林回復部門と研究部門の識者からの情報を得て、今後のモデル林造成、技術開発等の事業実施の便宜などから東ヌサテンガラ州 Kupang 県—州都 Kupang 市近傍地域を候補地域として選定することが適切と判断した(図 3-3)。

対象候補地の予備調査の結果は、候補地のいずれも表層土はアルカリ性であり、土壌に関わる要件である「アルカリ性土壌地域」という基準は満たすと判断した。しかしながら、土壌が硬質なため下層土壌については未調査であるので、実際の事業実施の際には土壌の状況を見極めて、開始することが望まれる。

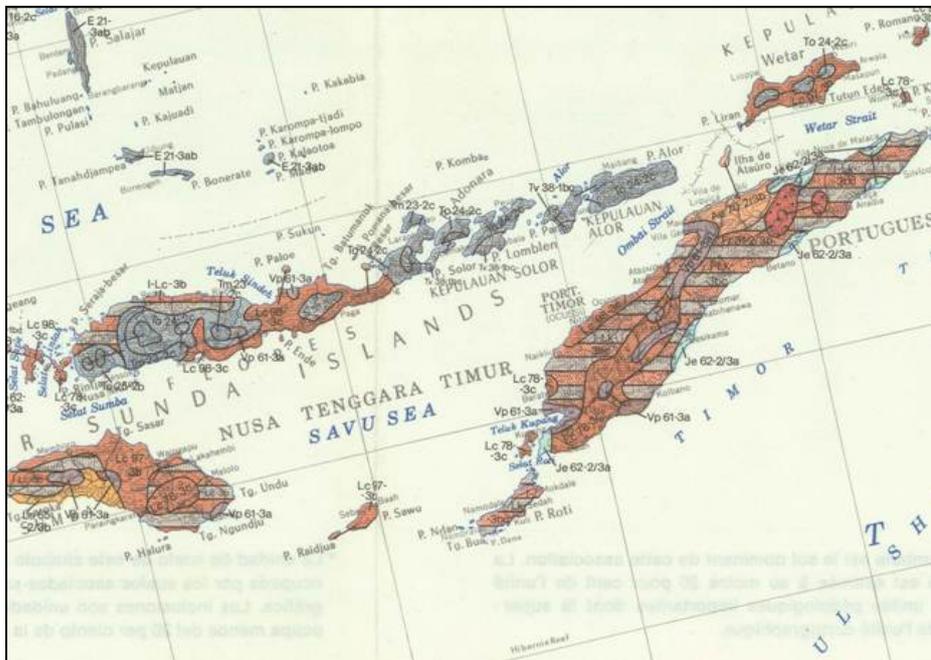


図 3-3. FAO-UNESCO Soil map of the world South East Asia 版  
インドネシア・東ヌサテンガラ州地域の拡大図

(資料 3-1)

東南アジア+パプアニューギニア地域に出現する土壌-(FAO, 1975)

略称	和訳名	土壌反応と関連事項	対象地の可否*
Af	鉄型アクリソル	酸性土壌	—
Ag	還元型アクリソル	酸性土壌	—
Ah	腐植型アクリソル	酸性土壌	—
Ao	典型型アクリソル	酸性土壌	—
Ap	黄赤斑型アクリソル	酸性土壌	—
Bd	貧塩基型カンビソル	酸性土壌	—
Be	富塩基型カンビソル	弱酸性～中性土壌	—
Bf	鉄アルミ型カンビソル	強酸性土壌、ケイ酸による酸性	—
Bg	還元型カンビソル	弱酸性～中性土壌	—
Bh	腐植型カンビソル	弱酸性土壌	—
Bv	反転型カンビソル	弱酸性～中性土壌	—
E	レンジナ	中性～弱アルカリ性土壌	●アルカリ性土壌
Fa	酸性型フェラルソル	強酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Fh	腐植型フェラルソル	強酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Fo	典型型フェラルソル	強酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Fr	赤色型フェラルソル	酸性～強酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Fx	黄色型フェラルソル	強酸性～超強酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Gd	貧塩基型グレイソル	強酸性～弱酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Ge	富塩基型グレイソル	弱酸性～中性土壌	—
Gh	腐植型グレイソル	酸性土壌	—
I	リトソル	岩石土壌で酸・アルカリと無関係	—
Jd	貧塩基型フルビソル	酸性土壌	—
Je	富塩基性フルビソル	中性～弱酸性土壌	—
Jl	<b>硫黄型フルビソル</b>	硫黄化合物、海水、潜在強酸性	◎酸性土壌
Lc	クロム(彩色)型ルビソル	弱酸性～中性土壌	●アルカリ土性壌*
Lf	鉄型ルビソル	弱酸性土壌	—
Lg	<b>還元型ルビソル</b>	弱酸性～弱アルカリ性土壌	●アルカリ性土壌
Lk	<b>石灰型ルビソル</b>	弱アルカリ性土壌	●アルカリ性土壌
Lo	典型型ルビソル	弱酸性～中性土壌	●アルカリ性土壌*
Lv	反転型ルビソル	弱酸性～中性土壌	●アルカリ性土壌*
Nd	貧塩基型ニトソル	弱酸性～強酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Ne	富塩基性ニトソル	弱酸性～中性土壌	—
Nh	腐植型ニトソル	強酸性～弱酸性土壌、ケイ酸酸性	—

Od	貧塩基型ヒストソル	硫黄化合物、有機酸酸性、潜在強酸性	◎酸性土壌
Oe	富塩基型ヒストソル	硫黄化合物、海水、潜在強酸性	◎酸性土壌
Pg	還元型ポドソル	強酸性土壌、酸性硫酸塩土壌の可能性	◎酸性土壌*
Ph	腐植型ポドソル	強酸性土壌、酸性硫酸塩土壌の可能性	◎酸性土壌*
Po	典型型ポドソル	強酸性土壌、酸性硫酸塩土壌の可能性	◎酸性土壌*
Qa	白色型アレノソル	強酸性土壌、酸性硫酸塩土壌の可能性	◎酸性土壌*
Qc	不定型アレノソル	強酸性土壌、酸性硫酸塩土壌の可能性	◎酸性土壌*
Qf	鉄型アレノソル	強酸性土壌、酸性硫酸塩土壌の可能性	◎酸性土壌*
Rc	石灰型レゴソル	中性～弱アルカリ性土壌	●アルカリ性土壌
Rd	貧塩基型レゴソル	強酸性～弱酸性土壌、ケイ酸酸性	—
Re	富塩基型レゴソル	弱酸性土壌	—
Th	腐植型アンドソル	酸性～中性土壌、火山灰土壌	—
Tm	膨軟型アンドソル	酸性～中性土壌、火山灰土壌	—
To	黄色型アンドソル	酸性～中性土壌、火山灰土壌	—
Tv	ガラス型アンドソル	酸性～中性土壌、火山灰土壌	—
Vc	彩色型ヴァーティソル	弱酸性～弱アルカリ性土壌	●アルカリ性土壌
Vp	淡色型ヴァーティソル	弱酸性～弱アルカリ性土壌	●アルカリ性土壌

\*：「対象地の可能性」はモデル林対象地候補を選ぶ際の調査予定地の選定に活用

- ◎酸性土壌： は酸性硫酸塩土壌と関係深い土壌群
- ◎酸性土壌\*： は酸性硫酸塩土壌との関係が深い可能性がある土壌群
- アルカリ性土壌： はアルカリ性土壌の割合が多い土壌群
- アルカリ性土壌\*： は一部にアルカリ性土壌が見られる土壌群

(資料 3-2)

東南アジアのアルカリ性土壌を包含する全土壌地域

－FAO Soil of the World より－

主土壌	随伴土壌	対象地	対象面積 (千 ha)
E18-3c	Lc, I, Re	Irian Jaya, Lesser Sunda Is., Sulawesi	830
E21-3ab	Re, I	Moluccas, Lesser Sunda Is.	1,332
Lg39-3ab	Lo, Ge	Lao, Thailand, Kampuchea	1,343
Vp61-3a	Bv, Je	Java, Sulawesi, Lesser Sunda Is.	805
Vp62-3b	Lc	Java, Lesser Sunda Is.	525
Vp63-3ab	Lv	Java, Sulawesi, Lesser Sunda Is.	561
Vp64-3a	Vc, I	Thailand, Lao, Vietnam, Kampuchea	1,986
Vp65-3a	Ge	Philippines	991
I-E-3bc		Java, Sulawesi, Lesser Sunda, Moluccas	1,010
I-Lc-3b		Java, Lesser Sunda Is.	1,812
I-Lk-3bc		Lesser Sunda Is.	1,572
Lc78-3c	Bh, Lk	Lesser Sunda Is., Irian Jaya, Surawesi	4,662
Lo68-2/3b	Be, Lg	Philippines	3,433
Ag16-2a	Ao, Lg	Thailand, Lao, Vietnam, Kampuchea	8,724
Bg8-2/3a	Bd, Be, Lg	Philippines	3,360

注：主土壌の **E** はレンジナ、**Lg** は還元型ルビソル、**Lk** は石灰型ルビソル、**Vp** は淡色型ヴァーティソルでアルカリ性土壌の存在が強く示唆される土壌

最後の4つの土壌アソシエーションは主土壌が必ずしもアルカリ性ではないので、本事業の「アルカリ性土壌地域」とする要件から外れるが、FAO 世界土壌図の解説に基づくと随伴土壌にアルカリ性土壌が含まれる場合は検討すべき土壌と判定した。その中でも、最下部と下から3番目と4番目のBg8-2/3a、Lc78-3cとLo68-2/3bは土壌解説の記載によれば主土壌はアルカリ性に近い土壌でどちらも検討の価値が高いアソシエーションと考えられる。一方下から2番目の土壌は、土壌解説によれば主土壌が酸性土壌であるのでこの土壌アソシエーション地域でのアルカリ性土壌分布は限られている可能性が高いと予想した。

### 3) 対象地域の自然環境と試験地の選定

国際緑化推進センター 大角泰夫・仲摩栄一郎

#### 1. 酸性及び潜在酸性土壌地域－南カリマンタン州

##### 1.1 対象地の概要

鉱山開発という過剰な人為開発が行われ、荒廃地化した地域で特に森林回復が困難な酸性土壌地域及び潜在的酸性土壌地域における森林回復技術を開発するためのモデル林造成対象地域としてインドネシア南カリマンタン州の炭坑地域が選定された。

炭坑地域は南カリマンタン州を南北に分けている山脈の西側、すなわち Barito 川側に南北につながっているなだらかな丘陵地帯に分布している。本プロジェクトの具体的対象地としては、この分布域の中央部分～南部部分に存在する、別項で示されたように南カリマンタン州の Banjar 県と Hulu Sungai Selatan 県に位置する PT. Tanjung Alam Jaya 鉱山と PT. Antang Gunung Meratus 鉱山が選ばれた。

カウンターパートとしては、別項で示したよう以前からエプソンの森造成や W-Bridge プロジェクトを通して関係が深い Barito 川流域管理署が選ばれた。同時に Banjarbaru に設置されている国立大学、Lambung Mangkurat 大学と南カリマンタン州森林局の協力を仰ぐ仕組みで開始することとなった。

対象地はいずれも国有林であるが、鉱山開発という特殊性があり、鉱業省の指導の下に採掘が許可されている。したがって、対象地は会社の管轄下であり、林業省は森林回復に助言を与えるという仕組みで森林回復は進められる。法律によって採炭終了後速やかに森林回復を進めなければならないのでほとんどの鉱山会社は採炭終了後に植栽を行っている。しかし、一部の零細会社や昔に採炭した会社の中には採炭跡地をそのまま放置しており、荒廃地となっている。また、植栽された多くの場所は、植栽が容易な樹種である *Acacia mangium* や *Enterolobium cyclocarpum* のような外来早生樹が中心の植栽地となっている。これら樹種の過去の植栽地の観察からこれらの樹種は 10 年～20 年経過すると枯損が著しくなるという欠点を持っている。このような早生樹植栽地は大規模開発のため、天然更新が期待できないことから早晩再植が必要となってくる。

本項では対象地の自然環境、特に土壌に焦点を定めてとりまとめ、本事業のもう一つの目的である地域の社会経済環境については別項で扱う。また、森林回復という観点から、この地域の潜在的な植生についても検討が必要であるが、生物多様性状況については今後順次検討が進められる予定となっているので、本項では触れない。

##### 1.2 対象地の気候

南カリマンタン州には Banjarbaru に、Climatology Station と呼ばれるインドネシア政府気象庁の気象観測点が存在する。2009 年 Banjarbaru 気象観測点における月別降水量は

表 3-1 の通りである。

観測データによれば、年間降水量は、2 千 mm 以上であり、植物の生育には雨量という側面からは好適と判断される。ただし、月間 100mm 以下の乾燥月が 6～9 月の 4 ヶ月間存在するので、多雨地帯に適応している樹木にとってはその間、乾燥が制限要因となる可能性はある。したがって、植栽時期は 6～9 月を避けることが必要であると考えられる。

表には示さなかったが、気温は 26° C～28° C の範囲に収まっており、通常の熱帯気候に属する。対象地は低山地帯に属するので標高による気温低下も想定する必要はない。

表 3-1. 南カリマンタン州、Banjarbaru の月別降水量(mm) 2009 年

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年降水量
384	148	212	279	237	22	73	25	21	189	292	287	2,169

Source : Climatology Station of Banjarbaru

### 1.3 地形及び地質

カリマンタン地域はボルネオ-フィリピン弧の外帯に位置し、昔のスダ大陸の一角である。地殻的には安定しており、明らかな活火山は存在しない。南カリマンタン州は中央に蛇紋岩などの変成岩の山脈(Pegunungan Meratus)が南北に延びており、西側にはカリマンタンの三大河川の一つ、Barito 川が流れている。Barito 川周辺は低湿地帯で、水田が開発されている他は *Melaleuca cajuputi* の生立する泥炭地となっている(写真-1)。炭鉱地帯はこの低湿地帯と中央山脈の間にあるなだらかな丘陵地帯で(写真-2)、そこに 2 本の炭田ベルトが南北に走っている(図 3-4)。

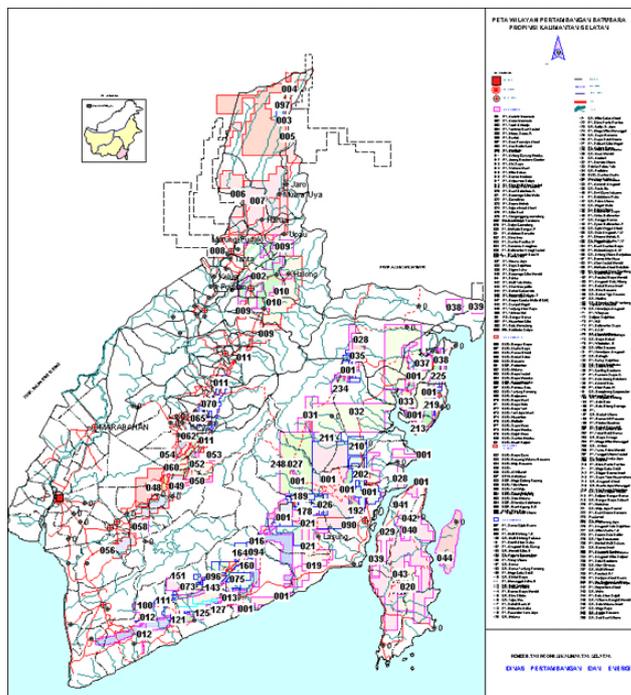


図 3-4. 南カリマンタン州の石炭鉄区図



写真-1 Barito川低湿地のMelaleuca cajuputi林

カリマンタン三大河川の一つBarito川は南カリマンタン州に広大な低湿地を形成し、米の生産に寄与すると共に、丘陵地帯で生産される石炭の輸送路として多大な貢献をしている。他にも足場丸太として活用されているMelaleuca材の生産の中心でもある。

泥炭質土壌の下層にはPyriteの含まれる層があり、泥炭から発生する水溶性有機物と共に酸性の強い、いわゆるBlack waterが作られる。



写真-2 中央山脈西側の丘陵地

写真はPT. Tanjung Alam Jaya炭坑近傍の石炭を生産する丘陵地で、石炭生産以前は写真のようなどかな農村であった。

棚田が中心であるが果樹やゴムノ栽培が広く行われている。採炭の終了後はこのような農村が再度形成されることと考えられる。

炭田ベルトはそれぞれ 1 本の炭層で構成されているわけではなく、多くの厚い層や薄い層で構成されている(写真-3)。これらの炭層は写真-4にあるようにすべからく水平に堆積しているわけではなく、写真-3のように斜めに入り込み、深さ 300m 以上に達する場合もある。

炭層間や炭層上部は岩石化がまだ進んでいない堆積物、非固結堆積物で、ほとんどが海成と考えられる。これらの堆積物は採炭する際に排除され、採炭後に埋め戻されることになっている。海成と予想されることからこれらの堆積物には Pyrite が含まれることが多く、潜在的な酸性化土壌と考えられる。



写真-3 Adaro鉱山の一部炭層の層序

南カリマンタン州北部に位置するAdaro炭坑における一部の炭層の分布状況は左図のようである。炭層と炭層との間は下の写真4のように非固結堆積物で充填されている。この非固結堆積物の多くは海成で硫黄化合物のPyrite(黄鉄鉱)が含まれることが多い。

写真-4 炭層間及び炭層より上部に累積している化石土壌の一例

これらの化石土壌の多くは海成で、硫黄化合物が含まれることが多い。

これらの素材が採炭後に地表に出現し、Pyriteが含まれる場合は酸性硫酸塩土壌に変化し、時に土壌pHが2前後あるいはそれ以下に低下し、更新する植物に被害を与えられられる。

この化石土壌は岩石のように固まっているが、地表に露出された場合は粒子がばらばらになる非固結堆積物である。

#### 1.4 土壌環境

この地帯は熱帯雨林地帯に属しており、FAOのSoil of the World(FAO-UNESCO, 1975)によれば、Af 57-2a 土壌アソシエーションと Ah 27-2/3c 土壌アソシエーションに属している。

Barito川に近い方にはAf 57-2a 土壌アソシエーションが分布していて、このアソシエーションは鉄型のアクリソルを中心としてグライ型アクリソルが随伴する土壌アソシエーションである。いずれの土壌もケイ酸による強い酸性土壌で、熱帯雨林に普通の土壌である。

中央山脈に近いAh 27-2/3c 土壌アソシエーションは、腐植型アクリソルを中心土壌としているアソシエーションで、赤色が強いアクリソルとされている。すなわち、蛇紋岩のような鉄が多い岩石を母材とすると考えられる。

石炭層がある地帯は、蛇紋岩の分布地域と東側を接しているので今回の両対象地の潜在的な土壌の中心は鉄型アクリソルとグライ型アクリソルであると考えられる。対象地では埋め戻し地の地表に表層土をかぶせることが計画されているが、その素材はアクリソルと予想される(資料 3-3 参照)。

対象地は採炭後は 3)で示した非固結堆積岩で埋め戻されることとなっており、海成の堆積物の酸化による酸性化が予想される。そのためこの母材のおおよその性質を把握するために 2カ所の対象地で土壌反応を検証した。

### ① PT. Antang Gunung Meratus 予定地の土壤母材の特徴

PT. Antang Gunung Meratus は Hulu Sungai Selatan 県の首都、Kandangan の南に位置する。

対象地は 2012 年 1 月現在、採炭時に掘上げた非固結堆積物を埋め戻す作業を実施中である(写真-5、6)。ここでは埋め戻し地と表土被覆地が設定される。

写真-5 と 6 は埋め戻しの現状と表土被覆に使われる元々の土壤の存在状況を示したもので、前述のようにこの元々の土壤は Acrisol で表層は pH4 以下、下層は pH4~6 程度であることが普通である。



写真-5 PT Antang Gunung Meratus採炭地の埋め戻し

掘り出した黒灰色の非固結堆積物を採炭後の穴に埋め戻している。背景には元々の土壤表層とその下の非固結堆積物層が見られる。この表層と同じ素材が表層土被覆区に使われる。



写真-6 採炭前の地表と埋め戻し地(プロジェクト対象地)

奥に見られる山地は採炭前の地形を保っている。この地の表層土はferric Acrisol(鉄型アクリソル)で降雨林に典型的な土壤である。この土壤が表層土被覆に使われる。

これらの埋め戻し素材と表層土素材の特徴を知るために簡単な土壤検定を行った。その結果が写真-7に示してある。

土壤表層土被覆の素材と考えられる黄色の土壤はいずれも通常の Acrisol の下層(B~C層)の土色と類似の土色を呈している。また pH も 5~5.5 と通常の Acrisol の C 層と同じ程度の pH であった。

一方で埋め戻しに使われている黒灰色の材料は、1 点を除いてすべてアルカリ性で、海成素材であることが強く推察された。なお、30cm 以下の部分についても採取を試みたが、あまりにも硬堅で土壤調査コテでは採取不可能であった。モデル林でリッピングを行う意味があることが明らかである。

これらの黒灰色土壤が将来酸性化するかについては今後 pH モニタリングに加えて H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

テスト等のテストを実施する中で明らかにされる。

## 写真-7 PT. Antang Gunung Meratus対象地の土壤pH予備テスト

黄色の材料	色とpH	黒灰色の材料	色とpH
	7.5YR6/6 <b>pH5.1</b> 埋め戻し地		10YR5/1 <b>pH8.0</b>
	7.5YR6/6 10YR4/2 <b>pH5.5</b> 埋め戻し地		0~10cm 2.5Y4/2 <b>pH7.2</b> 10~20cm 2.5Y4/2 <b>pH7.3</b> 20~30cm 2.5Y4/2 <b>pH7.4</b>
	7.5YR6/6 <b>pH5.0</b> 旧土壤の C層		0~10cm 10YR4/2 <b>pH6.1</b> 10~20cm 7.5YR3/2 <b>pH7.8</b>

### ② PT. Tanjung Alam Jaya 予定地の土壤母材の特徴

PT. Tanjung Alam Jaya 予定地は対象地がいろいろと変更になったため、確定が遅れていた場所である。この場所は数年前に採炭され、石炭層の上の非固結堆積物が放置されていた。今年度この放置されていた堆積物を埋め戻し、写真-8のような平坦地が形成され、モデル林の対象地として提供されたものである。また、素材が硬堅で緻密なため、雨期の停滞水による植物根の根腐れを防ぐ意味で排水を促すリップングを行うこととしている。

この場所は表面が黄色の部分、黒色の部分及び黒灰色の部分に分けられる。黒灰色の部分が最も広く、黒色の部分は限られた範囲にのみ分布する。

特に黄色の部分では硫黄臭があり、酸性化が始まっているように推察された。

今回の予備調査では、上記の観察のように黄色部分では pH3.2 と酸性硫酸塩土壌と分類される土壌が観察された。この黄色の部分の下層には灰色部分があり、この灰色部分が海成の場合は今後さらに酸性化が進むものと推察される。黒色部分は固結の程度が進んだ非固結堆積物で、かなり古い海成堆積物と推察される。ただ普通の pyrite を含む堆積物に多い 2.5~5YR4/2~5/2 という色の範囲から大きく乖離しているので、今後酸性化が進むかは観察が必要である。最も広く分布する黒灰色の土壌素材はアルカリ性であった。

なお、この対象地では表土被覆は行わず、植え孔を表土で埋めることとしているので表土の pH も調査している。この対象地の南部の *Acacia mangium* 植栽地で測定したが、表

層 0~10cm 及び 10~30cm の pH は 5~7 であった。

この場所も今後 pH モニタリングと H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> による酸性化の潜在度の検証を進めることとしているので、それらの結果をモデル林造成に反映させることとしている。

## 写真-8 PT. Tanjung Alam Jaya 対象地の土壌 pH 予備テスト



全体では黒灰色部分が圧倒的に多い。植栽時の Top soil と想定される土壌の色と pH は 10YR6/3 pH5.2

### 黒色部分



### 色とpH

0~10cm  
7.5YR2/1.5  
**pH7.2**  
10~20cm  
10YR2/1  
**pH7.6**  
20cm+ 10YR2/2  
**pH7.7**

### 黄色部分



### 色とpH

0~10cm  
10YR3/4  
**pH3.2**  
10~20cm  
7.5YR6/4  
**pH3.5**

### 黒灰色部分



### 色とpH

0~10cm  
10YR5/2  
**pH7.2**  
10~20cm  
2.5Y5/2  
**pH7.2**  
20cm+2.5Y5/1  
**pH6.8**

## 2. アルカリ性土壌地域—西チモール

### 2.1 対象地の概要

過剰な人為開発が行われて荒廃地化した地域において、森林回復を進める際に特に回復が難しいアルカリ性土壌地域での回復技術を開発するためのモデル林を造成する対象地域としてインドネシア国東及び西ヌサテンガラ州の島嶼地域が候補に挙げられた。これらの地域はすでに報告したように FAO・Soil of the World (FAO-UNESCO, 1975) によればほとんどが中性～アルカリ性土壌によって覆われており、本事業の対象地選定基準に合致することから対象地域として選定された。

これらの地域の中から過剰な農牧開発の結果として形成された荒廃地の分布や社会的、技術的な側面からの基礎的情報の把握しやすさ及びアクセスからチモール島の首都 Kupang の近傍から対象地 Nekbaun 村と Oelnasi 村内の国有林が選定された。なお、Benain Noelmia 流域管理署がカウンターパート、林業省研究開発庁の研究所支所および Kupang の国立大学、University of Nusa Cendana を協力機関とする方向で進められることは別項で述べたので詳細は省略する。

本項では対象地の自然環境、特に本事業の目的から土壌に焦点を定めて紹介し、本事業のもう一つの目的である、地域社会との関わりについては別項で扱うこととなっているの

で、地域の社会経済環境についてはその項を参照されたい。また、この地域は希少な植物が多いと推定されており、生物多様性保全の側面からも検討が必要であるので別途植物については検討が行われる予定である。

## 2.2 対象地の気候

東ヌサテンガラ州には理科年表に示されている気象観測点は存在しないが、東チモール国の Dili の観測データが理科年表(1993)に示されているので参考として引用した(表-2)。

このデータによれば、12月から3月までが月降水量が100mm以上の植物育成に好適な降水量がある雨期とされる。厳しい乾季は7月から10月までの4ヶ月で、それ以外の月は量的には少ないが50mm以上の降水がある。したがってモデル林造成にあたっては12月に開始し、4月及び5月に若干の灌水が行われれば植栽木の活着は比較的容易となる可能性が高い。Ecology of Nusatenggara & Maluku(Monk et al, p.76, 1997)での農業気候区分によれば、季節的に乾燥が見られる Ustic Climate に属している。

表としては示さなかったが、気温は Kupang が若干赤道から離れている(南緯 9~10°)ので7~9月に比較的低温となる(24°C程度)他は、通常の熱帯気候である。熱帯雨林の構成樹種の16°Cという低温障害発生温度は観測されていない。

表 3-2. チモール島 Dili の月別降水量(mm)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年降水量
<b>131</b>	<b>133</b>	<b>136</b>	81	80	57	28	13	12	24	75	<b>146</b>	916mm

## 2.3 地形及び地質

チモール島にはロンボック、スンバワ、フローレスなどのスンダ諸島の中の大きな島に多い火山が存在しない。これはチモール島がオーストラリア大陸の一部が離れて隆起した結果、形成されたものとされているからである。したがって地質的には珊瑚礁起源の石灰岩や他の海成起源の堆積岩で構成されている(Monk et al, p.42, 1997)。海成起源のため、成分的にはアルカリ性に結びつきやすい Ca や Mg が多い岩石であると推定される。

地形的にはチモール島には火山ではないが比較的高い山が西と東チモールに存在する。Kupang が位置する西チモールには G. Mutis 山(2,427m)が分布し、頂上付近は国立公園となっていて、*Eucalyptus urophylla* などの自然生立地となっている。

本事業の対象地は山地帯に設定されたが、この山地帯は写真-9にあるように頂上部が比較的穏やかな地形となっており、農業や放牧に適していたため、過去に過剰な農牧活動が行われたものと考えられる。



写真－9 チモール島の山地帯の景観

比較的傾斜が穏やかな丘陵性地形となっている。対象地のNekbaunもOelnasiもこのような丘陵の中に位置しており、Oelnasilは丘陵を流下する河川に設定された灌漑用ダムの上に位置している。

## 2.4 土壌環境

地質的に石灰岩や塩基性の高い堆積岩が起源であり、比較的乾燥しているので中性に近い土壌がよく発達する。また地形的に頂上部は緩傾斜面となっていることから、比較的安定した土壌が観察される。

FAOのSoil of the World(pp.35~43)によれば対象地はLc78-3C土壌アソシエーションとVp61-3a土壌アソシエーションである。Lc78-3C土壌アソシエーションは彩色型ルビソルを中心土壌とし、石灰型ルビソル等を随伴する。Vp61-3a土壌アソシエーションは淡色型ヴァーティソルを中心土壌とし、反転型カンピソル等を随伴する。いずれも弱酸性～アルカリ性の土壌で、本事業の目的であるアルカリ性土壌地域に属すると予想される。

この点を確証するために両対象地において土壌タイプを同定し、土壌反応を検証した。

### ① Nekbaun 村対象地の土壌

Nekbaun 村の対象地の土壌は予定している地域の最上部の緩傾斜地で調査し、解析した(写真－10, 11, 12 及び図 3-5)。



写真-10 : Nekbaun村2011年度対象地

対象となる草地はこの尾根状地に分布している。完全な草地ではなくて、モクマオウの散立する林と草地のコンビネーションとなっている。  
手前のブッシュ状の灌木はギンネムで、土壌保全のために当初導入されたが、現在は牧草としても活用している。



写真-11 : 対象地の地形と植生

このような緩傾斜地が比較的広く分布しているので、植栽は比較的容易と考えられる。背景の樹木はモクマオウで、土壌がよいせいか、優れた成長をしている。もともとの植生である *Schleichera oleosa* も沢に分布する叢林には確認される。

この対象地の岩石は石灰岩と推察された。乾季における観察では土壌はきわめて硬手で、通常の鋤では掘ることは不可能であり、粘土質土壌であることを観察した。さらに地表面には多数の大きな亀裂があり(写真-13)、膨潤と収縮を繰り返す粘土鉱物、smectite を保持する土壌で、Vertisol あるいは vertic な土壌であると推察された。亀裂の幅は広いもので5~10cm 程度、深さは、掘れなかったため確認されていないが、40cm 程度までは針金を通すことができた。

写真-12 と図 3-5 には雨期での調査データを示したが、明らかに土壌反応はアルカリ性で、本事業の対象地としては適格である。この土壌には下層にグライ化した層が形成されており、この層は乾季に地表から形成された割れ目による雨水導入の結果形成されたものと推察されるので、したがって割れ目の深さは50cm 以上と考えられる。全層にわたって粘土質であるのでこの土壌は明らかに Vertisol と同定される。さらに図 3-5 の調査結果に従うと、下層の彩度は高く、したがって chromic な Vertisol と同定される(資料 3-4 参照)。

写真-12 NTT州 Nekbaun村対象地の環境概要と上部境界付近の土壌断面



**対象地の概要:** 東ヌサテンガラ州 (NTT)Nekbaun村に設定された対象地は標高330m(1,000ft)を最上部にしている。全体が15°程度の緩傾斜面から成っており、写真は最上部に設定された土壌断面である。地質的にはこの地は石灰岩風化物で覆われている。

**土壌のタイプ:** 乾季には大きな割れ目が土壌表面に形成され、割れ目の深さと幅からこの土壌はFAO分類によるVertisolと同定され、Smectiteという膨潤型粘土鉱物が主体の優れた土壌と判定される。土壌彩度が高いのでVertisolの中のchromicタイプとされる。

**植生:** 原生の植生は特に観察されなかったが、Casuarina junghuhnianaとLeucaena leucocephalaが高木として散見される。過去の天然林伐採とその後の農牧の過剰利用から草地在中心の景観となっている(写真一参照)。

図 3-5. NTT州 Nekbaun村対象地上部境界の土壌断面とpH

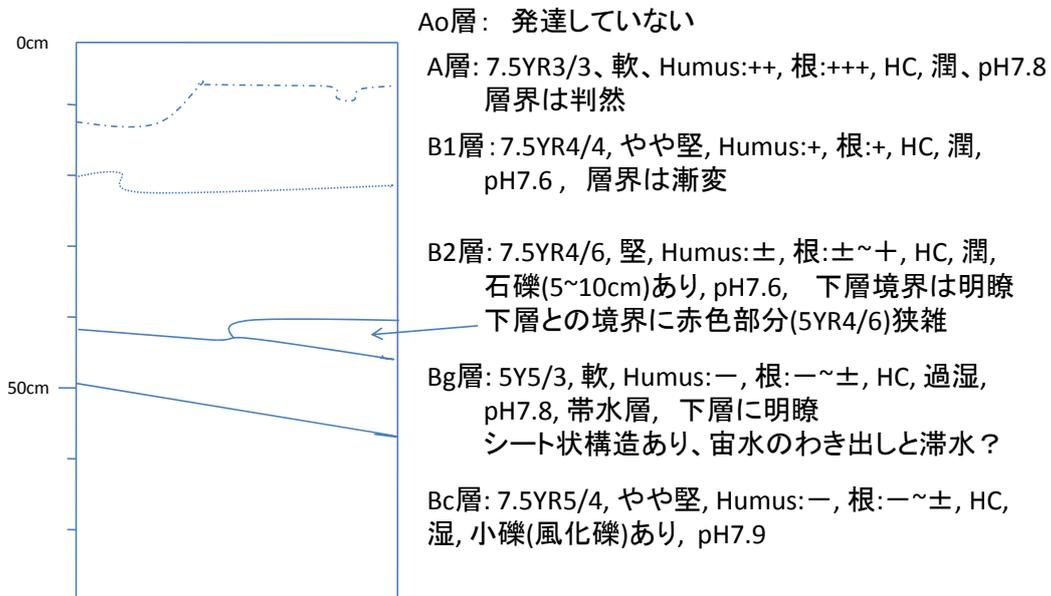




写真-13 Nekbaun村の対象地で観察された乾季の割れ目

乾燥時に広い範囲で割れ目が観察される場合はVertisolである可能性が高い。Vertisolが保持するSmectite(Montmorillonite等)の乾季の収縮によって形成される。巻末の資料-1を参照

## ② Oelnasi 村対象地の土壌

対象地土壌は予定地域の最上部の緩傾斜地で調査した(写真-14、15、16及び図3-6)。



写真-14: Oelnasiダムの対象地

Kupang水道の水源である。対象地は手前側であるが、対岸に見えるようにLontarヤシの間のアカシアの灌木林と草地のモザイクである。他に自然植生としてPterocarpus indicus やSchleichera oleosaなどの有用材も若干成育している。

写真-15: アカシアの天然更新

この地に多く天然更新しているミャンマーのAcacia leucophola類似のアカシアは、黄色の木肌を持っており、5~10m程度と比較的大きく育つ。しかし、鋭い多数のとげを持っている上、用材としても使えないとされるので地域住民は樹種変更を望んでいる。

## 写真-16 NTT Oelnasi村対象地の環境の概要と土壌の状況

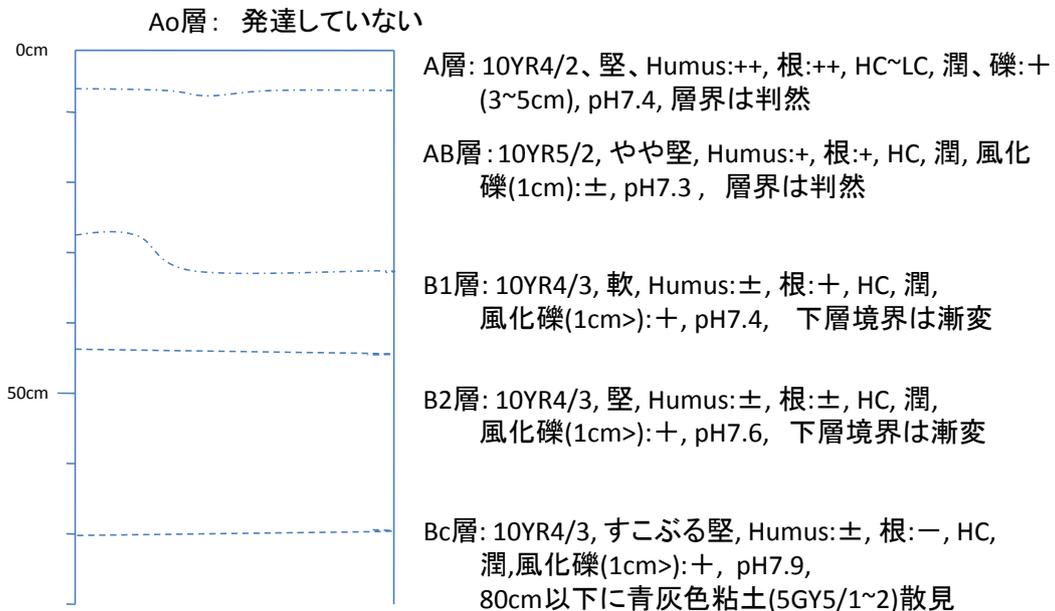


**対象地の概要:** 東ヌサテンガラ州(NTT) Oelnasi村に設定された対象地はKupang市の水源ダム周辺で標高140m(455ft)を最上部にしている。全体が10°~15°程度の緩傾斜面から成っており、写真はその最上部に設定された土壌断面である。地質的にはこの地は石灰岩風化物で覆われている。

**土壌のタイプ:** 乾季には大きな割れ目が土壌表面に形成され、割れ目の深さと幅からこの土壌はFAO分類によるVertisolと同定され、Smectiteという膨潤型粘土鉱物が主体の優れた土壌と判定される。土壌彩度が低いのでVertisolの中のpellicタイプとされる。

**植生:** 原生の植生は特に観察されなかったが、前出のアカシアに加えて*Pterocarpus indicus*が観察された。他にLontarヤシや*Zyziphus mauritiana*等が高木として散見される。過去の天然林伐採とその後の農牧の過剰利用から草地と低利用樹木の叢林が中心の景観となっている(写真- 参照)。

図 3-6. NTT州 Oelnasi村対象地南東端の土壌断面とpH



この Oelnasi 地区は石灰岩を主体としているが、一部に堆積岩が入っているものと推察

した。というのは土壌下層から堆積岩の風化物と推察される細粒の風化礫が確認されたからである。

この土壌は表層から下層まで pH が 7 以上で、本事業の対象地の要件であるアルカリ性土壌という条件を満たしている。乾季の観察によれば、この土壌も Nekbaun 土壌と同様に割れ目が観察された。Nekbaun 村より比較的幅が狭いが、割れの頻度は前者土壌同様に非常に多い。表層には若干のシルトを感じるが、他の層はいずれも重粘質で、乾季にはコンクリートのような堅さで、掘削は不可能であった。70cm 以下には滞水によると考えられるが、還元斑が見いだされ、おそらく乾季の割れ目に基づくものと想定される。

これらの観察から、この土壌も Vertisol と考えられ、表層 30cm までの彩度から chromic Vertisol と同定される。ただ、表層 30cm の彩度が 2 と低いので、若干 pellic Vertisol に近い土壌と判定される。なお、FAO の世界土壌図では pellic Vertisol と記載されているので、今後さらに調査し、地域の主要土壌の同定を進める必要がある。

植栽時における Vertisol の扱い：Vertisol は世界の穀倉地帯の主要な土壌である。すなわち作物生産という観点からきわめて潜在的能力の高い土壌である。なぜかという、この土壌の粘土鉱物 smectite が持つ酸素六角形空間のサイズが NH<sub>4</sub> イオンと K イオンのサイズと同じであることと関係がある。粘土鉱物の層の内部には鉄やアルミニウムが結晶格子内に組み込まれていて、そのため穴にはマイナスの力が働いているので、これらの陽イオンを穴にしっかりと保持する。これはとりもなおさず窒素肥料成分とカリ肥料成分が保持されやすいことと結びつき、作物生産にきわめて高い能力を発揮するということである。

この対象地の土壌も粘土含量が高く、しかも乾季の収縮も大きいので smectite の量も多いと判断される。したがって、NH<sub>4</sub> と K イオンを保持できる潜在能力は極めて高いと判断されるので、今後この対象地での植栽の場合は施肥によって NH<sub>4</sub> と K を補給することが植栽木の成長には栄養的にきわめて効果的であると判断される。

一方、この粘土鉱物は膨潤型粘土鉱物と称され、層の間に水を吸収する能力が高く、水を吸うと厚さ 14Å から 18Å に広がる。これが乾季に割れ目ができる原因で、この力はきわめて強く、せつかく成長した根が切断されることがあることに注意する必要がある。ただ、根は成長がよければいろいろなサイズでいろいろな方向に伸張するので、一部は切断されても多くは残るといふ説もある。植え孔に有機物などを混ぜれば割れの発生を抑制できるので、この様な問題は軽減できると考えられる。

## 2.5 参考土壌の解析

チモール島原産の樹木にきわめて重要な地域産樹種がある。現在、天然には 1000m を越える標高の高い場所にしか残っておらず、あまり造林もされていない種類である。*Eucalyptus urophylla* がその種である。

対象地周辺では過去にいろいろな種類が植栽されているが、ほとんどがジャワ島などで植栽されている外来種である。たとえばチーク (*Tectona grandis*)、マホガニー (*Swietenia mahoganii*)、メリナ (*Gmelina arborea*)、アカシア (*Acacia mangium*)、モクマオウ

(*Casuarina junghuhniana*)、クミリ(*Aleurites moluccana*)等々である。セイロンオーク(*Schleichera oleosa*)やこのユーカリのような在来種は植栽の対象になっていない。本事業においてはこのような在来種も植栽する予定であり、*Eucalyptus urophylla* も対象とされている。JIFPRO はこの樹種の優れた植栽地をバリ島で造成しているので、対照としてこの地の土壌について検討した。

このユーカリが植栽され、良好な成長を続けている場所は Bali 州の De Longi 植栽地である。この場所は標高 1,130m の Agung 火山の中腹の裾野と考えられる緩傾斜地に位置しており、降水量は 1,300~1,500mm 程度と考えられ、乾季が 6 月~10 月にある。森林伐採とその後の過剰な農牧利用のため草地化したのが現在は *E. urophylla* や *Schima wallichii* の造林が進められており、森林化が進められている(写真-17, 18)。



写真-17: De Longiの森 上部団地遠景

小屋の上部の林は「De Longiの森」以前の植栽で、Timor島など、Sunda諸島原産の*Eucalyptus urophylla*。対象地は標高が1,130mと高く、年間の降水量及び山地のため湿度の高い時間が長いことが原因とも考えられるが、成長はきわめて良好である。Kupangでの成長は予想できないが、原産地という点も考慮して導入が期待される。



写真-18: 4年生のユーカリ

De Longiの森計画で植栽された4年生のユーカリで、成長のよい個体はすでに8mを超えている。活着も90%以上あり、成木は50mを超えるとされているのでインドネシア東部島嶼では好適な樹種と予想される。

この場所のユーカリの成長は写真-18 にあるようにきわめて速やかであり、大きい個体では 4 年生で 8m を越えている。この速やかな成長は比較的冷涼で霧がまきやすい環境に加えて、土壌条件があるものと推定し、土壌条件を解析した(写真-19、図 3-7)。

ここの土壌はほとんど火山砂礫で構成された礫質土壌であるが、金属養分的には塩基性のスコリアで構成されていることから豊かである。ただ土壌は礫質で浅いため、窒素養分は少なく、施肥が効果的であるとされている。また、礫が互いに強くつながっており、非常にコンパクトであるので下層への透水性は小さい様子である。土壌 pH は高く、乾燥が激しいものと推察される。

写真-19 Bali島山岳地帯、De Longiの森の河岸段丘の土壤断面

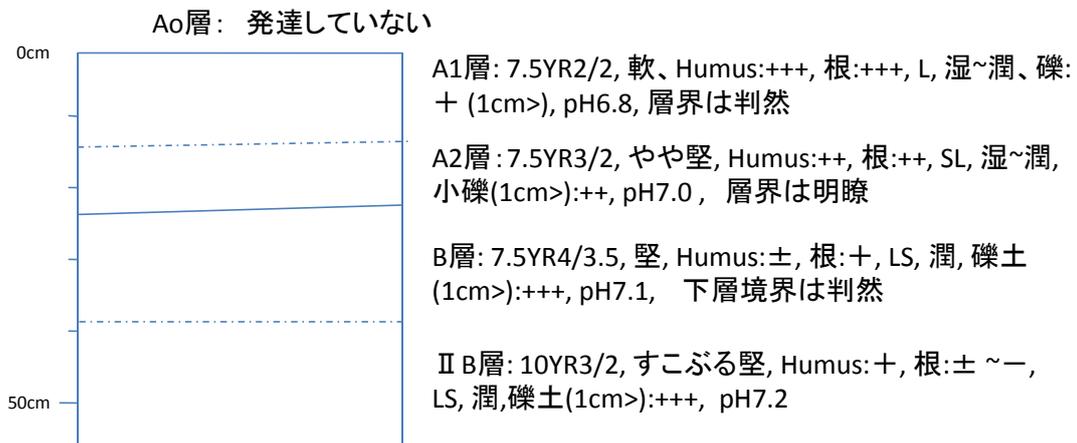


**対象地の概要:** Bali州 De Longiの森はバリ島の最高峰Agung山の影響を受けた火山山地の標高1,100m前後の地に設定されている。降水量は比較的多く、霧のまく日数も多いと推定される。対象地は溶岩台地の上に火山灰や火山砂礫が堆積した場所で、無機栄養的には良好であると考えられる。

**土壌のタイプ:** 火山灰や火山砂礫が母材であるが、写真のように安山岩質の細粒の噴石や玄武岩質のスコリアでほとんどの土壌物質が構成されているのでAndosolというよりはRegosolに分類されるかもしれない。細礫質であるので水成的な性質は観察されなかった。

**植生:** 原生の植生はずでに破壊されていて、現在は以前植栽されたPinus merkusiiが一部のこり、その後に植栽されたE. urophyllaが部分的に残っている疎林となっている。現在De Longiの基金でE. urophyllaとSchima wallichiiが植栽され、一部はずでに8~10mに成長している(写真-1 参照)。

図 3-7. Bali州 De Longi造林地上部団地入口の土壤断面とpH



**対象地の概要:** 対象地はAgung山の裾野の約1,130m地点に位置する。したがって、Agung山の火山灰が広く覆っている。土壌調査を行った場所は雨期にのみ流水が観察される小沢の段丘面で、火山灰の層が数枚堆積している様子である。土壌の母材は安山岩質の火山砂礫よりも玄武岩質のスコリアに近い砂礫で構成されていて、塩基養分的にはいい土壌である。この小沢の上に位置する丘陵部分の土壌はA層が薄く、安山岩質の灰黄色の火山砂礫層がすぐに出現するので、乾燥と養分不足が起こるかもしれない。

これらの点を考慮すると、今回両対象地に *E. urophylla* を導入することについて、Kupang 近郊のこれらの対象地の方が Bali・Delongi 植栽地に比べて乾燥がやや激しく、若干高温であり、粘土質であるという問題点はあるものの、地域産樹種でもあり、対象樹種として植栽することは勧められる。

#### 参考文献

国立天文台編(1993): 理科年表、丸善

FAO-UNESCO(1975): Soil of the World – South East Asia

Monk K.A., Y. de Fretes & G. Reksodiharjo-Lilley (1997): The Ecology of Nusa Tenggara and Maluku, Periplus Edition, Hong Kong

### (資料 3-3) 対象地土壌の関連土壌の特徴－(1)

## アクリソル (Acrisol) FAO Code － A

#### [意味と関連土壌名]

ラテン語 *acris*(強酸性の)から、低い塩基飽和の意

- ・ Australia－赤黄色ポドソル性土壌(Red-Yellow Podzolic Soil)
- ・ Britain－赤黄色ポドソル性土壌(Red-Yellow Podzolic Soil)
- ・ USA－ウルティソル(ultisol)
- ・ Russia－黄色土(Yeltozems)の一部

#### [分類]

- ・ Orthic Acrisol－ギリシャ語 *orthos*(真の、正しい)から、普通のタイプという意味
- ・ Ferric Acrisol－ラテン語 *ferrum*(鉄)から、鉄質の土壌の意
- ・ Humic Acrisol－ラテン語 *humus*(土壌)から、有機物に富むの意
- ・ Plinthic Acrisol－ギリシャ語 *plinthos*(煉瓦)から、固化する斑紋の意
- ・ Gleyic Acrisol－ロシア語方言 *gley*(黒泥のような)から、水分過剰の意

#### [性質]

土壌表面から 125cm 以内に粘土が集積した層があり、その下部における塩基飽和度(NH<sub>4</sub>OAC による)は 50%未満であり、膨軟な A 層がなく、鉄盤層のような透水性が悪い層の上形成される還元層がなく、乾燥が激しい水分環境にない土壌。

[細区分土壌] － 関連土壌以外説明略

#### ① ○鉄型アクリソル(ferric Acrisol) FAO Code － Af

Antang Gunung Meratus と Tanjung Alam Jaya の両地点の中心的な土壌と予想される。前者の表土被覆区、後者の表土混和植栽孔に主に使われる土壌である。

明度と彩度が比較的高い土壌で、色相が 7.5YR より赤いか、彩度が 5 より大きい。B 層の有機物含有量は少なく、赤色固化物は存在しない。表層還元も存在しない。

なお、彩度と明度がやや低い普通の orthic Acrisol (Ao)が確認される可能性があるので、今後調査を進める必要がある。

#### ② ○還元型 アクリソル(gleyic Acrisol) FAO Code － Ag

両地点の平坦面に分布が予想される Acrisol。

土壌表面から 50cm 以内に漂白層のような水成的な特徴がある土壌で、それ以外は前記の土壌と同じ。

(資料 3-4) 対象地土壌の関連土壌の特徴－(2)

ヴァーティソル (Vertisol) FAO Code － V

[意味と関連土壌名]

ラテン語 verto(回転する)から、表層土が反転する土壌の意

- ・ Britain－グルムソル(Grumusol)
- ・ France－ヴェルティソル(vertisol)
- ・ Germany－ペロゾル(Perosol)
- ・ **Indonesia－グルムソル(grumusol)、マーガライト土壌(margalitic soil)**
- ・ USA－ヴァーティソル(vertisol)
- ・ Russia－黒色熱帯土壌、灰色熱帯土壌、レグール(Regur)、ヴァーティソル(vertisol)、

[分類]

- ・ ○Pellic Vertisol－ギリシャ語 pellos(ぼんやりした、色彩に乏しい)から、低彩度土壌
- ・ ○Chromic Vertisol－ギリシャ語 chromos(色彩)から、高彩度の土壌の意

[性質]

上部 20cm が混合された後、少なくとも 50cm の深さのすべての層位で 30%以上の粘土を含む土壌で;土壌表面から下方へ(土壌が灌漑されていない)たいていの年のある期間 50cm の深さまで少なくとも 1cm の幅がある亀裂が発達して;下記の一つあるいはそれ以上の性質を持つ。

ギルガイ微地形、交差する slickenside、表層から 25cm と 100cm の間のある深さに見られるクサビ形あるいは平行管形の構造凝集体(毎年同じようなところにできた割れ目に土が入り込むので、割れ目の形をした凝集体ができる)

[細区分土壌] － 関連土壌以外説明略

① ○ペリック ヴァーティソル(pellic Vertisol) FAO Code － Vp

Oelnasi 村の土壌の一部で観察される可能性がある。

上部 30cm 全体の土壌マトリックス中に優占する土色が湿潤時彩度で 1.5 より低いヴァーティソル

② ○クロミック ヴァーティソル(chromic Vertisol) FAO Code － Vc

Nekbaun 村の土壌が相当し、Oelnasi 村の土壌にも相当する可能性が高い。

上部 30cm 全体の土壌マトリックス中に優占する土色が湿潤時彩度で 1.5 以上のヴァーティソル

### 3) 実施体制と実施内容

国際緑化推進センター 仲摩 栄一郎

#### 1. 技術開発モデル林造成事業の実施体制

インドネシアにおける代表的な開発地である南カリマンタン州の石炭採掘跡地と東ヌサテンガラ州の過放牧地を現地調査・実証活動の対象地域として選定した。

インドネシア林業省の流域管理・社会林業総局及び地方出先機関である流域管理署をカウンターパートとして現地調査・実証活動を実施することとした。上述の対象地の選定結果に基づき、南カリマンタン州では民間企業2社の石炭採掘跡地（潜在酸性土壌）、東ヌサテンガラ州では2つの村の住民による過放牧地（アルカリ性土壌）において、「森林回復技術開発モデル林」を造成することとした（図3-8）。

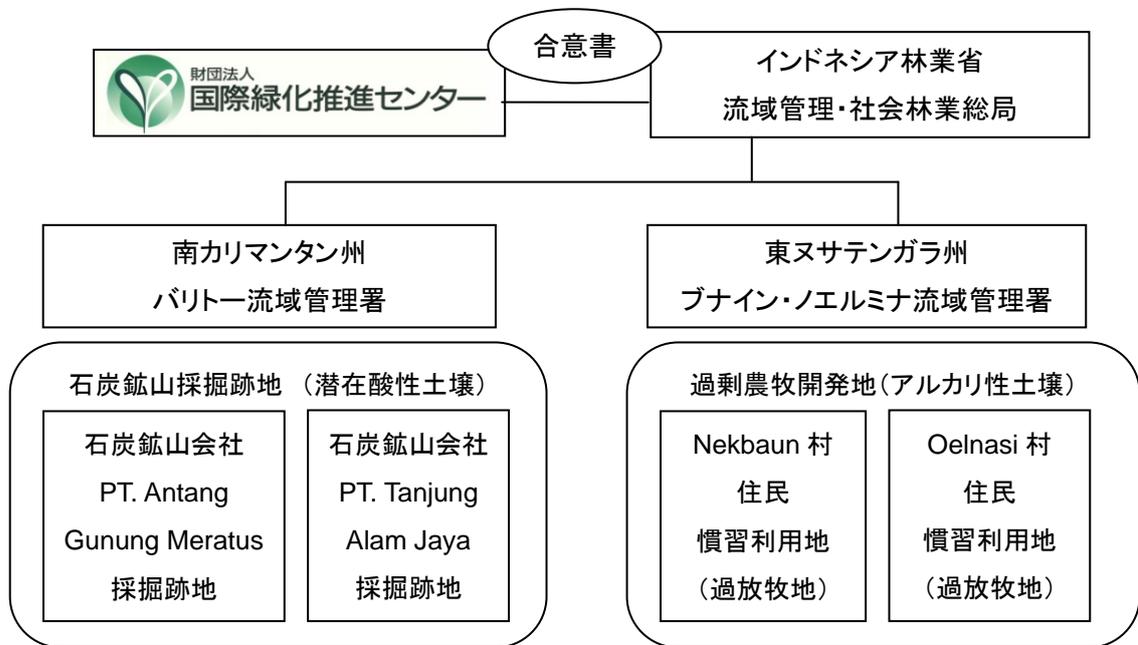


図3-8. 南カリマンタン州及び東ヌサテンガラ州における造林試験の実施体制

#### 2. 技術開発モデル林造成事業の実施方法

##### 2.1 南カリマンタン州石炭採掘跡地

###### (1) 試験造林樹種の選定

平成23年度は、南カリマンタン州の石炭採掘跡地の環境条件（気候、土壌）に耐性があると考えられる造林樹種を、現地周辺の生育状況、文献、分科会委員からのアドバイス及び現地有識者及び地域住民の意見を参考にしてそれぞれ8種選定した。

南カリマンタン州では、気候的には、7～9月に月間降水量100mmを下回る乾期が存在す

るが、その他の9ヶ月間は月間降水量100mm以上の雨期であるため乾燥ストレス耐性はそれ程考慮しなくてよい。ただし、造成対象地が石炭採掘跡の埋め戻し地であり、深層土壌で埋め戻されるため土壌の物理性、化学性ともに劣悪である。土壌の物理性としては、通常、埋め戻し時には土壌流亡を防止するため重機で転圧され固く締め固められ、通気性・排水性ともに不良である。また、化学性については、腐植のほとんどない貧栄養土壌である。また、酸性硫酸塩土壌が発生する場合もある。そのような劣悪土壌に耐性のあると考えられる樹種を選定した（表3-3）。

表3-3. 南カリマンタン州における造林樹種リスト（科名）

	学名	和名・商業名	現地名
1	<i>Acacia mangium</i> (Fabaceae)	アカシアマンギウム (マメ科)	Akasia mangium
2	<i>Anthocephalus cadamba</i> (Rubiaceae)	カランプヤン (アカネ科)	Jabon
3	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Fabaceae)	ゾウノミミ (マメ科)	Sengon buto
4	<i>Fagraea fragrans</i> (Gentianaceae)	テンブス (リンドウ科)	Tembusu
5	<i>Hevea brasiliensis</i> (Euphorbiaceae)	ゴム (トウダイグサ科)	Karet biji
6	<i>Melaleuca cajuputi</i> (Myrtaceae)	カユプテ (フトモモ科)	Kayu putih
7	<i>Swietenia macrophylla</i> (Meliaceae)	オオバマホガニー (センダン科)	Mahoni
8	<i>Tectona grandis</i> (Verbenaceae)	チーク (クマツヅラ科)	Jati

## (2) 試験造林の植栽方法

上述の8樹種について、南カリマンタン州の石炭採掘跡地の環境条件（気候、土壌）に最適な植栽方法を調査することを目的として、文献、分科会委員からのアドバイスならびに現地有識者及び地域住民の意見を参考にして、下記の通り植栽木の試験プロットを設定し試験計画を作成した。

### A. 南カリマンタン州石炭採掘跡地

#### A-1. PT. Antang Gunung Meratus 社石炭採掘跡地（5.0ha）

モデル林造成対象地の埋め立て状況を調査した結果、下層土を用いて埋め戻す場合と、

下層土を用いて埋め戻した後、表層土を敷き詰める場合の2通りあることが確認された(写真1)。そこで、植栽方法の処理区は、表土の敷き詰め約80cm(top soil dressing)のありなし、施肥及びマルチングを含む5処理区×8樹種=40試験区、5回繰り返しとした。

造成予定地をトータルステーション測量し、各試験区、プロットの配置を規則的配置により決定した(図3-9)。



写真1. PT. Antang Gunung Meratus 社石炭採掘跡埋め戻し地

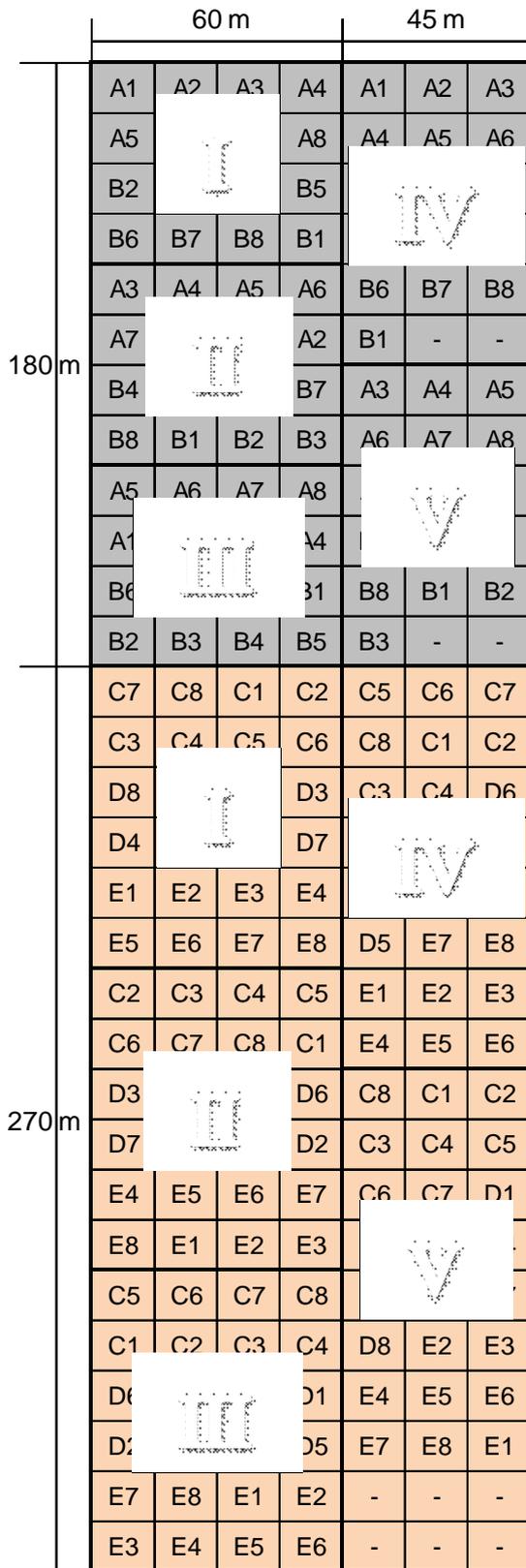
#### A-2. PT. Tanjung Alam Jaya 社石炭採掘跡地 (3.5ha)

モデル林造成対象地の埋め立て状況を調査した結果、対象地の盛り土が粘土岩で転圧のため締め固められており(写真2)、リッピング(掻き起こし)が必要と判断した。そこで、植栽方法の処理区はリッピング、客土、施肥の組み合わせにより8処理区×8樹種=64試験区、3回繰り返しとした。

造成予定地をGPS測量し、各試験区、プロットの配置を規則的配置により決定した(図3-10)。



写真2. PT. Tanjung Alam Jaya 社石炭採掘跡埋め戻し地



造林面積：

5.0ha

造林樹種：

8 樹種 (1~8、表 3-3 参照)

植栽間隔：

3m×3m

植栽密度：

1,111 本/ヘクタール

植栽方法：

A：無処理区 (コントロール)

B：施肥

C：表土の敷き詰め

D：表土+施肥

E：表土+施肥+マルチング

施肥：

化成肥料

+有機質肥料 (鶏糞堆肥)

繰り返し：

5 回 (I~V)

プロットサイズ：

植栽木：5 本×5 本=25 本

プロット面積：

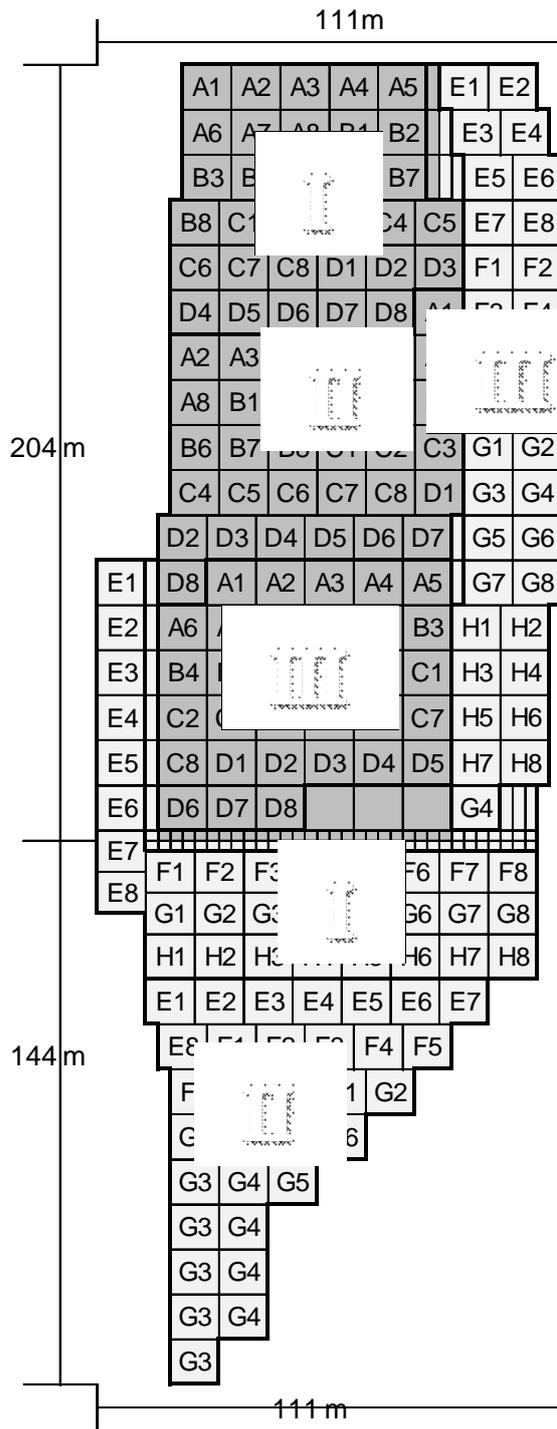
15m×15m=225m<sup>2</sup>

総プロット数

8 樹種×5 処理区×5 回繰り返し

=200 プロット

図 3-9. PT. Antang Gunung Meratus 社石炭採掘跡地 (5.0ha) における造林試験計画図



造林面積：

3.5ha

造林樹種：

8 樹種 (1~8、表 3-3 参照)

植栽間隔：

3m×3m

植栽密度：

1,111 本/ヘクタール

植栽方法：

A：リッピング

B：リッピング+植穴客土

C：リッピング+施肥

D：リッピング+植穴客土+施肥

E：無処理区 (コントロール)

F：植穴客土

G：施肥

H：植穴客土+施肥

施肥：

緩効性化成肥料 (1 本につき 3 粒)

+有機質肥料 (牛糞堆肥)

繰り返し：

3 回 (I~III)

プロットサイズ：

植栽木：4 本×4 本=16 本

プロット面積：

12m×12m=144m<sup>2</sup>

総プロット数

8 樹種×8 処理区×3 回繰り返し

=192 プロット

図 3-10. PT. Tanjung Alam Jaya 社石炭採掘跡地 (3.5ha) における造林試験計画図

## 2.2 東ヌサテンガラ州過放牧地 (Nekbaun 村及び Oelnasi 村)

モデル林造成予定地は、過去は森林であったが、地域住民の伐採やその後の過剰な放牧利用等によって草地化した場所である。モクマオウやヤシ類が散在している。

### (1) 試験造林樹種の選定

東ヌサテンガラ州では、気候的には、4～10月の7ヶ月間が月間降水量50mmを下回る乾期であり、樹種の選定にあたっては乾燥ストレス耐性を考慮しなければならない。また、造成対象地の土壌がパーティソルと呼ばれる粘土質の土壌であるため、土壌の物理性が不良である。土壌の物理性としては、膨潤性粘土に富み乾季に深い亀裂（クラック）が発生する。雨期には、通気性・排水性ともに不良となる。そのような条件に耐性があると考えられる樹種を現地周辺の生育状況、文献、分科会委員からのアドバイス及び現地有識者及び地域住民の意見を参考にしてそれぞれ8種選定した。選定した（表3-4）。

表3-4. 東ヌサテンガラ州における造林樹種リスト（科名）

	学名	和名・商業名	現地名
1	<i>Aleurites moluccana</i> (Euphorbiaceae)	ククイノキ (トウダイグサ科)	Kemiri
2	<i>Casuarina junghuhniana</i> (Casuarinaceae)	ヤマモクマオウ (モクマオウ科)	Kasuari
3	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Fabaceae)	ゾウノミミ (マメ科)	Sengon buto
4	<i>Gmelina arborea</i> (Verbenaceae)	メリナ (クマツヅラ科)	Gamelina
5	<i>Sterculia foetida</i> (Malvaceae)	ヤツデアオギリ (アオイ科)	Nitas
6	<i>Swietenia macrophylla</i> (Meliaceae)	オオバマホガニー (センダン科)	Mahoni
7	<i>Tamarindus indica</i> (Fabaceae)	タマリンド (マメ科)	Asam
8	<i>Tectona gandis</i> (Verbenaceae)	チーク (クマツヅラ科)	Jati

### (2) 試験造林の植栽方法

土壌は、Vertisols に分類され、膨潤性粘土に富み乾季に深い亀裂が発生する問題土壌である。そこで、植栽方法の処理区は、土壌改良として、緩効性化成肥料、有機質肥料（牛糞堆肥）、もみがら薫炭及びその組み合わせで5処理区×8樹種＝40試験区、4回繰り返した。

### 3. 技術開発モデル林造成事業の実施結果

上述の試験造林計画に基づき、南カリマンタン州の石炭採掘跡地においては、PT. Antang Gunung Meratus 社において約 5.0ha、PT. Tanjung Alam Jaya 社において約 3.5ha の計 8.5ha の試験造林を 2012 年 3 月に実施した。

なお、東ヌサテンガラ州の過放牧地については、4 月から 10 月が乾期に当たるため、試験造林の実施は、平成 24 年度の雨期の始め（11 月以降）に延期した。

### 4. 試験造林地の植栽木の生育に関するデータ収集

植栽木の生育に関しては、生存率、成長量（樹高、地際直径）を下記の通り定期的に測定することにより、生育状況を把握する（表 3-5）。

まず、初期値として植栽後 2 週間目に、生存率及び状態、樹高、地際直径を測定する。また、植栽木の活着にとって最も重要と考えられる植栽直後の状況を、植栽後 2 週間、1 か月そして 2 カ月と継続的に生存率を調査する。

植栽後 3 カ月目には樹高を測定し、その後、6 ヶ月目、1 年目と引き続き樹高及び地際直径を測定することにより、植栽木の成長量を把握する。

表 3-5. 植栽木の生育に関するデータ収集計画

測定項目 測定時期	生存率 及び状態	樹高	地際直径
植栽 2 週間後	○	○	○
植栽 1 ヶ月後	○	-	-
植栽 2 ヶ月後	○	-	-
植栽 3 ヶ月後	○	○	-
植栽 6 ヶ月後	○	○	○
植栽 1 年後	○	○	○

上述の試験造林地の植栽木の生育に関するデータ収集は、南カリマンタン州の国立大学、Lambung Mangkurat 大学林学部の協力を得て実施する予定である。

### 5. 平成 24 年度の予定

平成 24 年度は、平成 23 年度に造成したモデル林の生育状況等を踏まえて、樹種選定や植栽方法等を再検討し、南カリマンタン州の石炭採掘跡地において更に 10ha 程度、東ヌサテンガラ州の過剰農牧開発地において新たに 8ha 程度の造林試験を実施する。

また、平成 23 年度に造成したモデル林の管理を継続するとともに、造林試験の結果を検証するために上述の通り立木の生育に関するデータを収集する。

#### 4) 石炭採掘跡地の土壌モニタリング計画

国際緑化推進センター 大角泰夫・仲摩栄一郎

京都大学大学院農学研究科 森林科学専攻 熱帯林環境学分野 太田誠一

##### 1. 目的

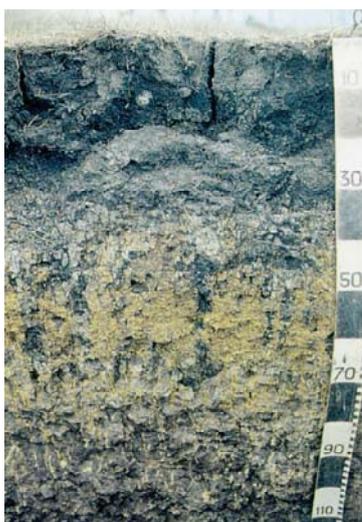
インドネシアで進められている炭坑開発は露天掘りで行われるのが普通である。すなわち埋蔵されている炭層までの地層をはぎ取り、その下に存在する石炭を採取する、というものである。インドネシアの法律では採炭後は速やかに埋め戻し、森林回復を行うことと定められている。埋め戻しに使う材料は炭層の上部の採炭時にはぎ取られた地層を使うのが普通である。

これらの埋め戻しの材料中には海成堆積物が多く含まれ、その中には強い  $H_2O_2$  反応を示すものもあり、明らかに Pyrite( $FeS_2$ —黄鉄鉱)と同定される硫黄化合物が存在することが確認された。このような硫黄化合物は暴露された場合、



という一般化された化学式にしたがって硫酸が形成されるとされている。すなわち、酸性硫酸塩土壌(Acid Sulphate Soil-ASS)の形成である(写真-1)。この酸性硫酸塩土壌は時として pH1~3 という極めて低い酸性となり、森林回復に大きな障害となる。そのため、炭坑会社によっては埋め戻し後の森林回復を容易にするために元々の土壌表層の Pyrite を含まない材料を別途採取し、それより下層から炭層までと炭層間の地層を埋め戻し材料に使い、この別途保存した Pyrite を含まない採炭前の表層をかぶせる方法を使っている(写真-2)。

#### 写真-1 潜在的酸性硫酸塩土壌(ASS)



Thionic Fluvisol in  
Mecong Delta

- 存在地: 海岸地帯の平坦地
- 植生: マングローブ林(汽水性)及び *Melaleuca* 等湿地林(低海拔淡水性)
- 土壌: 硫黄化合物の存在( Pyrite-黄鉄鉱 (100cm以下)及び Jarosite-鉄明ばん石(40~90cmの黄色鉱物))
- FAO分類による関連土壌:  
thionic Fluvisol(硫黄型沖積土壌),  
eutric Histosol(富栄養型泥炭土壌)  
dystric Histosol(貧栄養型泥炭土壌)

埋め戻し材料の酸化に伴う強い酸性は予備的観察から採炭後の埋め戻し直後には発生しておらず、埋め戻し当初は堆積時の海成環境を反映してアルカリ性である。その後時間の経過とともに酸性化することが予備調査で明らかになった。また、類似の材料にもかかわらず、場所によって酸性の程度が異なる。酸性化する材料の多寡がこの原因となっていることも伺われた。さらに、元々の埋め戻し材料が粘土質でしかも緻密であり、埋め戻し時に大きな重機で平準化されるために強く圧密される。そのため、材料の透水性がきわめて不良で、植え孔が降水時にはバケツのように過湿状態になり、植栽する際に根腐れを発生する。加えて、硬堅でもあるので植栽木の根の伸張に影響を与えることが推察される。これらのことから森林再生を進めるためには次の事項について明らかにすることが必要と判断した。すなわち、

- 1) 埋め戻し材料がいつから酸性化するのか？
- 2) 材料の違いによる酸性化の違いの存在は？
- 3) 材料の酸性化が土壌中でどの深さまで進むか？
- 4) 通常反応で形成される  $\text{H}_2\text{SO}_3$  ではなく、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  という段階に進むきっかけ？

等について検討が必要と判断し、そのため、酸性化のモニタリング及び対象地の潜在酸性化物質の分布調査を行うこととした。

## 2. モニタリング対象地の選定

モニタリング対象地は森林回復技術の解明のためのモデル林造成が予定されており、鉦山会社の協力体制が重要である。予備調査の結果、PT. Antang Gunung Meratus 社と PT. Tanjung Alam Jaya 社からの協力が得られることとなり、両社の管理地を対象地とすることとなった。これらの地点が設定されたことにより、2010年掘削の新鮮な堆積物によって埋め戻された Antang Gunung Meratus プロットと 2003年に掘上げられた材料によって 2010年に改めて埋め戻された Tanjung Alam Jaya プロットという異なった歴史の材料での土壌変化がモニターできることとなった。

炭坑会社に求められる森林回復対象地は、[埋め戻された場所]と[炭坑を掘り進んだ際に形成される斜面]、さらに[斜面上部の旧森林地区で採炭の際に伐採された場所]の 3 地点である。これらの中で炭坑会社が最も重点を置く場所としては、埋め戻された場所である。

この埋め戻された場所で、Pyrite のような潜在的酸性化物質を含まない表土が被覆された場所では森林回復は容易に行われており、多くは *Acacia mangium* と *Enterorobium cyclocarpum* を中心とした外来早生樹の植栽地となっている。一方表土被覆が行われず、酸性化物質が暴露されている場所では写真のように裸地化しており、植栽が困難であることが類推される(写真-3)。

これらの炭坑跡地の取り扱い区分について、現状までの観察によれば、図 3-11 のように模式化される。



写真-2 炭層上部の地層

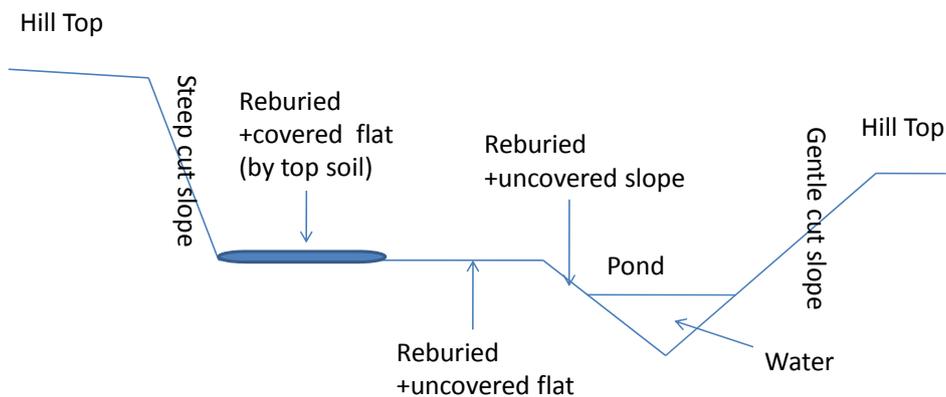
灰黒色の海成の堆積物らしき層と、陸上での堆積が予想される黄色がかった層が存在する。右奥の掘削面のように地層は必ずしも水平ではなく、傾斜している場合の方が多い。特に灰色～灰黒色の地層の多くは30% $H_2O_2$ による反応がきわめて顕著で、pyriteの存在が強く推察される。いずれの層も転石は少量含まれているが、ほとんどは粘土サイズのきわめて細粒の粒子より成る非固結堆積物から構成されている。



写真-3 採炭後放置された跡地

PT. Gunung Sambong会社採炭地で、2003年に採炭された残滓。非常に酸性が強く、水たまりでpH1.7が観測された。たまり水は赤色～赤黒色で、一部はJarosite(鉄明ばん石)と予想される黄色結晶が見られる。山地の中の黒色部分の土塊内部は依然アルカリ性であるが、土壌の地表部は酸性が強く、pH3以下であることが多い。土壌は緻密で硬く、強酸性が加わるためか樹木の生立は全くない。

図 3-11. Sites for soil monitoring in coal mining areas



この模式化されたカテゴリーの中で、埋め戻された場所が最も広く、酸性化の可能性が

高い場所である。したがってこの図のなかの、「埋め戻し平坦面+被覆地(表土被覆)」及び「埋め戻し平坦地(表土被覆なし)」が森林回復には最も重要な対象地で、モニタリングが最も必要な地点である。対象地図の両側に例示した切削面は、通常は急斜面で森林回復の対象とはなりにくい場所である(写真-2 参照)。また、同じく両側に示した丘陵上部面は元来の表土が存在する場であるので、特に酸性化は生じない。したがって、切削斜面と切削斜面上部面については酸性化のモニタリングからは外してよいと考えられる。

対象地は埋め戻し材料が非固結硬化物質からなり、埋め戻し時の重機の圧密・破碎による硬化に加えて、埋め戻し材料が有機物など空隙をもたない材料であるため、埋め戻し地は極めて緻密、硬堅となっている。対象地にはモデル林を植栽することとなるが、硬堅過ぎて植栽が困難であること、さらに緻密であることから植え孔の排水が滞り、植栽木の根腐れが発生しやすい。そのため暗渠排水の効果を観察するためにリッピングを行うことが PT. Tanjung Alam Jaya 社の対象地において計画された。このモニタリングにおいても、リッピングによる通気性の改善に伴う酸性化をモニターするためにリッピング地と非リッピング地における酸性化について検討する。

以上の論議から、土壌モニタリングは酸性化が予想される埋め戻し地において行うこととし、次のポイントで実施することとした。

PT. Antang Gunung Meratus 地区では今年度掘削の新鮮な素材を用いて埋め戻しが行われ、同時に表土被覆が行われる予定であるので、①表土被覆地、②表土被覆なしの 2 区分でモニタリングプロットを設定する。一方、PT. Tanjung Alam Jaya 地区は 2003 年に採炭が行われ、その後緑化が行われず、写真-3 のように採炭残滓が積み上げられた状況であった。その後炭坑を地域政府機関が買い取り、当時の材料を用いて昨年度埋め戻しが行われた。採炭当時の採炭地表土は別途保存されなかったもので、ここでは表土素材を現地で調達することは不可能である。したがって、表土被覆は計画されていないが、試験を推進する際には植え孔に表土を使う方法が計画されている。この際の表土は近くの産地から調達することとしている。また、対象地の土壌はきわめて硬堅ではあため、リッピング試験を行うこととしており、①リッピングなし、②リッピングありの 2 区分でモニタリングプロットを設定する。

### 3. モニタリングプロットの設定

#### 3.1 モニタリングプロット設定の考え方

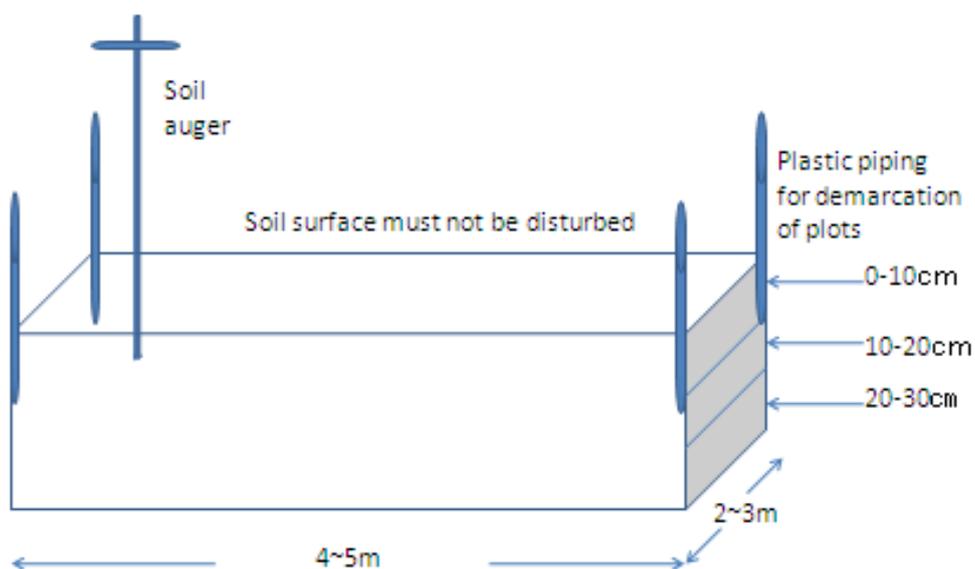
対象地は人工的に埋め戻された場所で、いろいろな地層の混合物で、極めて不均質に分布すると考えられる。ただ、大きな重機によって一時にまとめて埋め戻されているので、類似の材料が小面積ではあるがまとまった形で埋め戻されていると予想される。したがって、小面積のプロットを設定し、その中で変化を解析する方法が適切と考えられる(図 3-12)。プロットの繰り返しは、不均質な材料を勘案し、可能な限り多点とする。

モニタリングはこの小面積のプロットで継続的に行う方法で進める。さしあたりは定法による湿潤試料の水 pH を測定することとし、一部の試料については冷蔵保存して、その他

の、たとえば微生物や鉄の形態変化等の試験や潜在酸性化強度試験等に供する。

pH 測定は、材料が緻密に充填されていることから、酸化が地下深くまでは速やかには進行しないと考え、地表～30cm 部位において行う。さらに酸化は地表から徐々に進行すると想定し、1 地点ごとに地表～10cm、10～20cm 及び 20～30cm から採取した 3 試料で行う。30cm 以下まで硫酸酸性が進行した場合は、新たにそれ以下の部位についての解析を考慮する。

図 3-12. age of soil monitoring plot & soil collection method



供試土壌の試料採取は土壌が極めて硬硬であることを勘案して、土中貫入が可能なねじ込み式の先端を装着したスクリュウ式オーガーを用いる。この先端部では土層の順序に応じて採取しにくいので、図中に示したように 0～10cm、10～20cm 及び 20～30cm の混合サンプルとする。

モニタリングの頻度について、土壌 pH モニタリングにおいては、酸性化はそれほど急速には進行しないと予想して、3 ヶ月に 1 度の割合で行う。なお、両地区に適当な池などの集水地があればそこでの pH モニタリングを併せて行う。圧密・硬硬度も時間の経過と共に、また植栽木の成長とともに変化すると予想されること及び PT. AGM においてはリップングの効果も発生することが予想されるので、pH モニタリングと同じポイントを使って圧密と硬硬度のモニタリングを行う。このモニタリングについては急激な変化は少ないと予想し、年 1 回程度とする。

pH 及び硬硬度という経時的モニタリング以外に対象地内のモニタリングプロットでの土壌酸性化の可能性(酸性硫酸塩土壌化の可能性)調査を対象プロットについて順次行う。な

お、モニタリングに使用する試料は硬堅度をモニターした試料を使う。

今回の土壌モニタリング及びその関連試験は Banjarbaru に設立されている国立大学、Lambung Mangkurat 大学と JIFPRO との共同研究によって進める。

### 3.2 対象地でのモニタリングプロットの種類と設定

#### ① PT. Antang Gunung Meratus 地区(PT. AGM)でのプロット設定

PT. AGM 地区は埋め戻しと表土被覆が実施中であり、具体的なプロットの位置は現在未確定である(2012年1月時点、写真-4)。全体が緩やかな斜面で構成される予定であるので、プロットの設定位置の決定が大切である。埋め戻しが完了次第地図上に位置を提示する予定である。プロット設定が遅れていることから、この地区のモニタリングは埋め戻しが完了して、プロット設定が行われた場所から順次開始する。なお、全体のプロット数として表に示した配分で、5haの対象地内に合計20プロットを設定する。なお、プロット設定は2012年度に行う予定である。

表 3-6. 対象プロット一覧

処理区	プロット数
埋め戻し地+表土被覆なし	10
埋め戻し地+表土被覆あり	10

#### ③ PT. Tanjung Alam Jaya 地区(PT. TAJ)でのプロット設定

PT. TAJ 地区は全体が埋め戻されており、写真に示したように頂上部は平準化されている(写真-5)。辺縁部は採炭残滓で長い斜面となっており、地域は降雨強度が大きいので土砂崩壊の危険性があり、今後崩壊防止の植栽を検討する必要がある。この地区では表に示したような区画が設定されているので、その中の土壌モニタリングプロットもそれに合わせて設定する。ただ、全体が3.5haであるので、モニタリングを2012年度に開始するということから今回の対象地ではリッピングのあり、なしで各試験区画に10プロットを設定する。

表 3-7. 対象プロット一覧

処理区	プロット数
埋め戻し地+リッピングなし	10
埋め戻し地+リッピングあり	10



写真－4 AGM地区対象地の現状

現在全体で15ha程度になるように試験地が調整されている段階である。この会社はきわめて協力的で、今後の共同研究に期待かもてる。

鏡のように光っている場所はすでに埋め戻された場所で、中間にある尾根と奥の山地は表土採取の場所である。今後表土被覆とリッピングが行われて試験地造成が完了する。

予備段階での調査では、表土試料はpH5~6、埋め戻し地は深さに関係なく、pH7.2~8程度であった。

この様な重機が使用されているので、試験地は緻密・硬硬で透水・排水はきわめて困難である。



写真－5 TAJ地区対象地の景観

現在5ha程度の平坦面が造成されている(2011年造成)。ほとんどがやや黒味がかかった灰色の素材で埋め戻されており、予備調査でのpHは大部分のポイントでアルカリ性であった。ただ、水が流れている場所では硫黄臭があり、黄色がかかった場所での予備調査ではpH3.5以下の強い酸性を示した。したがって、pHの分布は斑で、プロットを多くとる必要があることが認識された。

## 4. 土壌等の pH モニタリング

### 4.1 プロット原簿、区画原図及び記録簿の作成

プロット設定にあたってはプロット No を、たとえば AGM-15 というように決めておき、AGM 処理区内での処理内容と位置がわかるようにプロット設定記録簿の原簿と区画原図を作成し、記録しておく。なお、近くに採炭によって造成された池等集水地が存在する場合は同じように pH を経時的にモニターする。

pH プロット原簿は処理の方法が異なるので PT. AGM 地区と PT. TAJ 地区別々に作成する。原簿に記載される内容は、GPS で測定した正確な位置、地形情報、プロットの処理区情報、植栽樹木と植栽時期、地表部の土色、及びその他の特記事項、である。また、集水池が存在する場合は、採取地点の池全体での位置、集水範囲のおおよその面積と地形情報、GPS で測定した正確な位置情報、及びその他の特記事項、を原簿に記載する。全体の区画原図を地区ごとに作成し、それぞれのプロット及び採水地点を記載しておく。各プロットの pH と採水地点の水 pH は記録簿(野帳)を作成して記録、保存する。

### 4.2 pH 測定法とデータの保存と共有

pH は各プロットの 0~10cm、10~20cm 及び 20~30cm の 3 部位の試料について測定する。したがって、1 プロットの採取部位も記録簿に記入する。集水池の場合は採取ポイントを決めておき経時的に同じポイントの pH を測定し、記録簿に記録する。なお、集水池の pH 測

定は、2～3 地点で行う。

各プロットの各部位から採取された土壌サンプルはビニル袋にとって持ち帰り、均一になるように混ぜ合わせた後 pH を測定する。なお、サンプリングにあたってはプロットー深さー採取時期が明らかになるようにビニル袋に記載しておく。水のサンプルは 30～50cc 程度の広口サンプル瓶に採取し、持ち帰り後速やかに pH を測定する。

pH は実験室において、湿潤試料 10g に対して蒸留水 25cc を混和攪拌後に測定する。混和攪拌と測定時間は定法にしたがって行う。水 pH は広口瓶そのまま測定する。

測定データは記録簿に記入し、電子情報として保存する。また、JIFPRO と Lambung Mangkrat 大学との情報の共有を図るためにメールでファイル及び関連情報の交換を図る。さらに、年 2 回発行される報告書によってデータを公開する。

## 5. 跡地整地(backfill)に伴う土壌の圧密度の変化モニタリング

### 5.1 跡地整地による土壌圧密とリッピング等による理学的条件の緩和の可能性

露天掘り炭田では採炭後の速やかな植生回復を促進するために跡地を整地することが多い。整地の効率化と考えられるが、整地の際には非常に大きな重機によって繰り返し充填、平滑化される。結果として、整地地はきわめて緻密で硬質な土壌となり、植栽を行う際の植え孔の形成や植栽後の植栽木の根の伸張に困難が生じる。さらに、排水や透水が困難である場合が多く、降雨後の排水不良で植栽木が過湿害によって枯損する事例も多いとされる(写真ーこまつ)。そのため、本プロジェクトにおいてはきわめて緻密で硬質な土壌条件が、植栽木の成長及び地表の暴露時間の経過と共にどの様に変化するのかを土壌の理学的性質の変化から解析することとした。同時にリッピングによって排水を促進し、植栽木の生存及び成長を補助する効果を観察することとしたが、その効果を実証する一助としてリッピングが土壌の理学的性に与える効果についても検討することとした。

### 5.2 解析方法

100CC 容土壌円筒による容積重の変化を解析のポイントとする。土壌を掘削して円筒を採取する破壊調査であるので、両対象地区の pH モニタリング対象プロット内では行わないが、pH データとの関係もあり、pH モニタリングプロットに接する地点で解析を行う。すなわち PT. AGM では各処理区 10 プロット、計 20 プロットを、また PT. TAJ 地区では各処理区 5 プロット、計 10 プロットを対象ポイントとして選定する。

モニタリング間隔は、土壌理学的性の変化はそれほど急速とは考えられないので、年 1 度とする。

土壌円筒の採取部位は pH と同じく、0～10cm、10～20cm 及び 20～30cm の中央部分とする。なお、同じ地点で 2～3 回の繰り返しを採用する。

採取方法として、深さ 3cm に平らな面を作り、円筒採取補助器とハンマーによってすでに重量を測定しておいた円筒(重量-Wc)を土中に打ち込み、土壌を採取し、両面をナイフを使って平滑に調整する。なお、採取円筒は前述のように同じ面から 2～3 回の繰り返しと

する。ついで最初の面の採取が終わった後、深さ 13cm に平らな面を作り、同じ方法によって円筒を採取する。さらに引き続いて深さ 23cm の面の円筒採取を行う。1 プロットの採取地点からは 6~9 個の円筒が採取される。

次に採取した円筒の重量を、0.1g の精度の上皿天秤によって計測する。この重量は、円筒重量(Wc)+100cc の採取土壌(Ww)である。

この採取土壌を適当な容器に移し、自然乾燥させる。自然乾燥を行う際には、この試料の中の石礫の存在と量を確認する必要があるし、土壌によっては乾燥するとコンクリートのように硬くなる場合もあるため、乾燥の途中途中に土塊を崩して、できるだけ細かく碎きながら乾燥させることを勧める。

次いで乾燥土壌の重量を測定する(Wd)。

$$(Ww - Wd) / Ww \times 100 = \text{水分\% (Mc\%)}$$

の式で水分%を計算する。

乾燥土壌の一部をとって乾燥土壌全体に含まれる水分量を把握し(DMc)、

$$(Wd - DMc) / 100 = \text{仮の容積重(BD)}$$

なお、(Wd - DMc)は 100cc 円筒内の土壌の絶乾重

として容積重を計算する。なお、実際の容積重は根と岩石の容積と重量を Wd から減じて後に算定されるものであるため、ここでは仮の容積重として記録する。対象地の材料は元々根が入っていない堆積物で構成されているし、埋め戻しの堆積物も岩石がほとんど観察されない非固結堆積物から構成されているため、この方法で測定された仮の容積重は実際の容積重と大きな違いはないと考えられる。

測定されたデータは土壌理化学性記録簿を作成し、繰り返しと共に記録する。この記録簿には、土壌水分%及び仮の容積重に加えて、土壌の色、山中式硬度計による硬度、その他の特記事項を記録する。

記録簿は電子情報として保存するとともに、JIFPRO と Lambung Mangkrat 大学との情報の共有を図るためにメールでファイル及び関連情報の交換を図る。さらに、年 2 回発行される報告書によってデータを公開する。

## 6. 土壌の潜在的酸性化の可能性調査 (酸性硫酸塩土壌化潜在性テスト)

### 6.1 潜在酸性化物質の対象地での分布

土壌の経時的な観察に加えて植栽木の活着と成長に対する傍証を得るために対象地の潜在酸性化能を解析することを試みることにした。

分析方法は土質工学会で採用されている方法(土質工学会、1991)が簡便であることから、この方法に準拠することとした。この方法の概要は以下に示したとおりである。

自然乾燥した土壌 2g を 200ml のトールビーカーに採り、希薄な NaOH 溶液によって pH6 に調整された 30%過酸化水素水 20ml を加え反応が収まるまで室温で放置し、放冷後過酸化水素水添加前の重量より 20g 多くなるまで水を加えその後 pH を測定する。この pH は pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)と表示する。

なお、反応後 pH は徐々に上昇することが観察されているので(長谷川他、1994)、室温になったら速やかに pH を測定する。あるいは、過酸化水素水との反応はきわめて激しいので発泡、噴きこぼれを防止するために氷水で冷やしながらか反応させる必要があるかもしれない。したがって、反応が終わり次第氷水で冷やし、冷却後速やかに pH 測定を行うこととする。また、激しい反応を緩和するため、冷却を容易にする目的でプラスチック製の 250cc 容広口瓶で反応を進める方法も併用する。

pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)は、前項の土壤理学性解析に使われた乾燥後の円筒試料を使うこととした。なお、繰り返しで採取された円筒のなかで中心的な理学的性質を示した試料について測定することとした。測定は 1 プロット、0~10cm、10~20cm 及び 20~30cm 部位で 1 回に限定することとした。

測定値は理学性記録簿に記載する。さらに、植栽木の活着及び成長との比較のために区画原図上に記録する。さらに、過去の海成デルタ地帯での経験では Pyrite を含む thionic Fluvisol 土壌は 2.5Y5/4 あるいは 5Y5/4 より灰色あるいは青色が強いことが多いという事例から、炭坑跡地の素材の色と将来的な酸性化の可能性を予測するために、土壌の色と酸性化の程度との因果関係を分析することとした。

測定には大変時間がかかるので、プロジェクト期間が終了する 2014 年度にかけて今後順次行うこととする。記録簿は電子情報として保存するとともに、JIFPRO と Lambung Mangkrat 大学との情報の共有を図るためにメールでファイル及び関連情報の交換を図る。さらに、年 2 回発行される報告書によってデータを公開する。

## 参考文献

- 土質試験法委員会編(ver.3)：土質試験の方法と解説、土質工学会、pp.130, 1991  
長谷川秀三・大津洋介・岩永安正・栗原昭司(1994)：酸性硫酸塩土壌の過酸化水素による簡易 pH 測定法について、日緑工誌、20(2), p.116-122

## 第4章 森林回復技術マニュアル案

### 1) 樹種選択のためのインドネシアにおける植林樹種特性表

国際緑化推進センター 仲摩栄一郎

インドネシアは多様な自然環境的、人文社会的条件が存在する多くの島からなっており、この国で植林に利用されている樹種も多種多様である。そこで、本事業が試験造林の実施を予定している南カリマンタン州の石炭開発跡地（酸性土壌）及び東ヌサテンガラ州西チモール島のクパン市近郊の過放牧地（弱アルカリ性土壌、熱帯モンスーン乾燥気候）に適する樹種を選択する目的で、現在インドネシアで利用されている主要植林樹種の特性表を作成した（表4-1）。

特性としては、利用の用途、生育気候（温度、雨量等）、土壌環境（塩類、酸度等）、自然災害耐性、標高、共生菌類等々である。これらの樹種の特性は表に示した文献及び国際緑化推進センターの経験から得た情報である。

#### 1. 南カリマンタン州の石炭開発跡地（酸性土壌）

この特性表を利用して、南カリマンタン州の石炭開発跡地（酸性土壌）に耐酸性の大きい樹種群として次の樹種を第一次植林候補木として選定した。*Dipterocarpus alatus*、*Hopea odorata*、*Shorea javanica*、*Shorea roxburghii*、*Acacia auriculiformis*、*Acacia crassicarpa*、*Acacia mangium*、*Eucalyptus camaldulensis*、*Melaleuca cajuputi*、*Melaleuca leucadendron*。初年度はこのうちの下線の2樹種を植林する。

次に、利用用途面から木材や林産物を産する樹種をどの程度の酸性状態まで生育できるかテストする意味と植林用苗木が調達できる樹種として、*Anthocephalus cadamba*、*Fagraea fragrans*、*Hevea brasiliensis*、*Enterolobium cyclocarpum*、*Swietenia macrophylla*、*Tectona grandis*の6樹種を選んだ。また、最後にフタバガキ類の裸地・酸性土壌への植林の可能性を知るために、裸地に植林できてかつ比較的酸性土壌に強いといわれている上記4樹種などから、苗木調達が可能な樹種について試験造林を行う予定である。

#### 2. 東ヌサテンガラ州西チモール島のクパン市近郊の過放牧地（弱アルカリ性土壌、熱帯モンスーン乾燥気候）

東ヌサテンガラ州西チモールの弱アルカリ性に耐性がある樹種としては、*Acacia auriculiformis*、*Leucaena leucocephala*、*Schleichera oleosa*、*Gmelina aborea*、*Tectona grandis*が挙げられる。さらに乾燥く、かつ西チモールに植林可能性の高い樹種として、*Casuaria junghuhniana*、*Dipterocarpus alatus*、*Hopea odorata*、*Shorea roxburghii*、*Schima wallichii*、*Acacia auriculiformis*、*Entrobium cyclocarpum*、*Gliricidia sepium*、

*Leucaena leucocephala*、*Sesbania grandiflora*、*Tamarindus indica*、*Aleurites moluccana*、*Azadiracta indicus*、*Khaya senegarensis*、*Mangifera indica*、*Schleichera oleosa*、*Ceiba pentandra*、*Eucalyptus camaldulensis*、*Melaleuca cajuputi*等がある。

上記から苗木調達の可能性を勘案して、下線の 6 樹種を選ぶとともに、地元住民の要望を踏まえて、*Swietenia machophylla* と *Sterculia foetida* を加えた計 8 樹種を初年度の試験造林樹種として選んだ。

表4-1. インドネシアにおける造林樹種および果樹等の樹種特性表(暫定版)

Order name	Family name	Botanical name	Japanese name	Indonesian name	Use	droug	flood	swamp	sandy	rocky	acid	alkaline	salinity	low temp.	frost	wind	fire	grass	Climate, Habitats	Rainfall	Dry period	Altitude	Bacteria	Mycorrhiza	Growth	
目名	科名	学名	和名・商業名	インドネシア語名	用途	乾燥	浸水	湿地	砂土	岩石	酸性	アルカリ性	塩分	低温	霜	風	火災	草	気候、生息地	降水量	乾燥月	標高	放線菌	菌根菌	成長	
Casuarinales	Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>	トクサバモクマオウ	Cemara laut	砂丘固定、用材、薪材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1.6</sup>		耐 <sup>1.6</sup>			耐 <sup>6</sup>	耐 <sup>1.6</sup>						semi-arid to subhumid <sup>1</sup>	700-2000 mm <sup>6</sup> 200-5000 mm <sup>6</sup>	4-6 months <sup>1</sup> 6-8 months <sup>6</sup>	< 1500 m <sup>6</sup>	放線菌Frankia			
モクマオウ目	モクマオウ科	<i>Casuarina junghuhniana</i>	ヤマモクマオウ	Cemara gunung	用材、薪材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1.6</sup>	耐 <sup>1</sup>		耐 <sup>1</sup>					耐 <sup>E</sup>			根耐 <sup>1</sup>		monsoonal <sup>1</sup>						fast <sup>1</sup>	
Urticales	Moraceae	<i>Artocarpus altiiis</i>	バンノキ	Sukun	果実、用材等 <sup>3</sup>			弱 <sup>1</sup>						弱 <sup>1</sup>					hot, humid, tropical lowlands <sup>1</sup>		short dry periods <sup>1</sup>					
イラクサ目	クワ科	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	パラミツ	Nangka	果肉、種子、用材等 <sup>3</sup>	弱 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>						耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>				tropical & subtropical regions <sup>1</sup>							
Guttiferales	Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus alatus</i>	カンインビュ	Keruing	用材、合板等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>						耐 <sup>E</sup>							evergreen & dry deciduous <sup>1</sup>		6 months <sup>1</sup>	< 500 m <sup>1</sup>				
オトギリソウ目	フタバガキ科	<i>Dryobalanops aromatica</i>	リュウノウジュ	Kapur bukit	用材、合板、薬用等 <sup>3</sup>														熱帯低地、尾根沿い <sup>6</sup>			< 300 m <sup>6</sup>				
		<i>Dryobalanops lanceolata</i>	カポールバジ	Kapur paji	用材、合板等 <sup>3</sup>														熱帯低地、斜面中腹 <sup>6</sup>							
		<i>Hopea odorata</i>	タキアン	Merawan	用材、樹脂等 <sup>3</sup>							耐 <sup>E</sup>							moist tropical evergreen <sup>1</sup>			< 600 m <sup>1</sup>				
		<i>Shorea balangeran</i>			用材、合板等 <sup>E</sup>		耐 <sup>E</sup>	耐 <sup>E</sup>																		
		<i>Shorea javanica</i>	ダマールカチャ	Damar kaca	用材、合板等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>					耐 <sup>E</sup>							tropical lowland rainforests <sup>1</sup>	1600 mm < <sup>1</sup>	< 6 months <sup>1</sup>	< 300(500) m <sup>1</sup>				
		<i>Shorea leprosula</i>	テンパーガ		用材、合板等 <sup>3</sup>																	< 700 m <sup>1</sup>				
		<i>Shorea roxburghii</i>			用材、合板等 <sup>E</sup>	耐 <sup>E</sup>						耐 <sup>E</sup>						根耐 <sup>E</sup>								
	Theaceae	<i>Schima wallichii</i>	イジュ、ヒメツバキ	Puspa	用材等 <sup>3</sup>		耐 <sup>1</sup>						耐 <sup>1</sup>						wide range of climates, habitats & soils <sup>1</sup>							
Rosales	Fabaceae	<i>Acacia auriculiformis</i>	カマバアカシア	Akasia	用材、薪材、バルブ等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>2</sup>				耐 <sup>2</sup>	耐 <sup>2</sup>	耐 <sup>2</sup>		耐 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>		耐 <sup>1</sup>	seasonally dry tropical lowlands <sup>1</sup>	700-2000 mm <sup>1</sup>	< 7 months <sup>1</sup>	< 80(400) m <sup>1</sup>				
バラ目	マメ科	<i>Acacia crassicaarpa</i>		Akasia	バルブ等 <sup>E</sup>		耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>		耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1.2</sup>							warm to hot humid and sub-humid zone	1000-3500 mm <sup>1</sup>						
		<i>Acacia decurrens</i>	ミモザアカシア	Akasia	各種工作等 <sup>3</sup>								耐 <sup>E</sup>	根耐 <sup>E</sup>	根耐 <sup>E</sup>											
		<i>Acacia mangium</i>	アカシアマンギウム	Akasia	用材、薪材、バルブ等 <sup>3</sup>	弱 <sup>E</sup>	弱 <sup>1</sup>		耐 <sup>2</sup>		耐 <sup>1.2</sup>	4.5-6.5						耐 <sup>1</sup>	humid or wet <sup>2</sup> , tropical lowland <sup>1</sup>	1500-3000 mm <sup>2</sup>						
		<i>Cassia siamea</i>	タガヤサン	Johar	用材、薪材等 <sup>3</sup>																					
		<i>Dalbergia latifolia</i>	マルバシタン	Sonokeling	用材等 <sup>3</sup>													耐 <sup>E</sup>	dry deciduous forests <sup>1</sup>							
		<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	ソウノミ	Sengon buto	用材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>													wide range of habitats <sup>1</sup>		1-6 months <sup>1</sup>					
		<i>Gliricidia sepium</i>		Gamal	生垣、飼料、養蜂等 <sup>1</sup>	耐 <sup>E</sup>			耐 <sup>1</sup>					15 < <sup>1</sup>												
		<i>Leucaena leucocephala</i>	イビルイビル	Lamtoro	緑化、飼料、薪材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>5</sup>	耐 <sup>5</sup>			耐 <sup>5</sup>	弱 <sup>5</sup>	耐 <sup>5</sup>	耐 <sup>5</sup>	耐 <sup>5</sup>	耐 <sup>5</sup>	根耐 <sup>1.5</sup>	耐 <sup>5</sup>	根耐 <sup>1.5</sup>	tropical subhumid or humid <sup>1</sup>	1200 mm < <sup>1</sup> 1000-3000 mm <sup>5</sup>	6-7 months <sup>1</sup> 8-10 months <sup>5</sup>	< 500 m <sup>5</sup>				
		<i>Paraserianthes falcataria</i>	モルッカネム	Sengon laut	用材、合板、バルブ等 <sup>3</sup>											弱 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>	peri-humid and monsoonal <sup>1</sup>		2-4 months <sup>1</sup>					
		<i>Parkia speciosa</i>	ネジレフサマメノキ	Petai	葉、種子等 <sup>3</sup>		耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>										lowland rainforests <sup>1</sup>							
		<i>Pterocarpus indicus</i>	インドシタン	Angsana	用材等 <sup>3</sup>		耐 <sup>1</sup>												coast to submontane forests and seasonal swamps <sup>1</sup>							
		<i>Samanea saman</i>	アメリカネム	Trembesi	用材、飼料等 <sup>3</sup>																					
		<i>Sesbania grandiflora</i>	シロゴチヨウ	Turi	薪材、飼料、薬用等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>							弱 <sup>1</sup> 10		弱 <sup>1</sup>			hot, humid		9 months <sup>1</sup>					fast <sup>1</sup>
		<i>Tamarindus indica</i>	タマリンド	Asam	果肉等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>									耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>		耐 <sup>1</sup>	wide range of soil and climatic conditions, in low-altitude woodland, savannah and bush <sup>1</sup>							
Geraniales	Euphorbiaceae	<i>Aleurites moluccana</i>	ククイノキ	Kemiri	種子搾油、用材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>													subtropical dry to wet through tropical very dry to wet <sup>1</sup>							
フウロソウ目	トウダイグサ科	<i>Hevea brasiliensis</i>	バラゴムノキ	Karet	ゴム液、用材等 <sup>3</sup>		耐 <sup>1</sup>												tropical evergreen rainforest <sup>1</sup>		2-3 months <sup>1</sup>	< 400-500 m <sup>1</sup>				
		<i>Jatropha curcas</i>	ナンヨウアブラギリ	Jarak	種子油、生垣 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>													arid and semi-arid, drier regions of the tropics <sup>1</sup>							
Rutales	Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i>	インドセンダン	Mimba	用材、薬用 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>												almost anywhere in the lowland tropics <sup>1</sup>							
ミカン目	センダン科	<i>Khaya senegalensis</i>	ドライマホガニー		用材、合板等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>											riverine forests and is scattered within the higher-rainfall savannah woodlands <sup>1</sup>							
		<i>Melia azedarach</i>	タイワンセンダン	Mindi	用材、薪材等 <sup>3</sup>													耐 <sup>1</sup>	subtropical <sup>1</sup>							
		<i>Swietenia macrophylla</i>	オオバマホガニー	Mahoni	用材、合板等 <sup>3</sup>													耐 <sup>1</sup>	edge of the pine savannah to the climax rainforest <sup>1</sup>							
		<i>Toona sureni</i>	スリワンギ	Surian	用材、合板等 <sup>3</sup>																					
Sapindales	Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	カシュー	Jambu mente	果実、用材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>														800-1000 mm <sup>1</sup>						
ムクロジ目	ウルシ科	<i>Lannea coromandelica</i>		Banten	生垣等 <sup>E</sup>	耐 <sup>E</sup>																				
		<i>Mangifera indica</i>	マンゴー	Mangga	果実、用材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>													subtropics and the tropics <sup>1</sup>		3 months <sup>1</sup> <	< 1200 m <sup>1</sup>			
		<i>Mangifera odorata</i>	ニオイマンゴ	Kuwini	果実等 <sup>3</sup>															1200 mm <sup>1</sup>	no prolonged <sup>1</sup>	< 1000 m <sup>1</sup>				
	Sapindaceae	<i>Nephelium lappaceum</i>	ランブータン	Rambutan	果実、種子等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>							弱 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>			humid tropical lowlands <sup>1</sup>							
	ムクロジ科	<i>Schleichera oleosa</i>	セイロンオーク	Kesambi	種子油、用材、薬用等 <sup>3</sup>	耐 <sup>E</sup>						耐 <sup>E</sup>														
Malvales	Malvaceae	<i>Hibiscus cannabinus</i>	ケナフ		繊維利用 <sup>E</sup>																					
アオイ目	アオイ科	<i>Hibiscus macrophyllus</i>		Waru gunung	用材、薪材、繊維等 <sup>4</sup>																					
		<i>Sterculia foetida</i>	ヤツデアオギリ	Nitas	用材																					
	Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	カボック	Kapuk	綿毛、合板、種子油等 <sup>3</sup>															moist evergreen and deciduous forests <sup>1</sup>						
	パンヤ科	<i>Durio kutejensis</i>	ライ	Lai	果肉等 <sup>3</sup>																					
		<i>Durio zibethinus</i>	ドリアン	Durian	果肉、種子等 <sup>3</sup>																					
		<i>Ochroma lagopus</i>	バルサ	Balsa	浮子、模型等 <sup>3</sup>																					
	Sterculiaceae	<i>Theobroma cacao</i>	カカオ	Koko	種子脂肪等 <sup>3</sup>															wet humid tropics <sup>1</sup>						
	アオギリ科																									
Thymelaeales	Thymelaeaceae	<i>Aquilaria spp.</i>	ジンコウ	Gaharu	香料、用材、繊維等 <sup>3</sup>																					
ジンチョウゲ目	ジンチョウゲ科																									
Violales	Datiaceae	<i>Octomeles sumatrana</i>	ビヌアン	Benuang	用材、合板、バルブ等 <sup>3</sup>																					
スマレ目	ダティスカ科																									
Myrtiflorae	Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	リバーレッドガム		用材、バルブ等 <sup>3</sup>	耐 <sup>E</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>E</sup>		耐 <sup>E</sup>	耐 <sup>E</sup>							hot and from humid to arid zones <sup>1</sup>		0-8 months <sup>1</sup>					
フトモモ目	フトモモ科	<i>Eucalyptus deglupta</i>	カメレレ		用材、バルブ等 <sup>3</sup>	弱 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>												wet tropics <sup>1</sup>							

		<i>Eucalyptus pellita</i>			用材、パルプ等 <sup>3</sup>										耐 <sup>1</sup>				humid and subhumid, tropical lowland <sup>1</sup>					
		<i>Eucalyptus urophylla</i>	ウロフィラユーカリ		用材等 <sup>3</sup>										弱 <sup>1</sup>									
		<i>Melaleuca alternifolia</i>	カユプテ																					
		<i>Melaleuca cajuputi</i>	カユプテ			耐 <sup>2</sup>	耐 <sup>2</sup>	耐 <sup>2</sup>		耐 <sup>2</sup>	耐 <sup>E</sup>								humid-subhumid		1300-1750 mm <sup>2</sup>			
		<i>Melaleuca leucadendron</i>	カユプテ		薬用、香料、薪炭等 <sup>3</sup>	耐 <sup>2</sup>	耐 <sup>E</sup>				耐 <sup>2</sup>				subhumid-humid <sup>2</sup>		650-1500 mm <sup>2</sup>							
		<i>Syzygium aromaticum</i>	チャウジ	Chengkeh	薬用、香料等 <sup>3</sup>														woodland and rainforest <sup>1</sup>					
	Sonneratiaceae	<i>Duabanga moluccana</i>	ビヌアンラキ	Benuang laki	用材、合板等 <sup>3</sup>														wet humid tropics <sup>1</sup>					
	ハマザク科																							
Ebenales	Ebenaceae	<i>Diospyros ebenum</i>	コクタン	Kayu hitam	用材等 <sup>3</sup>																			
カキノキ目	カキノキ科																							
Gentianales	Apocynaceae	<i>Alstonia scholaris</i>	ブライ	Pulai	用材、合板等																			
リンドウ目	キョウチクトウ科																							
	Gentianaceae	<i>Fagraea fragrans</i>	テンブス	Tembusu	用材、合板等																			
	リンドウ科																							
	Rubiaceae	<i>Anthocephalus cadamba</i>	カランパヤン	Jabon	用材、合板等 <sup>3</sup>		耐 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>																
	アカネ科	<i>Coffea arabica</i>	コーヒー	Kopi	種子飲料 <sup>3</sup>				弱 <sup>1</sup>		耐 <sup>1</sup>										1500-2000 mm <sup>1</sup>		1500-2000 m <sup>1</sup>	
Tubiflorae	Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i>	メリナ	Jati putih	用材、合板等 <sup>3</sup>	耐 <sup>1</sup>	弱 <sup>1</sup>	耐 <sup>1</sup>			耐 <sup>E</sup>			耐 <sup>1</sup>		耐 <sup>E</sup>								
シソ目	クマツヅラ科	<i>Peronema canescens</i>	ヌルデモドキ	Sungkai	用材等 <sup>3</sup>																			
		<i>Tectona grandis</i>	チーク	Jati	用材等 <sup>3</sup>	耐 <sup>E</sup>					弱 <sup>E</sup>	耐 <sup>E</sup>												

Reference:

- 1 Agroforestry Database, World Agroforestry Centre. <http://www.worldagroforestry.org/resources/databases/agroforestry>
  - 2 John W. Turnbull Edit (1986) Multipurpose Australian Trees and Shrubs. Australian Centre for International Agricultural Research
  - 3 熱帯植物研究会編(1984)熱帯植物要覧. 養賢堂
  - 4 Wikipedia (2011 閲覧) <http://id.wikipedia.org/wiki/>
  - 5 Office of International Affairs U.S. (1984) Leucaena: Promising Forage and Tree Crop for the Tropics. National Academy Press U.S.
  - 6 森徳典ら(1984)熱帯樹種の造林特性第1巻. 国際緑化推進センター
  - 7 森徳典ら(1984)熱帯樹種の造林特性第2巻. 国際緑化推進センター
  - 8 森徳典ら(1984)熱帯樹種の造林特性第3巻. 国際緑化推進センター
- E Experience, 経験上の知見

## 2) アルカリ性土壌地域に適応可能な樹種と種特性 ー西ティモールにおける植林候補樹種の特徴ー

森林総合研究所 生物工学研究領域 ストレス応答研究室 田原恒

平成 23 年 9 月 14 日～25 日にわたって過剰農牧開発の結果、荒廃地化した西チモールの現地調査を行った。対象地は、東ヌサテンガラ州 Kupang 県（西ティモール）で、アルカリ性土壌地帯での植栽・森林管理技術を開発するためのモデル林造成時の樹種選定の参考とすることを目的とした。調査地は、モデル林造成候補地（Nekbaun 村および Oelnasi 村）、林業省研究開発局（FORDA）Kupang 支所の苗畑等で、生育あるいは育苗されていた樹種について、その特性等を文献等で検索し、植栽の可能性及び植栽時並びに植栽後の留意点について検討した。

対象とした樹種は以下の通りである。

モクマオウ科 *Casuarina junghuhniana*

マメ科 *Acacia leucophloea*、*Cassia siamea*、*Leucaena leucocephala*、*Mimosa catechu*、  
*Mimosa saman*、*Pterocarpus indicus*、*Tamarindus indica*

シソ科 *Gmelina arborea*

センダン科 *Swietenia macrophylla*

フトモモ科 *Eucalyptus urophylla*

ビャクダン科 *Santalum album*

樹種の同定は、Nusa Cendana 大学の Michael Riwu Kaho 博士あるいは苗畑の表示による。学名は、The International Plant Names Index (<http://www.ipni.org/index.html>) に従った。記述内容は、AgroForestryTree Database 等による。

(<http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/af/index.asp>)

1. *Casuarina junghuhniana* Miq. (Casuarinaceae モクマオウ科)

【インドネシア名】 cemara gunung, kasuari, adjaob, ajaob,

【英名】 forest oak, mountain ru, red-tipped ru, she oak

【和名】 ヤマモクマオウ

【特徴など】 樹高 15~25 (max. 35) m、幹直径 30~50 (max. 65) cm、落葉樹、属名は、細枝の姿が kasuari (マレー語でヒクイドリ) の羽に似ていることに由来する。

【天然分布】 インドネシア

【生息地】 パイオニア樹種で火山斜面などに生える。乾燥耐性を持つとともに、長期の湛水でも生存できる。樹高数 m になると、山火事に耐性を持ち、山火事後に萌芽能力を持つ。軽しような火山性土や砂質土から重粘土まで幅広い土壌で育つ。pH 2.8 の酸性粘土から pH 8 の石灰質土壌まで幅広い pH に適応可能。生育可能な降雨量は、年平均 700~1500 mm。

【生産物】 燃料、繊維 (パルプ)、材木

【機能】 防風、荒廃地緑化、窒素固定 (根に *Frankia* 属の放線菌が共生している)、土壤改良 (ティモールでは、枝葉を燃やし、灰を畑にまく。菌根を形成する)、観賞



写真 4-1. *Casuarina junghuhniana* (モデル林造成候補地, Nekbaun 村)

## 2. *Acacia leucophloea* Willd. (Fabaceae マメ科)

【インドネシア名】 kabesak, pilang, kayu besak, besok, opilan, pelang

【英名】 white-bark acacia

【特徴など】 樹高 35 m、幹直径 100 cm、トゲあり。属名は、ギリシャ語でトゲ akis に由来する。

【天然分布】 インドネシア、タイ、ベトナム、ミャンマー、バングラデシュ、インド、ネパール、パキスタン、スリランカ

【生息地】 乾燥林、サバンナ、砂漠生態系などの構成要素である。砂地、岩地、石灰岩地、有機粘土、沖積地でよく見られる。年平均降雨量 400～1500 mm。

【生産物】 食品（発芽させた種子は野菜として食される）、飼料（葉、柔らかいシュート、豆果は、山羊、羊、牛の飼料となる。ただし、シアン化水素を含むため、単独の飼料とはしない）、燃料、繊維（内樹皮から取れる繊維は、漁網、縄の材料となる）、材木、ゴム（幹と根の樹皮から抽出される）、タンニン・染料（葉と樹皮から抽出される）、アルコール（樹皮）、薬（ゴム）

【機能】 日除け、防火、荒廃地緑化、窒素固定（根に *Rhizobium* 属の根粒菌が共生している）、観賞、間作



写真 4-2. *Acacia leucophloea* (モデル林造成候補地, Oelnasi 村)

### 3. *Cassia siamea* Lam. (Fabaceae マメ科)

【異名】 *Senna siamea*

【インドネシア名】 johar, bujuk, dulang

【英名】 kassod tree, Thai copper pod, Bombay blackwood, yellow cassia

【和名】 タガヤサン (鉄刀木)

【特徴など】 樹高 18 m、幹直径 30 cm、常緑樹

【天然分布】 マレーシア、タイ、カンボジア、ラオス、ベトナム、フィリピン、ミャンマー、インド、ネパール、スリランカ等

【生息地】 乾季が 4~8 か月を超えるところでは見られない。水はけがよく肥沃な pH 5.5~7.5 の土壌で最もよく育つが、ラテライト性土壌でも育つ。塩類土壌には耐性がない。年平均降雨量 400~2800 mm。

【生産物】 食品 (タイでは、若い果実と葉が野菜として食される)、飼料 (ただし、アルカロイド等の二次代謝物が非反芻動物にとっては有害である)、燃料、材木 (シタン、コクタンとともに唐木三大銘木の一つ)、タンニン、薬 (果実)

【機能】 侵食防止、日除け、防風、荒廃地緑化、土壌改良 (葉を緑肥として用いる。外生菌根を形成する。)、観賞、生垣、間作



写真 4-3. *Cassia siamea* (Oelnasi 村)

#### 4. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae マメ科)

【インドネシア名】 lamtoro, klandingan, pelending, petai cina

【英名】 white lead-tree, white popinac, horse tamarind, lead tree, wild tamarind

【和名】 ギンネム、イピルイピル

【特徴など】 樹高 3~15 (max. 20) m、幹直径 10~50 cm、白い花を咲かす。種小名は、ギリシャ語で白い leukos と頭 kephalos に由来する。

【天然分布】 コロンビア、コスタリカ、エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、メキシコ、ニカラグア、パナマ等

【生息地】 乾季が 6~7 か月を超えない亜湿潤あるいは湿潤気候でよく成長する。石灰質土壌で最もよく育つが、塩類土壌や pH 8 までのアルカリ性土壌でも見られる。酸性土壌や湛水には耐性を持たない。年平均降雨量 650~3000 mm。

【生産物】 食品（豆果、種子、葉）、飼料（熱帯では、最も高品質で味がよい飼料木である。ただし、高濃度のタンニンとミモシン等のアルカロイドが非反芻動物にとっては有害である。）、養蜂、燃料、繊維（パルプ）、材木、ゴム、染料（豆果、葉、樹皮から抽出される）

【機能】 侵食防止、日除け、防風、荒廃地緑化、窒素固定、土壌改良（緑肥）、観賞、生垣、間作



写真 4-4. *Leucaena leucocephala* (モデル林造成候補地, Nekbaun 村)  
家畜の飼料として採取するためか何度も葉が刈り取られた跡がある

5. *Mimosa catechu* L.f. (Fabaceae マメ科)

【異名】 *Acacia catechu*

【英名】 black cutch, catechu tree, cutch tree, betel-nut palm, heartwood

【和名】 アセンヤクノキ (阿仙薬)

【特徴など】 樹高 15 m、トゲあり、種小名は、皮なめし・染色・収斂剤などに用いる生薬 *kachu* (マレー語) が心材から抽出されることに由来する。カテキン *chatechin* も同じ語源。

【天然分布】 タイ、ミャンマー、インド、ネパール、パキスタン

【生息地】 乾燥した地域で川岸の砂質土壌などによく見られる。砂質土壌、れき質沖積土壌、ローム土壌、粘土土壌等、幅広い土壌で育つ。年平均降雨量 500~2000 mm。

【生産物】 食品 (種子)、飼料 (山羊、牛の餌となる)、燃料、材木、タンニン・染料 (心材から *cutch* と呼ばれる生薬が抽出される)、ゴム (樹皮から滲出する)、薬 (心材、樹皮、種子)、

【機能】 柵 (トゲのある枝)



写真 4-5. *Mimosa catechu* (モデル林造成候補地, Oelnasi 村)

6. *Mimosa saman* Jacq. (Fabaceae マメ科)

【異名】 *Samanea saman*, *Albizia saman*

【インドネシア名】 Trembesi

【英名】 monkey pod, rain tree, cow tamarind, cow bean tree, giant thibet, saman tree

【和名】 アメリカネム、アメフリノキ

【特徴など】 樹高 30 (max. 60) m、幹直径 4.5 m、半落葉樹

【天然分布】 ボリビア、ブラジル、ペルー等

【生息地】 中性から弱酸性の土壌で見られ、pH 4.6 まで生育可能である。やせ地や湛水に耐性を持つ。年平均降雨量 600~3000 mm。

【生産物】 食品（豆果）、飼料（豆果）、燃料、材木、ゴムと樹脂（樹皮）、薬（内樹皮、葉）

【機能】 日除け、窒素固定（根に *Rhizobium* 属の根粒菌が共生している）、土壌改良（緑肥）、観賞



写真 4-6. *Mimosa saman* (苗畑)

7. *Pterocarpus indicus* Willd. (Fabaceae マメ科)

【インドネシア名】 kayu merah, angsana, sonokembang

【英名】 narra, prickly narra, smooth narra

【和名】 インドシタン (紫檀)

【特徴など】 樹高 33 m、幹直径 2 m、乾季がある地域では、落葉性になる。多くのマメ科植物と異なり、果実が裂開せず、風によって散布する。属名は、ギリシャ語で翼 pteron と果実 karpos に由来する。

【天然分布】 マレーシア、カンボジア、ベトナム、フィリピン、ミャンマー、パプアニューギニア等

【生息地】 主に中性から弱酸性の砂壤土あるいは埴壤土で見られる。年平均降雨量 900～2200 mm。

【生産物】 食品 (若葉と花)、養蜂、燃料、材木、染料 (木材から赤色の染料が取れる)、薬 (葉)

【機能】 日除け、窒素固定、観賞

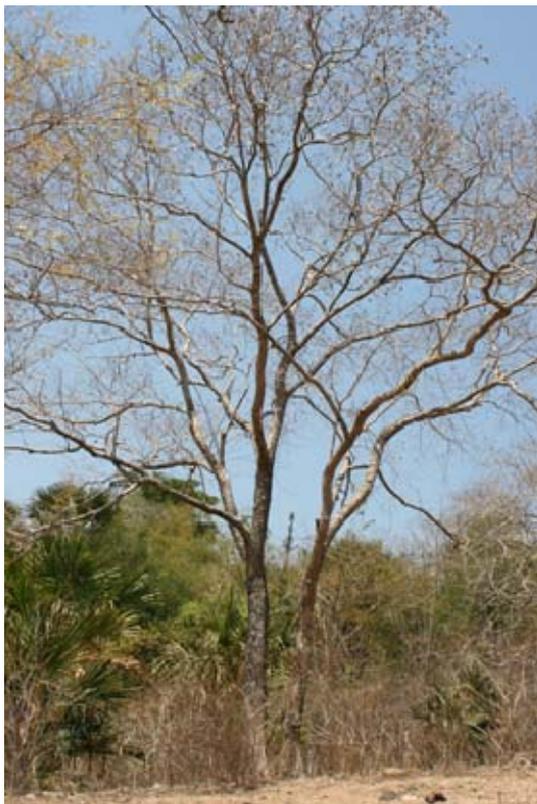


写真 4-7. *Pterocarpus indicus* (モデル林造成候補地, Oelnasi 村) 左: 樹形、右: 果実

8. *Tamarindus indica* L. (Fabaceae マメ科)

【インドネシア名】 asam, asam jawa, tambaring

【英名】 tamarind tree, Indian date, madeira mahogany

【和名】 タマリンド

【特徴など】 樹高 30 m、幹直径 1~2 m、常緑樹、一属一種、属名は、アラビア語でインドのナツメヤシ tamar hind に由来する。

【天然分布】 ブルキナファソ、中央アフリカ、チャド、エチオピア、ギニア、ケニヤ、マダガスカル、マリ、モザンビーク、ニジェール、ナイジェリア、セネガル、スーダン、タンザニア、ウガンダ、ジンバブエ等

【生息地】 半乾燥地域を好む。ほとんどの土壌タイプで成長するが、水はけのよい沖積土壌を好む。年平均降雨量 350~1500 mm。

【生産物】 食品（果肉は、生食の他、ジュース、ジャム、シロップ、キャンディー、ソース等の材料となる）、飼料（葉、種子）、養蜂、燃料、材木、脂質（種子から油が取れる）、タンニン・染料（葉と樹皮から抽出される）、薬（樹皮、葉、種子）

【機能】 日除け、防風、生垣、観賞



写真 4-8. *Tamarindus indica* (左：モデル林造成候補地, Nekbaun 村、右：Oelnasi 村)

9. *Gmelina arborea* Roxb. (Lamiaceae シソ科)

【インドネシア名】 Jati putih

【英名】 gmelina, yemane, white teak, beechwood, goomar teak, Kashmir tree

【和名】 メリナ

【特徴など】 樹高 30 m、幹直径 4.5 m、落葉樹、属名は、18 世紀の植物学者 J. C. Gmelin に、種小名は、ラテン語で高木 arbor に由来する。

【天然分布】 タイ、カンボジア、ラオス、ベトナム、ミャンマー、バングラデシュ、インド、ネパール、パキスタン、スリランカ等

【生息地】 水はけの悪い土壌は好まない。乾燥土壌や砂質土壌などの痩せた土地では、乾燥による先枯れで低木になりやすい。湿潤、肥沃で水はけのよい土壌、酸性土壌、石灰質土壌、ラテライト性土壌を好む。年平均降雨量 750~4500 mm。

【生産物】 食品（果実）、飼料（葉、果実）、燃料、養蜂、繊維（パルプ、パーティクルボード）、材木、染料（木灰、果実）、薬（樹皮、葉、根）

【機能】 荒廃地緑化、観賞、間作



写真 4-9. *Gmelina arborea* (BP-DAS 事務所)

10. *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae センダン科)

【インドネシア名】 mahoni, mahogani

【英名】 big leaf mahogany, Brazilian mahogany, large-leaved mahogany

【和名】 オオバマホガニー

【特徴など】 樹高 30~40 (max. 60) m、幹直径 1 (max. 3) m、属名は、18 世紀の植物学者 Gerard von Swieten に由来する。

【天然分布】 ボリビア、ブラジル、コロンビア、コスタリカ、エクアドル、グアテマラ、ホンジュラス、メキシコ、ニカラグア、パナマ、ペルー、ベネズエラ等

【生息地】 水はけのよい土地を好む。年平均降雨量 1600~2500 mm。

【生産物】 材木、ゴム（樹皮）、タンニン・染料（樹皮から抽出される）、脂質（種子から油が取れる）、薬

【機能】 日除け、荒廃地緑化、土壌改良（果実殻が培養土として使われる）、観賞、間作



写真 4-10. *Swietenia macrophylla* (苗畑)

1 1 . *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae フトモモ科)

【インドネシア名】 ampupu, popo

【英名】 Timor mountain gum, Timor white gum

【特徴など】 樹高 45 m、幹直径 2 m、常緑樹、種小名は、ギリシャ語で尾 oura、葉 phullon に由来する。

【天然分布】 インドネシア (ティモール島を含む)

【生息地】 火山岩あるいは変成岩由来の厚く湿潤で水はけのよい酸性あるいは中性の土壌でよく育つ。年平均降雨量 1000~1500 mm。

【生産物】 燃料、繊維 (パルプ)、材木 (ティモールでは、重量構造物、架橋、床板、骨組に使われる)、タンニン (樹皮から抽出される)、精油 (葉)

【機能】 荒廃地緑化



写真 4-11. *Eucalyptus urophylla* (苗畑)

## 1 2. *Santalum album* L. (Santalaceae ビャクダン科)

【インドネシア名】 cendana

【英名】 Indian sandalwood, sandalwood, sandal tree, cendana

【和名】 ビャクダン（白檀）

樹高 4 (max. 20) m、幹直径 80 cm、常緑樹、属名は、ギリシャ語でビャクダン santalon に、種小名は、ラテン語で白い albus に由来する。

【天然分布】 インドネシア、オーストラリア、インド

【生息地】 主にティモール島、スンバ島（インドネシア）とインドなどの乾燥熱帯地域に分布している。幅広いタイプの土壌で育ち、砂質土壌や岩の多い赤色土でよく見られる。ティモールでは、サンゴ母材で水はけがよく pH 8~9 の灰色埴土や赤色ローム土で生育している。乾燥耐性を持つが、長期の乾燥や山火事では枯死する。年平均降雨量 450~3000 mm。半寄生植物で、他の樹木の根に寄生するため、周りに宿主植物を必要とする。宿主植物としては、窒素固定をし、日陰を提供するものを好む。インドでは、*Cassia siamea* が宿主として使われている。

【生産物】 食品（果実）、飼料（葉が兔、羊、山羊、牛、豚、馬、ラクダの餌となる）、燃料、材木（心材は装飾や彫刻に使われる。また、線香の原料となる。）、タンニン（樹皮から抽出される）、精油（心材や根から蒸留こされ、香水、石鹸、薬に使われる）

【機能】 防風、土壌改良（緑肥）、観賞、生垣、間作



写真 4-12. *Santalum album*（苗畑） 右：宿主植物

### 3) 熱帯モンスーン気候下の乾燥地における植林技術

国際緑化推進センター 森 徳典

#### 1. はじめに

乾燥地域は地球の陸地面積の約 40%を占めているといわれている（吉川 2004）。このうちアジア地域の熱帯乾燥地域、特に中緯度乾燥地域については国際緑化推進センターの黄砂対策緑化の報告書（2009）に詳説されている。ここでは本事業において植林試験が実施される熱帯モンスーン気候下での季節的な乾燥期間のある地域における植林技術について述べる。

本事業のモデル事業試験地である南カリマンタンの石炭発掘跡地（酸性土壌）及び西チモール島の農業地開発跡地（弱アルカリ性土壌）の 2 か所の気候条件を比較すると、気温は年平均 27.5℃前後（23～33℃）でほとんど同じであるが、雨量が違う。前者の州都であるバンジャルマシン市と後者の州都であるクパン市の月別降水量分布は図 14-1 に示すとおりである。バンジャルマシン市の年降雨量が 1,816mm、月 100mm 以下の月は 6 月～9 月の 4 か月であるが、50mm 以下の月は 8 月のみで、一応熱帯降雨林気候に属するといえる。このような地域では現在熱帯地域で行われている方法に加えて、特に水分欠乏に配慮する植林技術上の問題は少ないといえる。

一方、西チモールのクパン市周辺は熱帯モンスーン気候で、年雨量は 1,120mm あるが、そのほとんどは 12 月から 3 月の雨季に集中し、乾季の 4 月から 10 月までの月雨量は 50mm を下回っている（乾季の合計雨量約 83mm）。なお、1997 出版の *Ecology of Nusa Tenggara and Maluku* (K.A. Monk *et al.* 1997) によれば、クパン市の 1980 年の平均年降水量は 1,700mm 強で、乾季の長さは同じであるが、乾季の雨量は 300mm を超えており、近年はより乾燥化が進んでいると思われる。熱帯地域の閉鎖林からの 1 か月の蒸発散量は約 100mm、草地からの蒸発量は約 50mm 以下であるとされているので、クパン市近傍の森林地は 7 ヶ月の間は草地が成立する程度の少降水量しかない乾燥条件におかれている。

*Ecology of Nusa Tenggara and Maluku* によれば、現在の植林予定地（Nekbaun 村、Oelnasi 村）は共に乾燥落葉樹林帯に属するが、Nekbaun 村の近傍や谷間は湿潤落葉樹林帯も混じっていると考えられる。同書によれば、潜在的には落葉乾燥樹林帯であるが、現状は西チモールの約 3 割は乾燥灌木林（Belukar）で覆われているという。また、同島では 100 年以上前から、平地では移動耕作や放牧、さらには狩猟などのために、毎年林野への火入れが繰り返された結果、森林帯は消滅し、火災後に侵入する先駆性の灌木林やアランアラン等の草原（savana）になっていたと報告されている。人為の影響によって荒廃したヌサテンガラ地域の草原は、先駆性の灌木に加えて、次の中高木樹種が指標となるタイプの草原があるといわれている。すなわち①*Albizia chinensis*、②*Eucalyptus alba*、③*Melaleuca cajuputi*、④*Acacia sp.* ⑤*Causarina junghuhniana*、⑥*Zizyphus mauritiana*、⑦*Tamarindus indica*、⑧*Palm (Borassus flabellife, Corypha utan)* である（K.A. Monk *et al.* 1997）。

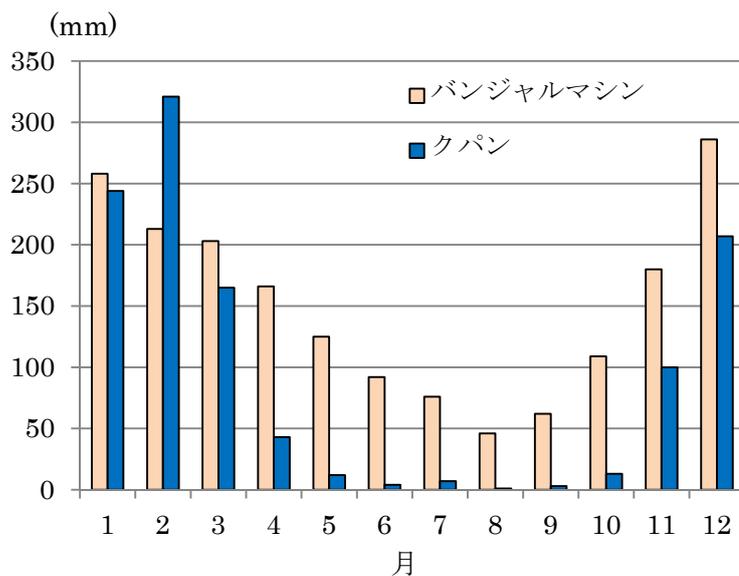


図 4-1. バンジャルマシンとクパンの月別平均雨量(mm)

このほかに西チモールの草原には、*Acacia farnesiana*、*Bauhinia malabarica*、*Cassia fistula*、*Schleichera oleosana* 等がみられるという (Adisoemarto 1982)。また、van Steenis (未発表、K.A. Monk *et al.* 1997) によれば、チモールの草原が人為影響から保全された時には、付近のモンスーン林の先駆性樹種の芽生えが侵入してくるとしている。それらは *Dillenia pentagyna*、*Pandanus* sp.、*Nauclea orientalis*、*Aegle marmelos*、*Causarina junghuhniana*、*Acacia leucophloea*、*Melaleuca cajuputi*、*Sesbania grandifolia*、*Eucalyptus alba*、*Tamarindus indica*、*Timonius sericeus*、*Borassus flabellifer*、*Corypha utan* など、それらの小群落がモザイク状に形成されるとしている。こうした樹種群は植林樹種選択の際の貴重な情報である。

森林の草原化を植物の物質生産—蓄積の面からみると、密林→疎林→草原→荒野となるに従って、単位面積当たりの植生が保有するバイオマス量が減少する。このことは、大気中の二酸化炭素ガスを植物群落内に蓄積する量が減少することを意味する。西チモール地区の荒廃草地を森林に復元することは、この地域の環境改善のみならず、地球環境保全にも大いに貢献する。以上のように農耕、放牧、火災等による荒廃草地に本来繁茂していた乾燥落葉樹林～湿潤落葉樹林を回復させることを目的として支援事業を実施するにあたっては、この地域に多い弱アルカリ性土壌（予備調査結果では pH7.5 前後の弱アルカリ性）への対応の他に、植林地の乾燥に対する技術的対応も欠かせない。そこで、ここでは月 100mm 以下の乾燥月が 6 か月以上継続し、年降水量が 1,000mm 前後しかない熱帯モンスーン乾燥気候地域における植林技術について述べる。熱帯モンスーン気候に基づくこのような乾燥地域はインドネシア東部のヌサテンガラ諸島地域の他に、大陸部のインドシナ半島（タイ中東部、ミャンマー中央部など）の内陸部にも見られる。

## 2. 乾燥した人為荒廃地の緑化支援の基本的考え方

生態的視点からみた荒廃地植林の究極の方向としては、その地域に本来の極相植生の回復が前提となるが、現に住民により土地利用がされている場所、あるいは直前まで利用されていた場所においては、最初に取りられるべき対策としては、荒廃化を現状で食い止める対策になると考える。半乾燥地における荒廃化あるいは砂漠化プロセスをもたらす要因としては、自然的要因が13%、人為要因が87%であるとされており（吉川他 2004）、ほとんどの場合が過放牧、過耕作、毎年の火入れなど人為要因であるといえる。クパン市周辺の灌木が散在する荒廃草地も例外ではない。従って、第一段階においては、多くの場合、人間活動の禁止ないし制限によって、自然植生遷移によって草地→灌木疎林地→灌木密林地→高木林地へと戻すことができる。しかしながら、上述の先駆性樹種群によるモザイク状群落が本来の熱帯モンスーン林に回復するには数百年は必要であろうと述べている(van Steenis in K.A. Monk *et al.* 1997)。この年数を短縮するのが植林であるともいえる。

西チモールのNekbaun村及びOelnasi村のモデル試験地はインドネシア林業省及び地域住民の賛同により森林地に回復させる予定地であるので、植林-保育に必要な人間活動以外の活動（農業、放牧、火入れ等）は行われなく、また森林火災防止や放牧動物の試験地への侵入を防ぐ対策も取られることになっている。そこでここでは、上記のような人為の影響が最小限である場合の熱帯モンスーン乾燥地における植林技術の基本的考え方について述べる。

## 3. 森林回復（緑化）の対策

一般に乾燥荒廃地での植生繁茂を制限する主要因は①水分の不足と②表土の移動にある。しかし、熱帯モンスーン乾燥地における人為荒廃地では、海岸砂地を除けば、表土の移動による植生定着阻害はほとんどないと考えられるので、ここではもっぱら水分の不足に対する対策、特に年雨量が1,000mm前後で、月雨量100mm以下の乾燥月が6か月を超える地域における植林時の対策について述べる。なお中緯度の半乾燥砂漠地帯の植生回復技術については、国際緑化推進センターの黄砂対策植生回復マニュアル（2008）に詳細情報がある。

### 3.1 植林木の乾燥耐性

#### A 植林樹種の選択

乾燥地域への植林には、乾燥気候条件に耐性のある樹種を選択することが第一条件である。一般論でいうと、先駆性樹種や陽樹が極相林樹種や陰樹に比べて、乾燥した裸地植林に適応できる。こうした熱帯乾燥地に耐性のある樹種については、年雨量や乾季の長さに応じた耐性樹種群が浅川（1999）によって、「熱帯の造林技術」テキストの表4、5などに掲載されているので、参照されたい。ここでは主としてインドネシアで造林実績の多い樹種および西チモールの平地に分布する、あるいはかつて生育していた樹種を中心に考察してみる。

月雨量 10mm 以下の 6~9 月の 4 か月間続く西チモールの乾燥気候に耐える樹種を選択する必要がある。植林樹種選択では、前節のインドネシアの代表的植林樹種の特長表(表 4-1)において、乾燥耐性の大きい樹種、乾季に落葉する樹種、あるいは本節のはじめで述べた先駆性樹種等が第一候補となる。特長表を基に、地元の要望と苗木の供給可能性から試験造林(2012 年)に選択された植林樹種は 8 樹種(*Casuarina junghuhniana*、*Swietenia macrophylla*、*Gmerina aborea*、*Tectona grandis*、*Entolobium cyclocarpum*、*Tamarindus indicus*、*Aleurites moluccana*、*Sterculia foetida*)である。これ以外に、樹種特長表から乾燥耐性が高いと思われる樹種を選ぶとすると、*Dipterocarpus alatus*、*Hopea odorata*、*Shorea roxburgii*、*Schima wallichii*、*Acacia auriculiformis*、*Gliricidia sepium*、*Leucaena leucocephala*、*Sesbania grandiflora*、*Schleichera oleosa*、*Azadirachta indica*、*Khaya senegarensis*、*Eucalyptus camaldulensis*、*Melaluca cajuputi*、などが考えられる。さらには本節冒頭で述べた草原タイプの指標中高木樹種や van Steenis が挙げている先駆性の高い樹種群などが挙げられる。こうした樹種群中から住民の要望が大きい樹種を植林候補として選ぶことが望ましい。

一般に乾燥気候下では、土壌の塩類濃度が高まり、アルカリ性に傾きやすい。このために、乾燥の厳しいところでは、乾燥耐性だけでなく、耐塩性及びアルカリ耐性の観点からも、樹種を選択する必要がある。西チモールの試験植林地は、幸いにして塩類濃度はそれほど高いとは観察されない上に、土壌 pH も中性に近いアルカリ性(pH7 台)であるので(3 章 2))、この面に関しては特に注意を払う必要は少ないと考える。なお、高塩類耐性やアルカリ耐性樹種については、浅川(1999)や Turnbull(1986)の書、および本報告 2 章(1)、4 章(2)に述べられている。

一方、樹木の利用面から考えると、*Swietenia macrophylla*、*Pterocarpus indica*、*Mangifera indica*、*Ceiba pentandra*などは若干乾燥耐性が劣っても、次節で述べる健全な苗木を用いて、雨季に速やかかつ十分な根張りを促進させれば、たとえ乾季に成長が停滞したとしても、枯死することは避けうると思われる。また、上記のフタバガキ科の樹種(*Shorea*、*Hopea*、*Depterocarpus*など)は比較的極相林的性質が強い(あるいは幼時に陽樹性が弱い)方に属するので、マホガニーなどと同様に扱うことが望ましい。これらの樹種では傾斜地の下方で水分条件が比較的良いと思われるところを選択するなど一つの手段であろう。

## B 苗木への乾燥耐性の付与

耐乾性の強い樹種を選択することは当然であるが、次に育苗段階で強光、乾燥に強い苗木を育てることも乾燥地植林ではとくに大切である。これには、一般に苗木のハードニング(硬化処理)と称している作業である。具体的には表 4-2 に示した処理をおこなうことであるが、育てる樹種やそれまでの育苗経歴によって、ハードニングの期間や強さを変える必要がある。したがって苗木の生育状態を観察しながら処理を実施することが望まれる。ハードニングは、このようにして乾燥と直射日光に耐えうるように苗木を順化することである。一方、苗木で十分な灌水や弱い光のもとで育った苗木は、一般に背丈は高いが幹は細く、葉は広く、根の発達が悪い苗木になりやすい(写真 4-13)。こうした苗木もハードニン

グにより、幹が堅くて太く、葉は小さく、根が十分に発達して、乾燥した裸地植林地での活着率の向上につながる（写真 4-14）。

表 4-2. 苗木のハードニング（硬化処理）

目的	乾燥や強光に抵抗性のある苗木を育て、活着率の向上を図る。
処理期間	野外植栽前 1～数ヶ月間（成長の早い樹種ほど短くてよい）
主な処理	1) 給水の制限 通常の灌水量を順次減らし、最終的には 1/2～1/3 の量とする。 2) 十分に日射に当てる。被陰下で育苗の場合は、順次日射量を上げ、最終的には全光下で育てる。 3) 野外植栽が近づくに従い、N 肥料を控え、K、P、Ca などの成分の多い肥料を与える。
苗木の主な形態的变化	1) 太くて硬い茎の苗木となる（上長成長の抑制） 2) 硬くて小さい葉となる（蒸散量が少ない） 3) 根の発達が促される（T/R 率が小さくなる）

また、地面に直接ポット苗を置いて育苗するときは、定期的にポットを移動させて、ポット下部から地中へ出た根を切断してやるのが大切である（写真 4-14） 宙づり育苗棚の場合はポット底部から出た根は自然に枯れるので、この操作は通常不要である。乾燥地植林に限らないが、主根がポット内でとぐろを巻いて絡み合うほどの長期間の育苗や、逆に根の発達が不十分で、植林時にポットを破いたとき、根の周りの土がこぼれ落ち、裸根同然となるような短期間（あるいは暗い被陰下での）育苗は避けるべきである。



写真 4-13. 被陰下で育った根の発育の貧弱な苗木



写真 4-14. 裸地条件で育てた苗木  
ビニールポットを破いても根玉がしっかりできている。

定期的な床移動で地中への根は切除する。

育苗に関しては、乾燥耐性の小さい樹種や根の再生、伸長が遅い樹種ほど、乾燥耐性がある健全な苗木の育成が肝要である。また、菌類等の接種による苗木の耐乾燥性等の増大については2章2)で述べられているので参照されたい。

### 3.2 水分不足（乾燥）に対する対策

植林地の水分不足に対する対策には、以下のA)～C)が考えられる。

#### A) 植栽苗木への水の供給を増やす対策

##### ① 植栽季節を選択する

常識的なことであるが、雨季の初期に植林をすることが、熱帯モンスーン気候のもとでは最も大切である。植える植物の側からみると、乾燥耐性が大きい成長停止期（乾季）から雨期に入って根や芽が動き始める前に植林をするのが理想的である。モンスーン気候下の樹木は雨期になるとすぐに活動を開始する傾向がつよいので、乾季の終了後なるべくすみやかに植林できるように準備する。西チモールの場合、雨季は12月～3月であるので、遅くとも1月中には植林が終える（図4-1）。これによって雨季が終わるころまでに十分な根の伸長が期待できる。また、乾季の植え穴準備は、土中への雨水の浸透を増し、かつ耕耘による土壌の水分保持力の向上につながる所以重要である。これによって、苗木は植林後の一時的な乾燥に耐えると共に、速やかな活動再開が期待できる。ミャンマーの中央乾燥地帯における植林では、雨季後最初の雨は見送って、2度目の雨が到来したら植林するそうである。これは最初の雨の後、しばらく降雨がない年があるそうで、雨季到来を十分に確かめる手段であるという。

##### ② 給水（灌水）をする

常時の給水：年降水量が1,000mmを超え、雨季が5カ月前後続くような熱帯モンスーン気候下では少ないが、より乾燥の厳しい半砂漠地帯では、ワジや川の水をダムなどで貯水し、用水路、パイプ等で導水して利用する、あるいは湧水や地下水を汲み上げて利用するなどの常設の灌漑施設による給水法である。これは、一般には、農作物や果樹栽培地に対して施設されていて、樹木や植林地に対しては、このような施設が単独で設置される例はほとんどない。多量の常時灌水は、土中の塩基類を土壌表層に集積させることがあるので、これを防ぐ意味でドリップ式給水法が農作物や果樹などに行われている例は多量（吉川他2004）、林業では実験的な試みに止まることが多いようである。

一時的な給水：乾燥地の植林における給水の場合は、植林と同時にあるいはその直後に1～数回程度の給水を実施し、一旦苗木が根付いたら、その後は自然にまかせることが多い。仮に植栽時期が遅れて、雨季の後半に植栽した場合には、できれば乾季のはじめの1～2か月の間は、10日に一度程度できるだけ多量（バケツ1杯程度）の水を与えることが推奨できる。しかし、これは特殊な場合であろう。

③ 降雨の集水、土壌への浸透、保持：

植林苗木や芽生え（直播の場合）の周りを低くしたり、周囲に低い堤を築いて雨水を誘導したりする方法(雨水のマイクロキャッチメント。(図 4-2、写真 4-15)、あるいは傾斜に直角に堤（低い土盛や石列、写真 4-16）や溝あるいはテラス（写真 4-17、図 4-3）を作り、雨水の流亡を防いで土中に浸透させる方法がある。

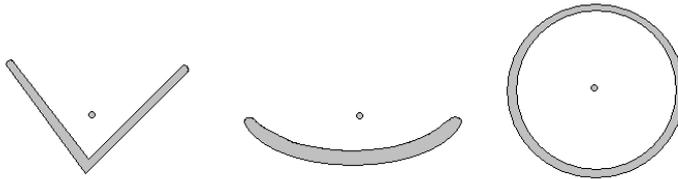


図 4-2. 代表的集水堤の例（上が傾斜上部）、左より解放型、魚鱗型、閉鎖型



写真 4-15. 植穴と角形集水堤（浅川、1999）



写真 4-16. 上流に湾曲させた集水土堤（ブルキナファソ）



写真 4-17. テラスへの植林（高麗、2004）

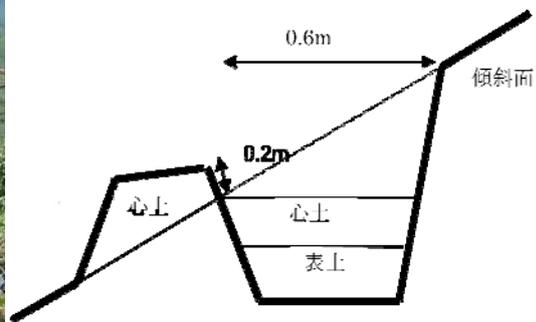


図 4-3. 黄土高原におけるテラス構造  
（藤森、2007）

このような集水法は、沙漠化防止が必要な厳しい乾燥地での植林作業に世界中で広く採用されている。テラスの場合は、乾燥が厳しいほどテラス間の間隔を広くとるなどの工夫により、集水面積を広げると共に、植林木の植栽密度を下げ、樹木の蒸散による面積当たりの水分消費を少なくする効果を期待している。

#### ④ 土壌の保水力を増す：

乾燥した荒地は表土が少なく土壌粒子による保水力が小さい傾向にある。そこでできるだけ大きく、深く耕した上で、保水力の大きい表土や堆肥などの有機物を植え穴の底に入れて、穴内の土壌の保水力を増すことが有効である。これは根の深部への伸長を促す効果もある。有機物の他に、木炭なども有効と言われている。保水剤（吸湿剤）の利用も一部では推奨されている場合もあるが、この場合は根の水分吸収力以上の吸水力を持つ保水剤であると、乾燥時には根から逆に水分を奪い取る可能性がある。奪い取らないまでも、水分補給の役目は果たさない。また、保水剤があるおかげで、根が保水剤の周りにしか発達せず、乾燥地の植物の特徴である深く、広く根が伸長することの妨げにもなる例もある。したがって、熱帯モンスーン気候程度の乾燥地では保水剤の利用は推奨できない。

上述の A)-③、④に関連して、ミャンマーの中央乾燥地帯（年雨量約 800mm、7 か月の 100mm 以下の乾季）では、幅 30cm、長さ 90cm の長方形の穴を傾斜に直角に掘る。深さは 30cm で中央部幅 30cm はさらに 30cm、計 60cm 深の大穴（写真 4-18）を乾季に掘り、表土と腐植土を中央底部に入れて埋め戻して置く。余った土は穴の傾斜下部に盛土して、雨水を集めるようにしておく。この穴は上述の A-3、A-4 の効果を十分に発揮できる。その上に、植林直後の給水ができる場所では 100%の活着と良好な成長が実現されている。

西チモールでは、乾燥の程度がミャンマーより弱いので、これほどまで丁寧な植林は必要ないと思われるが、参考にすべき技術である。

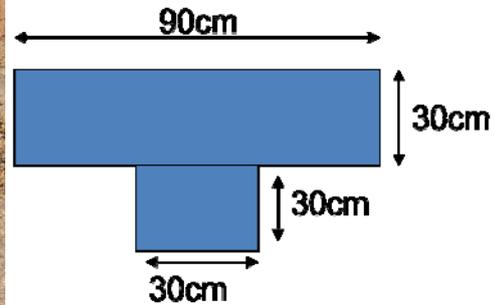


写真 4-18. ミャンマー乾燥地における大植穴とその断面図（右図）

穴幅は 30cm、表土と腐植土を中心部に入れる。写真の植え穴の左側が表層土、右側が心土。心土の一部で斜面下部（右側）に小さい堤を作り、集水する。苗木は苗高 1m 弱の大苗を用いる。

## B) 土壌や苗木からの水分蒸散の防止

### ① 土壌からの水分蒸散の防止：

土壌面からの水分蒸発防止には、土壌表面に日光が直接照射しないようにするために、マルチングを行うことが多い。通常は草などの有機物を植栽木の周りに敷き詰める草マルチが多い（写真 4-19）が、場合によっては小石や砂でもよい。中緯度地域の砂丘地帯では、表層の砂は乾燥してさらさらであるが、10cm も掘ると湿り気が十分にあることが多い。これにヒントを得て、耕地表面に砂を敷き詰める砂田農耕が中国西北部で行われている（小泉他 2000）が、直射日光の強烈な熱帯などでは、砂の高温により根元が高温傷害を起こす危険性がある。後述する荒廃地へ直節種子を播種する直播植林と小石による蒸散防止を組み合わせた例もある（写真 4-21）。また、地下水の土壌表面からの発散を防ぐために、砂でなく、土壌表層を浅く耕耘して、土壌の毛細管を切断する操作も有効であるといわれてい

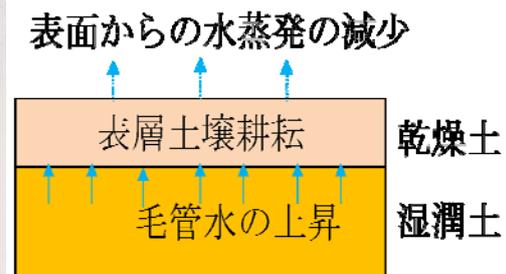


写真 4-19. 草マルチングの例（浅川、199） 図 4-4. 土壤毛管水の表層耕耘による切断  
 する（図 4-4）。西チモールでは草など有機物によるマルチングができるのであれば実施する  
 とよいと思われる。

② 植栽苗木からの水分蒸散を防ぐ：

植林の場合、植栽直後の苗木の水分収支のバランスを良好に保つことが大切である。特  
 に移植により苗木の植栽をした場合には、根が伸長するまでのしばらくの間、根からの給  
 水量が制限されているので、その間はできる限り葉や小枝などからの水分蒸散を防ぐこと  
 が大切である。そのためには、落葉樹にあつては、葉が芽吹く前の落葉期に植林するのが  
 望ましい。開葉期や常緑樹で萌芽力のある樹種にあつては、摘葉による葉の一部あるいは  
 全部の除去やシュートの上部を切断除去（スタンプ苗）して、苗木からの水分蒸散面積を  
 できるだけ少なくして植林する方法もある（図 4-5）。スタンプ苗はタイにおけるチーク植  
 林で有名であるが、落葉性の広葉樹であれば、萌芽力が強い上に、乾季に幹や根に十分量  
 の貯蔵養分を蓄えているので、葉の光合成によるエネルギー補給に頼らなくても、十分に  
 根や芽の伸長が可能である。このような生理体制のある樹種では、裸地植林にはスタンプ  
 苗の利用が推奨できる。そのような樹種として浅川（1995）は表 4-3 のような樹種を挙げて  
 いる。なお、この表の樹種でも、スタンプ苗移植に対して適応性の強弱があり、クマツヅ  
 ラ科の樹種に比べると、フタバガキ科の樹種は弱い部類に属する。また、前提条件として、  
 適正にハードニングされた苗木を用いることは、いずれの樹種でも大切である。

表 4-3. スタンプ苗植林が利用できる樹種

科名	樹種名
ウルシ科	<i>Spondias mangifera</i>
キョウチクトウ科	<i>Alstonia</i> sp.
キワタ科	<i>Bombax malabaricum</i> 、 <i>Ceiba pentandra</i>
ムラサキ科	<i>Cordia alliodora</i>
シクンシ科	<i>Terminalia</i> sp.
フタバガキ科	<i>Shorea roxburghii</i> 、 <i>Hopea orodata</i> 、 <i>Vatica odorata</i>
トウダイグサ科	<i>Bischofia javanica</i>
マメ科	<i>Acacia</i> sp.、 <i>Cassia</i> sp.、 <i>Dalbergia</i> sp.、 <i>Erythrina</i> sp.、 <i>Gliricidia</i> <i>sepium</i> 、 <i>Leucaena luecocephala</i> 、 <i>Pterocarpus</i> sp.、 <i>Xylia</i> sp.
ミソハギ科	<i>Lagerstroemia speciosa</i>
センダン科	<i>Azadirachta indica</i> 、 <i>Cedrela</i> sp.、 <i>Khaya</i> sp.、 <i>Lovoa</i> sp.
クワ科	<i>Chlorophora excelsa</i>
アカネ科	<i>Adina cordifolia</i>
アオギリ科	<i>Triplochiton scleroxylon</i>
クマツヅラ科	<i>Gmerlia arborea</i> 、 <i>Tectona grandis</i>



写真 4-20. 林間植林（浅川、1999）

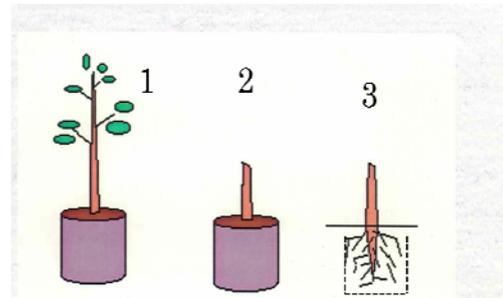


図 4-5. スタンプ苗木の例。

- 1：通常のポット苗木、
- 2：苗木地上部の切断・運搬、
- 3：ポットを除いて林地に植えた状態

植林密度は若い樹林の場合にはそれほど問題にならないであろうが、数年以上を経過した植林地では、土壤水分あるいは降水量に対して植林樹種本数が多すぎると、水分不足のために樹冠上部が枯れるダイバックが生じたり、時には植林木全体が枯れたりする場合がある。また、水源林などとなっている場合には、乾季の湧水量が減少する恐れがある。したがって、年降水量に見合った植林密度を選択することが望ましい。一般には中高木であれば、年降水量 1,000～1,200mm を下回った場合、すなわち月 100mm の閉鎖林分蒸発散量を下回った場合には、閉鎖林の造成は難しいであろう。この場合は年雨量 1mm あたり 1 本/ha 程度、すなわち 500mm なら 500 本/ha 程度を目安とするとよい。

西チモールの気候条件は、上述のとおり、年間の総雨量は 1,100mm 前後あるので、乾性の高木閉鎖林が成立しうる雨量条件にある。一方、1,000mm 以下の場所（スンバ島、ウエタル島、ミャンマー中央部など）では、せいぜい数百本/ha 以下の密度の疎林となるであろう。ミャンマー乾燥地帯（年雨量 800mm 前後）では、750 本/ha である。

その他に直射日光が当たらないように、被陰樹下に植える（写真 4-20）。あるいは被陰物を構築（例えば竹籠やネットで囲う）して水分蒸発を防ぐ試みもある。しかし人工物による被陰は街路樹や庭園樹などに限られるだろう。また、被陰下で栽培する必要があるコーヒー、ココアなどのアグロフォレストリーでは、被陰樹の利用は有効な手段である。

### C) 直播き、直挿木による植林

乾燥地や荒廃地においては、直播き植林が有効な場合がある。荒廃地等では雑草の繁茂も少ないので、芽生えが雑草との競争に負けることが少ないという特徴があることと、発根した根が自然に下方に伸びていくため、一旦定着すると少々の乾燥で枯死することはないという（野田 2000）。直播を成功させる条件として、上記に述べたようないくつかの植林時の対策と組み合わせることも重要である。例えば、テラスや溝の構築+石マルチングの実

施（写真 4-21、塩水流 2003）などと組み合わせて直播きして成功した例がある。また、利用する樹種としては、比較的種子が大型で、芽生えの成長が早いこと、裸地に生育可能なパイオニア樹種などである。比較的種子が大きく、ある程度以上の降雨があるとすぐに発芽する半砂漠性の草本（たとえばヨモギの一種、沙蓬）を散布して、飛砂、流砂を防止する試みが行われている。広範囲に緑化を進める場合に、飛行機からの空中播種（飛播造林）をする方法が中国等では行われている（吉川他 2004）。

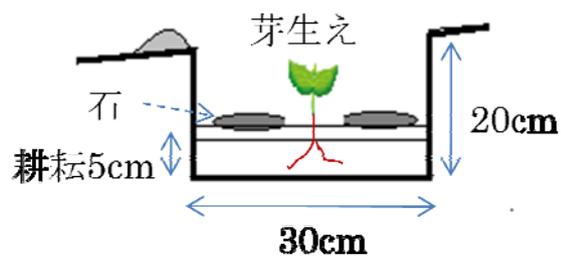
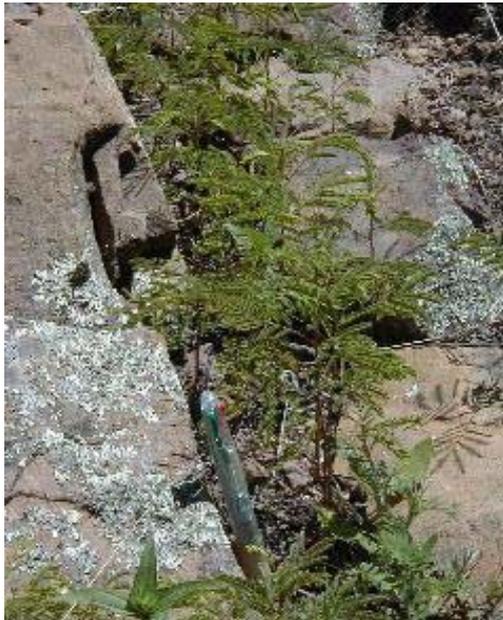


写真 4-21. トレンチ内に直播されたアカシア sp.と石マルチング。右図はその縦断模式図（ボリビア、塩水流、2003）。

裸地への直挿しによる植林は発根率が高いポプラや柳では、春の発芽前の太い棒状の挿し穂を砂地に深く挿す方法が中国等の乾燥地では広く用いられている。熱帯地域でも、*Gliricidia sepium*、*Caliandra calothyrsus*、*Gmelina aborea*、*Pterocarpus indicus*、*Peronema canescens*などは挿し木が容易で、生垣や境界柵などに一部で用いられている。

#### 4. おわりに

ここで取り扱った熱帯モンスーンの乾季が 6 か月以上の季節的乾燥地における植林技術対策について、年降雨量が 1,000mm を超える地域（インドシナ半島の内陸部の熱帯モンスーン地域、ジャワ島東部、ヌサテンガラ州諸島の西部（今回の試験地クパン市など）と 1,000mm に満たない地域（インドネシア国ヌサテンガラ州諸島の東部、ミャンマー中央部など）に分けて対策を取ることが、経済、効率面で望ましいと考える。

西チモールのように年降雨量が 1,100mm 強もあるところでは、以下の乾燥地植林技術に留意することを推奨する。

- 1) 耐乾燥性のある樹種を選択すること

- 2) 雨季の始め、遅くとも雨季終了の3か月前までに植林を終える。そのためには植え穴等の植林準備は乾期のうちに終えるのが望ましい。
- 3) 植え穴の下部には表土や腐葉土などを混じ、根の深部への伸長を促進する。
- 4) 育苗時に根切りやハードニング処理を施した裸地移植に強い苗木を用いる。
- 5) 雨季の終わりから乾季のはじめにかけて、下草刈りを実施し、野火の延焼や家畜の侵入を防ぐとともに、刈り取った草でマルチングを行い、苗木周囲の土壌からの水分蒸発を防ぐ。

次に年雨量が 1,000mm 以下の乾燥地では、以上の他に、先に述べたミャンマーの中央乾燥地やアフリカのサヘル地域で行われているような、①雨水のマイクロキャッチメントの造成、②大きな植穴、そして③灌水、特に植林時、さらには④樹種によっては被陰（樹下植栽）などが有効であろう。また、このような乾燥地では高木林の密林を形成することは困難であるので、⑤植林密度を ha 当たり数百本以下に下げる必要がある。さもないと活着しても水分不足のために、枯死する個体が増えたり、樹冠のダイバックが起きたりする。

## 引用文献 (50 音順)

- 浅川澄彦 (1999) 熱帯の造林技術 国際緑化推進センター 137pp.
- 小泉 博、大黒俊哉、鞠子 茂 (2000) 草原・砂漠の生態、生態学への招待シリーズ、共立出版 250pp.
- 国際緑化推進センター (2009)。黄砂対策植生回復技術マニュアル (砂漠化対策と乾燥地の緑化)、国際緑化推進センター、203pp.
- 高麗泰行 (2004) 中国四川省における造林事例の紹介、熱帯林業 N.S.61 : 53-60
- 野田直人 (2000) タガヤサン (*Cassia siamea*) の直播き造林 (続報) 一半乾燥地の高リスクに対応した適正技術一、熱帯林業 N.S.48 : 53-58
- 藤森末彦 (2007) 中国・黄土高原の植林技術、熱帯林業 N.S.69 : 48-56
- 塩水流隆道 (2003) 直播造林の試みーボリビア、アタリハ溪谷住民造林・浸食防止プロジェクト、熱帯林業 N.S.58 : 31-40
- 吉川 賢・山中典和・大手信人編著 (2004) 乾燥地の自然と緑化 ー砂漠化地域の生態系修復に向けてー 共立出版 233pp.
- Adisoemarto、 S. (1982) Sumber daya alam di Camplong dan Sekitarnya、 Kecamatan Futule'u-Kabupaten Kupang Timor、 NTT. Lembaga Biologi Nasional、 Indonesia
- Kathryn A. Monk、 Yance De Fretes、 Gyatri Reksodiharjo-Lilley (1997) The Ecology of Nusa Tenggara and Maluku、 Periplus Editions (HK) Ltd. 966pp.
- Turnbull、 John W. (1986) Multipurpose Australian Trees and Shrubs. Australian Center for International Agriculture Research. 316pp.
- van Steenis (1997) 未発表、前書 (K.A. Monk *et al.* 1997) にて引用.

## 第5章 インドネシアにおける石炭生産の現状と法規制

国際緑化推進センター 仲摩 栄一郎

### 1) インドネシアにおける石炭生産の現状

#### 1. インドネシアの石炭生産量、輸出量、国内消費量の現状

アジア太平洋地域の石炭需要の増大により、インドネシアの石炭生産量は、1990年の1,050万トン、2000年の7,644万トン、そして2010年には2億7,516万トンとここ20年で約27倍に飛躍的に増加した（表5-1）。

2011年の予想生産量は3億2,700万トンであり、生産量の年間増加率が1.5%であると想定すると、2014年には3億4,200万トンまで増大する見通しである。石炭の国内消費量は、2011年の予想消費量7,900万トンから徐々に上昇して、2014年には1億400万トンに達する見通しである。したがって、石炭の輸出量は、今後4年間、概ね2億4,000万トンの水準を維持する見込みである（インドネシア共和国エネルギー・鉱物資源省鉱物・石炭総局）。

表5-1. 2004～2010年におけるインドネシアの石炭生産量、輸出量及び国内需要量

年	生産量（トン）	輸出量（トン）	国内消費量（トン）
2004	132,352,025	93,758,806	36,081,734
2005	152,722,438	110,789,700	41,350,736
2006	193,761,311	143,632,865	48,995,069
2007	216,946,699	163,000,000	61,470,000
2008	240,249,968	191,430,218	48,926,681
2009	256,181,000	198,366,000	55,790,000
2010	275,164,196	208,000,000	67,000,000

出典：インドネシアエネルギー・鉱物資源省鉱物・石炭総局（2011）

#### 2. インドネシアの石炭輸出量の現状

2010年時点で、インドネシアは石炭生産量の約75%を、主に日本、インド、韓国や台湾等に輸出している。2010年のインドネシアの石炭輸出量は、2億800万トンで世界第2位となっており、インドネシア経済において重要な輸出資源の1つである。このうち約17%が日本へ輸出されており、我が国にとって重要な輸入国となっている。

なお、石炭輸出量の第1位はオーストラリアで3億5,200万トン。一方、世界一の石炭生産国である中国はわずか4,700万トンで第7位となっている。

残る約25%が国内需要である。国内需要の最大手は電力産業で約8割を占めており、次にセメント産業が約1割、残りを繊維、紙パルプ等のその他の部門が占めている。インドネシア国内では、最近の経済発展によりエネルギー危機の状態にあり、さらなる電気エネ

ルギーを必要としており、今後、国内消費量は徐々に増加する見通しとなっている。

### 3. インドネシア国内での石炭生産の現状

インドネシアでは様々な国内企業によって石炭生産及び開発が行われているが、拠点がカリマンタン島に集中している。中でも特に活発なのが東カリマンタン州と南カリマンタン州である。

本事業で実証調査の対象地域とした南カリマンタン州の石炭潜在量（ポテンシャル）は、資源量が計 122 億 6356 万トン（11.7%）、埋蔵量が 36 億 436 万トン（17.1%）で、南スマトラと東カリマンタンに続いて第 3 位となっている（2011 年エネルギー鉱物資源省）。

### 4. 南カリマンタン州の石炭生産の現状

南カリマンタン州は天然資源が豊富なことで知られ、森林や漁業といった再生可能資源だけでなく、鉱物資源（特に石炭や鉄鉱石）も埋蔵されている。1970 年以降、これまで 30 年以上もの間、過剰な森林開発が行われてきた結果、森林資源は深刻な破壊を受けた。2000 年以降は、石炭生産が活発となり、その生産量は右肩上がりで見られている。

南カリマンタン州の石炭生産量は、2008 年時点で約 9,000 万トン（インドネシア全体の石炭生産量の約 35%）であり、経済におけるリーディングセクターの一つとして主要産品となっている（図 5-1）。

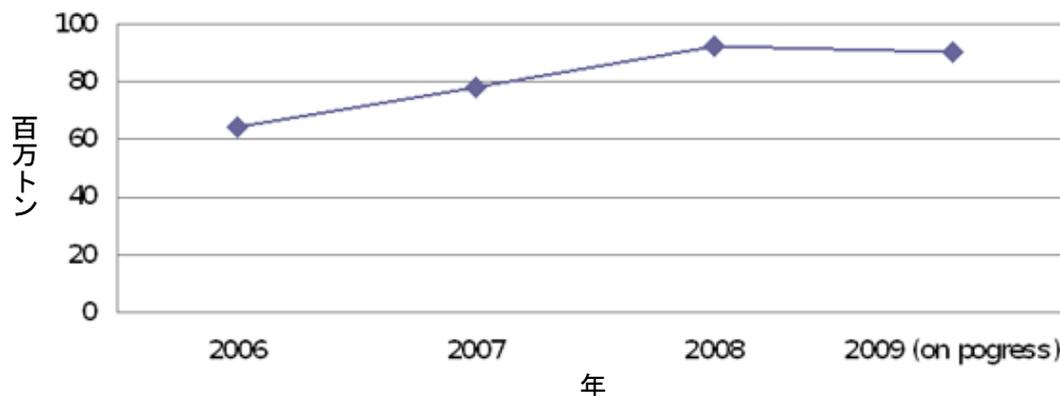


図 5-1. 南カリマンタン州の石炭生産量の推移（2011 年エネルギー鉱物資源省）

南カリマンタン州におけるこの非常に大きな石炭のポテンシャルは、特に石炭鉱業部門への投資において、投資家達を引きつけている。表 5-2 にあるように、2007 年だけでも 248,481.82 ヘクタール、つまり 55,639.52 km<sup>2</sup>ある南カリマンタン州の 0.23%の面積が、鉱業用に使用されている。

表 5-2. 2007 年南カリマンタン州における鉱業エリア面積

No.	土地利用	単位 (ヘクタール)
1	鉱業許可発行面積	228,556.25
2	採掘開業面積	8,810.22
3	再生面積	6,239.57
4	再緑化された土地	3,431.54
5	設備とインフラ	1,444.01
合計		248,481.82

出典：www.kalselprov.go.id (2008 年)

### 5. 南カリマンタン州における石炭生産の経緯と現状

1980 年代中ごろ、南カリマンタン州では 200 ヘクタール程の鉱業権において、農業協同組合 (KUD) による小規模な石炭採掘事業がすでに行われていた。この鉱業権を取得していた農業協同組合は、Usaha Karya Cempaka, Maduratna Pengaron, Bersama Binuang 農業協同組合である。この事業は、1982 年の鉱業技術理事会と地方事務所による採掘事業がベースとなっている。採鉱自体は 1984 年に開始された。おそらく、これが南カリマンタン州の石炭採鉱の始まりである。小規模で価格も低く、採鉱もまだセミメカニックという状態であった。

1989 年、数社のセメント会社が、燃料として南カリマンタンの石炭を使用し始めた。こうして石炭需要は高まり、市場原理に従って価格も徐々に上がっていった。当時の鉱業権保有者がこの巨大な石炭需要を満たすことが出来なかったため、地元住民による許可なしの採掘がほぼ全地域で行われるようになった。この採掘者達は、後に無許可採掘者 (略称：「PETI」、許可なし金採掘 Penambangan Emas Tanpa Ijin からの略語) と呼ばれるようになった。

これまで、南カリマンタン州では、許可を保有している幾つかの大規模企業及び中小企業と、無許可採掘者が石炭事業を行ってきた。この許可を取得済みの石炭採掘企業は、中央政府から出される石炭鉱業事業契約 (PKP2B) を持っている企業、もしくは各地方政府から出された鉱業権許可を持っている協同組合から成り立っている。

南カリマンタン州で操業を行っている石炭鉱業事業契約 (PKP2B) を取得済みの鉱業企業には、PT. Adaro Indonesia, PT. Arutmin Indonesia, PT. Bantala Coal Mining 等が挙げられる。地方分権、地方自治が開始されて以来、インドネシアでは各地方がそれぞれの収入向上を競い合っている。既存のデータによると、南カリマンタン州における県政府は、2010 年末までに 410 もの鉱業許可を出している。その内訳は、鉱業業務契約 (KK) 許可が 6 件、鉱業権 (KP) 363 件、石炭鉱業事業契約 (PKP2B) 41 件である。南カリマンタン州において石炭鉱業許可が出された面積は、930,292 ヘクタールであり、わずか 3,753,052 ヘクタールしかない州全体の面積の 24.79%にも及んでいる (図 5-2)。

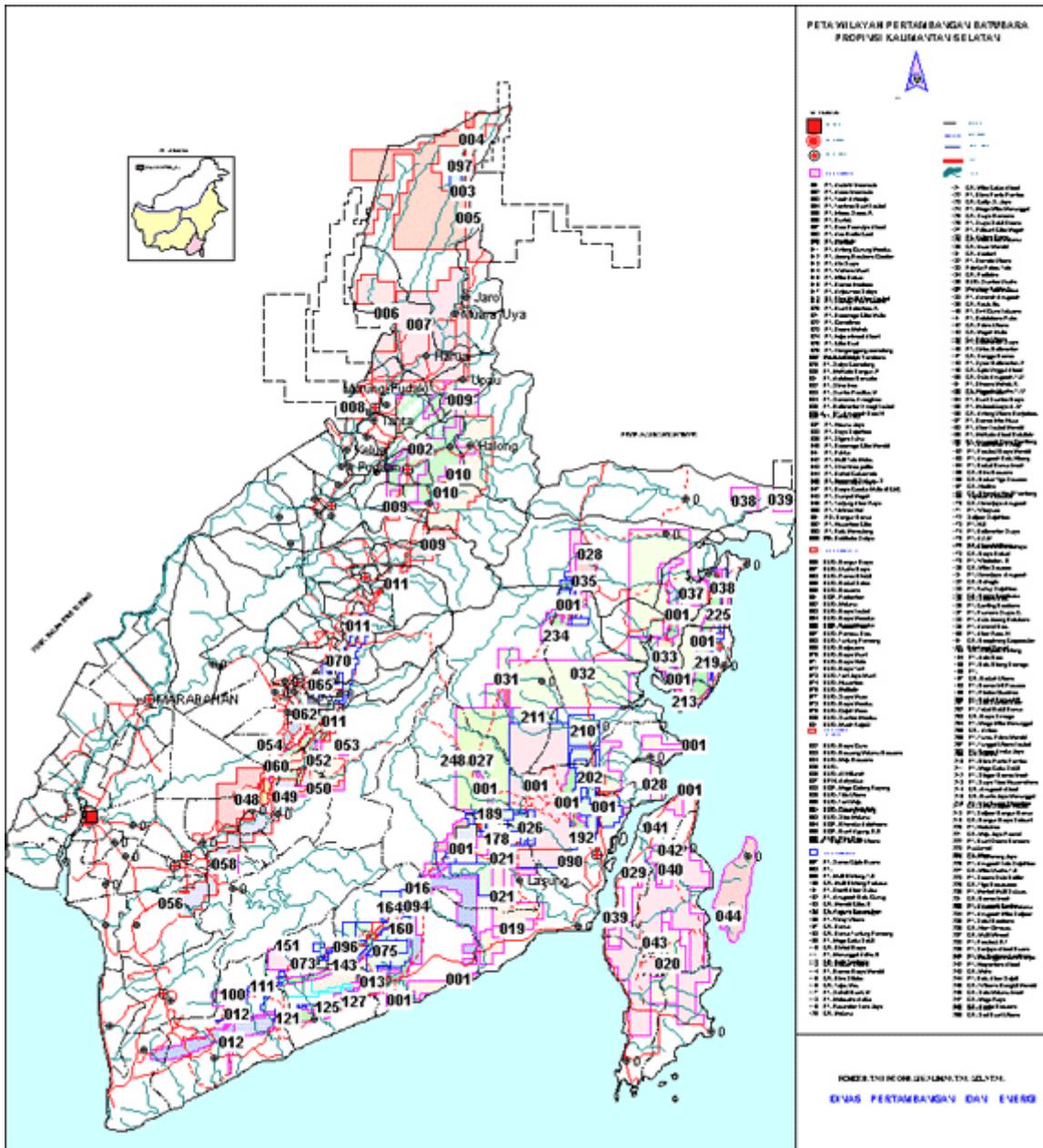


図 5-2. 南カリマンタン州における石炭鉱区

出典： www.kalselprov.go.id

表 5-3. 南カリマンタン州における石炭鉱業企業事業協定 (PKP2B)

No.	企業名	活動	面積 (ha)	地域	備考
1	PT. Arutmin Indonesia	採鉱・生産	59,217	Kotabaru, Tanah Laut, Tanah Bumbu	第一世代
2	PT. Adaro Indonesia	採鉱・生産	35,782	Tabalong, Balangan	第一世代
3	PT. Bentala Coal Mining	採鉱・生産	2,095	Balangan	第二世代

		建設	32,005		
4	PT. Bahari Cakrawala Sebuku	採鉱・生産	5,871	Kotabaru	第二世代
5	PT. Antang Gunung Meratus	採鉱・生産	22,433	Banjar, Tapin, Hulu Sungai Selatan, Hulu Sungai Tengah	第二世代
6	PT. Jorong Barutama G	採鉱・生産 建設	7,341 12,770	Tanah Laut Tanah Laut	第二世代
7	PT. Bara Multi Sukses Sarana	採鉱・生産	6,625	Banjar, Tanah Laut, Banjarbaru	第三世代
8	PT. Kadya Caraka Mulia	採鉱・生産 採鉱	1,575 3,053	Banjar	第三世代
9	PD. Baramarta	採鉱・生産 採鉱	1,621 5,865	Banjar	第三世代
10	PT. Sumber Kurnia Buana	採鉱・生産 採鉱	10,920	Banjar, Tapin	
11	PT. Tanjung Alam Jaya	採鉱・生産 採鉱	1,232 8,877	Banjar	第三世代
12	PT. Kalimantan Energi Lestari	採鉱・生産 採鉱	6,261	Kotabaru	第三世代
13	PT. Senamas Energindo Mulia	採鉱・生産 実行可能性調査 採鉱	10,000 25,830 13,250	Kotabaru Kotabaru Kotabaru	第三世代
14	PT. Bina Bangun Banua	実行可能性調査	6,960	Banjar, Tapin	第三世代
15	PT. Borneo Indobara	実行可能性調査	24,100	Tanah Bumbu	第三世代
16	PT. Mantimin Coal Mining	建設 採鉱	8,280 12,327	Tabalong, Balangan Balangan, Tengah	第三世代
17	PT. Bara Pramulya Abadi	採鉱	56,980	Tabalong	第三世代
18	PT. Wahana Baratama Mining	実行可能性調査	7,811	Tanah Laut, Tanah Bumbu	第三世代
19	PT. Lianggang Cemerlang	開発 採鉱	236 1,855	Tanah Laut Tanah Laut	第三世代
20	PT. Interex Sacra Raya	採鉱	9,710	Tabalong	第三世代
21	PT. Eka Satya Yanatama	採鉱	51,010	Tanah Bumbu, Kotabaru	第三世代
22	PT. Multi Tambang Jaya Utama	採鉱	80	Tabalong	第三世代
23	PT. Terrarex	総合調査	664	Tabalong	第三世代
24	PT. Tohar Antareja	総合調査	4,404	Tabalong	
合計： 総合調査: 5,068 ha、採鉱: 258,028 ha、実行可能性調査: 80,341 ha、建設: 47,441 ha、製造/採鉱: 170,973 ha					

出典： [www.kalselprov.go.id](http://www.kalselprov.go.id)

注：データが確認出来たのは、24の石炭鉱業企業事業協定（PKP2B）保有者分についてのみ

## 6. 南カリマンタン州における石炭生産の経緯と現状

上述の通り、石炭埋蔵量が確認された地域において、中央政府や地方政府が、企業や協同組合に対し鉱業許可を発行している。問題視されているのが国有林保護国有林地域での工業件許可であり、これまでに、南カリマンタン州の保護国有林地域 87,411 ヘクタールの土地に対して 229 の鉱業許可が、県知事によって出されている。

南カリマンタン州の土地利用区分と石炭鉱区を重ねてみると、たしかに、保護林のなかに石炭鉱区が存在していることがわかる（図 5-3）。

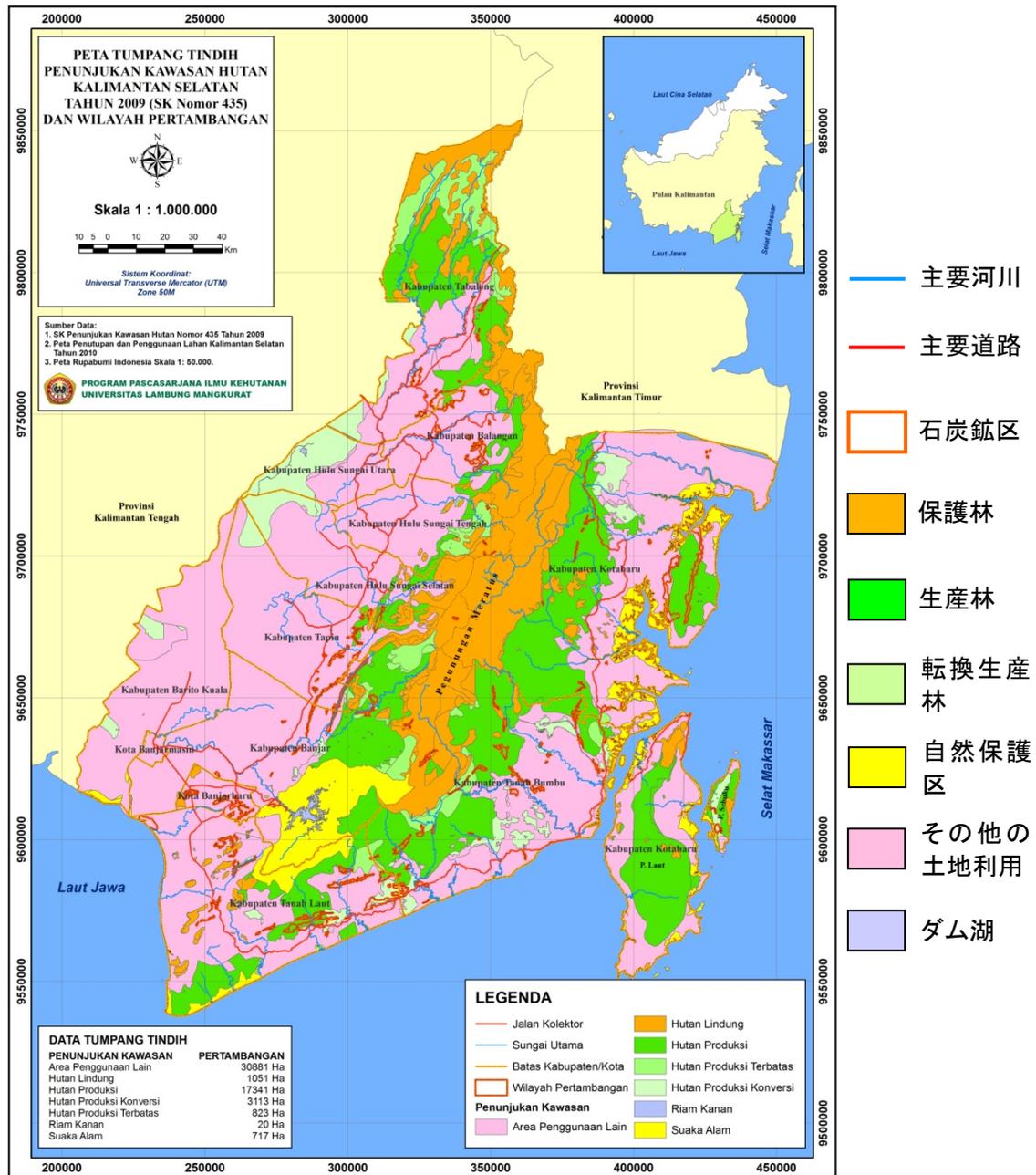


図 5-3. 南カリマンタン州における土地利用区分と石炭鉱区  
(南カリマンタン州 Lambung Mangkurat 大学林学科作成)

## 2) インドネシアの石炭生産に関する法規制

### 1. 石炭生産に関する法規制

法律と規則に関する 2000 年国民協議会（MPR）決定第 3 号の第 2 条によると、インドネシア共和国の法令は以下のような順になる。

- 1945 年インドネシア共和国憲法
  - 国民協議会（MPR）決定
    - 法律（UU）
      - 法律代執行政令（Perpu）
        - 政令（PP）
          - 大統領決定（Kepres）
            - 地方政府条例（Perda）

インドネシア中央政府及び地方政府は、石炭事業に関して、2011 年 4 月までに 33 に及ぶ法律と規制を制定してきた（表 5-4）。その内訳は、法律（UU）2 件、政令（PP）7 件、大統領規制（Perpres）3 件、大統領告示（Inpres）1 件、大臣規則（Permen）13 件、エネルギー鉱物資源省令（Kepmen）4 件となっている。南カリマンタン州レベルでは、これまでに 2 件の地方政府条例（Perda）が出されている。

表 5-4. 石炭事業関連法律及び規制

No.	名称	内容
1	2007 年 法律第 30 号	エネルギー
2	2009 年 法律第 4 号	鉱物及び石炭鉱業
3	1999 年 法律第 41 号	森林
4	2010 年 法律第 10 号	用途指定及び国有林地機能変更手順
5	2010 年 法律第 22 号	鉱業地域
6	2010 年 法律第 23 号	鉱物及び石炭鉱業事業活動実施
7	1999 年 法律第 27 号	環境影響に関する研究
8	2010 年 大統領規制第 4 号	再生可能エネルギー、石炭、ガスを使用した発電早期開発実施をインドネシア国有営電力会社（Persero）に委託
9	2008 年 政令第 2 号	森林活動以外の開発ニーズのために国有林地使用から発生する非税国家収入の種類と費用
10	2007 年 大統領規制第 91 号	石炭発電使用加速のための政府保証供与に関する 2006 年大統領規制第 86 号に対する変更
11	2006 年 大統領規制第 5 号	国家エネルギー政策
12	2006 年 大統領告示第 2 号	その他燃料としての液化した石炭の供給と利用

13	2010年 エネルギー鉱物資源大臣規則第15号	再生可能エネルギー、石炭、ガスを使用した発電開発加速プロジェクト及び送電プロジェクトリスト
14	2010年 エネルギー鉱物資源大臣規則第4号	2010～2014年度エネルギー鉱物資源省戦略計画
15	エネルギー鉱物資源大臣決定第1604K/30/MEM/2010	国益のための石炭販売最低需要及び割合決定
16	財務大臣規則第21/PMK.011/2010	再生可能エネルギー利用活動のための課税及び関税設備の供与
17	財務大臣規則第146/PMK.01/2006	石炭使用発電開発加速のための政府保証供与実施手引き
18	2009年 エネルギー鉱物資源大臣規制第28号	鉱物及び石炭鉱業サービス事業実施
19	2009年 エネルギー鉱物資源大臣規制第34号	国益のための鉱物及び石炭需要供給優先
20	2008年 エネルギー鉱物資源大臣規制第18号	再生及び鉱山閉鎖
21	2008年 エネルギー鉱物資源大臣規制第36号	石炭メタンガス事業
22	2006年 エネルギー鉱物資源大臣規制第47号	炭団と石炭ベースの固形燃料製造及びその利用指針
23	2006年 エネルギー鉱物資源大臣規制第33号	石炭メタンガス事業
24	2006年 エネルギー鉱物資源大臣規制第44号	直接選択を通じた石炭への発電のためのエネルギー多様化加速に関する電力購入
25	エネルギー鉱物資源大臣決定第0057 K/40/MEM/2004号	石炭鉱業事業契約基本規制に関する1996年大統領決定実施についての、エネルギー鉱物資源大臣決定第680.K/29/M.PE/1997号の変更
26	エネルギー鉱物資源大臣決定第1128 K/40/MEM/2004号	国家石炭政策方針
27	エネルギー鉱物資源大臣決定第1603 K/40/MEM/2003号	予備鉱業地域政策
28	2010年 政令第55号	鉱物及び石炭鉱業事業運営実施の強化と管理
29	2010年 政令第78号	再生と採掘後
30	2009年 環境大臣規則第8号	発電ターミナル事業や活動についての排水品質標準
31	林業大臣規則	森林再生指針

	第 P.4/Menhut-II/2011 号	
32	2008 年 地方政府条例第 3 号	鉱業産物や農園産物運搬のための一般道路及び特別道路使用についての取り決め
33	2009 年 地方政府条例第 2 号	一般鉱業運営

出典：各種リソースより編纂 2011 年

以下、2. 国有地を借用して石炭生産する場合、3. 採掘後の再生及び再緑化に関する政策及び4. 国有林地以外（その他の土地利用区）において石炭生産する場合についての法規制を説明する。

## 2. 国有地を借用しての石炭生産に関する法規制

国有林地の一部を借用しての石炭生産に関する法律と規制について、以下に説明する。

### 2.1 鉱物及び石炭に関する 2009 年法律第 4 号

2009 年法律第 4 号（新鉱業法）は、一般鉱業に関する 1967 年法律第 11 号（鉱業法）に取って代わるものである。この法律では、鉱物及び石炭鉱業運営の目的を以下のように定めている。

- a) 効率的、効果的、また競争力のある鉱業事業活動の有効性ある実施と運営管理の保障
- b) 継続性と環境ビジョンのある鉱物及び石炭鉱業活用の保障
- c) 国内需要に対する、原料やエネルギー源としての鉱物及び石炭の供給の保障
- d) 国家、地域、国際レベルで競争が出来るよう、国家能力をサポートし、発展させていくこと
- e) 地元社会、地域社会、そして国家の収入を向上させると同時に、最大限の国民の福祉のために働く場を作り出すこと
- f) 鉱物及び石炭鉱業事業活動実施における法の確実性を保障すること

新規の投資家は、これまで（2009 年法律第 4 号発令前）有効であった石炭鉱業事業契約（PKP2B）によるシステムをもう使用することが出来ない。ただし、この法律では、既に発行された石炭鉱業事業契約（PKP2B）については、その契約が終了するまでの間継続して有効であるとしている。これに関し、2009 年法律第 4 号有効化以来、すでに一年間活動を行っている石炭鉱業事業契約（PKP2B）の保有者は、契約区域全体における鉱業活動計画を提出することが義務となっている。仮にこの計画が実行されなかったとすると、2009 年法律第 4 号に則り、契約区域は減らされ、鉱業事業許可（IUP）と同等の面積だけが許可されることとなる。

この法律では、鉱物及び石炭鉱業に関する中央政府、州政府、県または市政府の権限が、次のような項目において定められている。

- (a) 法令規制の策定
- (b) 鉱業事業許可 (IUP) の発行、育成指導、地域社会との紛争解決、州境もしくは海岸線より 12 マイルを超える海域にある鉱業事業の管理
- (c) 鉱物及び石炭資源のバランスシート編纂
- (d) 採掘後の土地再生に対する指導及び管理
- (e) 鉱業事業活動に対する付加価値の発展、向上
- (f) 環境保全に留意した鉱業事業における地元地域社会の発展及び活性化
- (g) 権限に沿った調査と研究のリスト化、鉱物及び石炭データと情報を取得するための探鉱
- (h) 環境破壊を招いている、もしくは鉱業規則を守っていない、地方政府より出された製造操業鉱業事業許可に対する評価
- (i) 鉱物及び石炭鉱業事業産品からの非税国家収入の策定及び決定

## 2.2 用途指定及び国有林地機能変更に関する 2010 年法律第 10 号

土地の重複における重大な問題は、保護国有林地域での鉱業活動である。森林に関する 1999 年法律第 41 号第 38 条に則り、保護国有林地域での露天掘による鉱業活動は出来ない。これは、インドネシア熱帯林生態保護の観点に基づいているのだが、しかし、最大の鉱物は保護国有林地域に埋蔵されているのである。結果、政府と企業の間で論争となっている。また、保護国有林地域は鉱業許可地域と近いこともあるため、この規則は、鉱業事業者が探鉱箇所を決めることも難しくしている。このため、用途指定及び国有林地機能変更に関する 2010 年法律第 10 号が制定された。

用途指定及び国有林地機能変更は、国家開発のダイナミックな要求、及び変わらず機能分散の最適化に基づくこと、持続的で継続的な国有林地の活用、十分な面積の国有林地確保と均斉のとれた分布といった地域社会からの希望を満たすために、実施される。

国有林地用途指定の変更は、部分的、また州地域のために行うことが出来る。部分的な国有林地用途指定の変更は、国有林地を交換したり、国有林地をリリースすることで行われる。

## 2.3 国家石炭政策に関するエネルギー鉱物資源省令第 1128 K/40/MEM/2004 号

国家石炭政策 (KBN) に関する規制は、国内エネルギー源、外貨獲得、地方経済発展の起爆剤、環境、経済、社会、その他相乗効果のバランス保持といった活用方法に留意しながら、石炭の最適な運営が必要だということに基づいている。新たなパラダイムの様々な変化 (民主化、地方自治、環境等) と並行して、石炭運営には中央政府と地方政府間における、認識の一致、同調、共同が必要である。

国家石炭政策の一般的な目的は、以下の通りである。

- (a) 国家エネルギー分野での石炭の重要な役割において、関係者に対して法の確実性を与えること。

(b) 石炭の運営、事業、活用、開発における調整と調和を生み出す指針となること。

### (1) 国家石炭政策の方向性

- a. 国家石炭政策は、国家的に最大限の利益を得ることが出来るよう、供給と活用を最適化するという原則の基に、石炭運営の方向に向けられる。
- b. 国家石炭政策は、一般的鉱業政策及び国家エネルギー政策の一部を成す。この基本に基づき、国家石炭政策は、上流（鉱業）と下流（エネルギー）を指している。
- c. 国家石炭政策は、1945 年憲法を参照して作られた。この参照により、国家エネルギー需要が満たされ、それだけではなく国民福祉も保障されている。
- d. 国家石炭政策は、プログラムマップに詳しく説明されている。このプログラムマップには、石炭鉱業部門において実施されなくてはならない努力や、2003 年～2020 年という期間中における、現状から理想の状態を目指すための活用方法について描かれている。国家石炭政策は、運営政策、事業政策、活用政策、開発政策という 4 つの部分より出来ている。

### (2) 石炭運営政策

戦略的な採掘物として石炭を位置づけることが目的で、国家エネルギー、輸出商品、経済起爆剤、地元住民と地域の発展という便益に注目をしながら運営される必要がある。

実施・構想

- 1) 石炭を戦略的商品であると表明する政令が必要である。
- 2) この他に、以下 6 つの構想がある。

中央政府と地方政府間の明確な権限分けが必要であること、石炭源のリスト化、施設及びインフラ、継続性とビジョンのある環境の開発、石炭生産者と消費者間の調整及びコミュニケーション (*National Coal Board* / 石炭庁)、無許可金採掘の撲滅

### (3) 事業政策

この政策の目的は、有益な投資環境を向上させること、及び、石炭鉱業の効果的な管理である。

実施・構想

- 1) 公平な事業の確定
- 2) この他に、以下 11 の構想がある。

有益な投資環境を作り上げる必要があること、最適な採掘の実施、石炭確保の強化、低品質炭への報奨、契約の尊重、国内供給義務 (*Domestic Market Obligation, DMO*)、継続性のある製造、石炭規格化、製造コントロール、「ブレンディングプラント」の建設推進

### (4) 活用政策

国家エネルギー需要を満たすことにおける石炭使用と役割の向上が目的である。

実施・構想

1) 多様化の推進、促進

2) この他に、以下 7 の構想がある。

石炭供給を受けるためにより簡単なアクセスが必要、炭層メタン、亜炭の活用、坑道蒸気発電所、石炭中小企業、精炭活用技術センター、石炭発展のための石炭製造利益資金を明確に定める必要、石炭に対する付加価値向上

#### (5) 開発政策

目的は、石炭開発を向上させ、国家エネルギー需要を満たすことを可能にすることである。

実施・構想

1) 精炭技術を向上させる。

2) この他に、以下 4 の構想がある。

調査及び発展の向上、人材資源、組織、低品質地下鉱物及び石炭

#### 2.4 一般的鉱業加工に関する 2009 年地方政府条例第 2 号

南カリマンタン州では、その権限のある県知事もしくは担当者から鉱業権 (Kuasai Pertambangan, KP) を取得後に、各一般的鉱業活動を行うことが可能となる。鉱業権は、一般調査鉱業権、探鉱鉱業権、採掘鉱業権、加工精製鉱業権、運搬販売鉱業権、より成り立っている。

鉱業権は、以下の者に与えられる。

(a) 国有法人

(b) 地方所有法人

(c) 関係する県もしくは市の会員を優先的に扱う協同組合

(d) インドネシア共和国の法令に則って設立され、地方に所在することを第一とし、管理者はインドネシア国籍、鉱業分野の事業現場を所有している私営法人

(e) 上記、鉱業権授与対象者と合同資本法人

(f) 南カリマンタン地域に所在する住民鉱業事業、個人もしくはグループ

採掘鉱業権を保有する事業者は、5 年間の環境運営年次計画に沿った再生費用に基づいて算出された額を、再生補償費として納入することが義務となっている。

鉱業権保有者は、鉱業事業や鉱物採取のために引き起こされた環境に対する全ての損失 (水域の建物修理、土手修理、漁業設備及び施設、水道管に使用できる土地部分、道路を含む) を、自己負担費用を以て、再生という形で補うことが義務である。

### 3. 採掘後の再生及び再緑化に関する政策

採掘後の再生及び再緑化に関連する政策については、以下の通りである。

### 3.1 再生及び採掘後の処理に関する 2010 年政令第 78 号

この政令では、公開、非公開どちらのシステムを使用しても良いが、採掘鉱業事業許可（IUP）及び特別鉱業事業許可（IUPK）保有者は再生を行うことが義務であり、操業生産鉱業事業許可及び操業特別鉱業事業許可保有者は、再生と採掘後の処理実施が義務となっている。

再生及び採掘後の処理は、以下の原則を満たすものとする。

- a) 鉱業環境の保護及び運営
- b) 労働安全及び健康
- c) 鉱物及び石炭の保全

鉱業環境の保護及び運営には、最低でも以下の事項を含む。

- a) 法令規則に則った環境品質標準もしくは破壊基準に基づいた、水面、地下水、海水、土壌、大気の品質に対する保護
- b) 多様性のある生物の保護及び回復
- c) 積み上げた表土（石）、尾鉱堆積場、鉱業跡地、その他人工的構造の安定性、安全性に対する保証
- d) 用途指定に沿った鉱業跡地の活用
- e) 現場地域の社会的文化的価値観に留意すること
- f) 法令規則に則った地下水量の保護

労働安全及び健康の原則には、以下の事項を含む。

- a. 各労働者、作業員に対する安全の保護
- b. 仕事が原因の病気に関する各労働者、作業員に対する保護

鉱物及び石炭保全の原則には、以下の事項を含む。

- a. 最適な採掘
- b. 効果的かつ効率的な加工及び精製方法と技術の使用
- c. 重要視されていない埋蔵物、低純度鉱物、随伴鉱物、低品質鉱物の加工や活用
- d. 採掘されていない埋蔵鉱物や石炭、及び加工精製の残りについてのデータ化

### 3.2 再生及び鉱山閉鎖に関する 2008 年エネルギー・鉱物資源大臣規制第 18 号

この規則では、地方鉱業許可書、鉱業権（鉱業事業許可）、事業契約、石炭鉱業事業協定の保有者は、再生及び鉱山閉鎖の計画を編纂することが義務であるとしている。再生は、鉱業事業活動の結果損失を受けた土地が、その用途に沿って効率的に機能出来るように、有用性を修繕し、整える目的で行われる活動のことである。

企業は、再生と鉱山閉鎖を行うに当たり、以下のような環境原則を満たさなくてはなら

ない。

- a) 環境品質標準に適合する水面、地下水、海水、土壌、大気品質
- b) 積み上げた表土、尾鉱堆積場、鉱業跡地、その他人口的構造の安定性、安全性
- c) 多様性のある生物の保護及び回復
- d) 用途に沿った鉱業跡地の活用
- e) 社会、文化、経済的側面

鉱業事業活動の結果損失を受けた土地（鉱業跡地及び、積み上げた表土や原料、交通用道路、加工精製工場や装置、事務所や住居、港や埠頭といった、もう使われることのない鉱業跡地以外の土地）に対して、再生が行われる。

再生や鉱山閉鎖は、損失を受けた土地において鉱業事業活動が行われなくなってから、遅くとも1ヶ月以内に実施されなくてはならない。

#### 4. 国有林地以外（その他の土地利用区）において石炭生産する場合

上述の通り、国有林地域にある石炭資源の管理には、林業省と鉱業事業実施者間において、借用許可が必要となる。森林に関する1999年法律第41号第38条には、保護林では露天掘での鉱業活動は行うことは出来ず、これが出来るのは生産国有林地域のみと定められている。

地域外に限っては、国道を通る個人石炭運送に対する政策を除いて、現在に至るまで規制をする政府方針はない。調査の結果によれば、とりわけ南カリマントンでは、土地所有者と事業者の二者間で交わされる合意に基づいた運営システムは、「鉱業料」という名で知られている。この鉱業料は、1トン当たり12,500～22,000ルピアといったところである。この値段の範囲は、採掘された石炭品質や、石炭に含まれる熱量の品質に非常に左右される。採掘終了後には、所有権は元の所有者に返還される。

この他のシステムとしては、土地補償がある。土地の所有権が放棄された場合については、標準価格（2000年初頭の時点で、1ヘクタール当たり1,500～2,000万ルピア）に沿って、土地に対する補償を得る者もいる。2008年時点では、1m<sup>2</sup>当たり5,000ルピアという価格が付いている。この土地補償システムでは、土地権利書は購入者（石炭事業者）に引き渡されて石炭採掘後も返還されることはないため、土地売買システムであると言い換えることが可能である。鉱業跡地は、そのまま継続して購入者（石炭事業者）所有となる。

## 参考文献

- Anonim (2008) 鉱業と森林の重なり合いを乗り越える. 鉱物及び鉱業資源理事会  
インドネシア国エネルギー鉱物資源省 (2010) インドネシアエネルギー&統計ハンドブック. ジャカルタ (www.esdm.go.id. 2011年8月16日参照)
- インドネシア国中央統計局 (2010) 数値で見る南カリマンタン 2010. 南カリマンタン州中央統計局
- 南カリマンタン州政府 (2008) 南カリマンタン州採掘鉱業の可能性. (http://www.kalselprov.go.id/ 2011年8月16日参照)
- バンバン・スティアワン、インドネシア共和国エネルギー鉱物資源省、鉱物・石炭総局長 (2009) インドネシアの石炭政策. インドネシア・日本石炭セミナー 2009年3月27日、東京
- バンバン・ガトット・アリヨノ、インドネシア共和国エネルギー鉱物資源省、鉱物・石炭総局長、鉱物・石炭事業局長 (2009) インドネシアにおける石炭開発と輸出の今後の動向. 国際シンポジウム クリーン・コール・デー イン ジャパン 2011、2011年9月6~7日、東京
- Bob Kamandanu インドネシア石炭協会 (ICMA) 会長 (2010) インドネシア石炭産業の最新事情. 国際シンポジウム クリーン・コール・デー イン ジャパン 2010、2010年9月7~8日、東京
- 三室戸義光、杉内 信三 (2001) インドネシア・カリマンタンにおける石炭輸送最適化調査. 財団法人日本エネルギー経済研究所、2001年12月掲載

## (資料) 委員会・部会の開催記録、現地調査の実施結果概要

### 1) 委員会の開催と審議概要

平成 23 年度は以下のとおり開催した。

#### 1. 第 1 回 途上国森づくり委員会

日時：23 年 9 月 5 日（月）14:00~16:00

場所：林友ビル 6 階 日本森林林業振興会 中会議室

議題： ①途上国森づくり事業の全体概要及び平成 23 年度の事業要領案について

②平成 22 年度の事業実行結果について

- ・海外森林保全参加支援
- ・貧困削減のための森づくり支援

③平成 23 年度の事業実施計画案について

- ・海外森林保全参加支援
- ・貧困削減のための森づくり支援（別添 1）
- ・開発地植生回復支援

④その他

議事概要：

委員会では、林野庁海外林業協力室上田室長の臨席のもと、出席委員による上記議案の討議を行った。

開発地植生回復支援は、平成 23 年度から 4 年間の事業であり、モデル林造成については、最初の 3 年間、毎年 20ha 程度を造成する予定となっている。そこで、3 年目（平成 25 年度）は、植栽時期から考えると、事業終了までに 1 年強しかないので、その期間で成果が出るよう試験設計をする必要があるとの意見が出された。また、モデル林造成後の植林地の盗伐等についてもあらかじめ対策を講じておく必要があるとの意見が出された。

その他、途上国森づくり事業全体として、その成果、技術情報等が具体的にどこで入手可能か、外から使える様配慮して頂きたいとの意見が出された。また、情報を発信する場合は、相手に伝わりやすいよう配慮するべきだとの意見が出された。

### 2) 部会の開催と審議概要

平成 23 年度は以下のとおり開催した。

#### 1. 第 1 回 開発地植生回復支援部会

日時：23 年 8 月 1 日（月）13:30~15:30

場所：文京シビックセンター 区民会議室 5 階会議室 D

- 議題： ①事業目的・全体計画の説明  
②インドネシア予備調査結果報告  
③コマツのインドネシア石炭採掘地における森林再生プロジェクト  
④今年度の事業計画と実施スケジュール

議事概要：

部会では、林野庁海外林業協力室上田室長の臨席のもと、出席委員による上記議案の討議を行った。

まず、本事業の目的と全体計画案が事務局から提示され、候補地としてインドネシアの予備調査結果の報告を元に活発な討議が行われた。その結果、本事業は今年度を含む3年間、各年各地域で10ha程度のモデル林造成を通して植生回復技術のマニュアルを作成するという方針を了承した。

対象地としてインドネシアの南 Kalimantan 州の石炭採掘跡地と東 Nusa Tenggara 州 (NTT)の農業開発地を選ぶこととした。同時に過去の森林造成実績及び日本との関係の深さ等から相手機関としてインドネシア林業省流域管理・社会林業総局を選定し、傘下の南 Kalimantan 州の Barito 川流域管理署管内及び東 NTT 州 Kupang の Benain Noelmina 流域管理署管内で実施することとした。

本事業の基本方針として、荒廃地を元々の生態系に戻すことと地域住民との森林の共同管理を進めることの両面からのプロセスを可能とする技術マニュアルを作成することを提案したが、元々の生態系に戻すには長期間が必要であるとの意見が出された。

そこで、4年という事業期間を考慮し、まずは一次緑化として、有用で対象地に耐性を持つ樹種の植栽を進めることを基本的な目標に定めモデル林を造成し、造成を通して得られた知見を元に技術マニュアルを作成することとした。

対象地の環境条件、社会的条件によって、植林・植生回復のアプローチも違うし、ゴールも違ってくる。それを理論・系統立てて整理しておいた方が良いとのコメントを頂いた。例えば、条件が極端に悪い場所には、耐性の強い樹種を植栽して環境造林、条件が良い場所では、価値の高い樹種や住民のニーズに合った樹種を植栽して利用する等。

また、一般的に、荒廃地では土壌の化学性だけでなく、物理性（コンパクション）や水環境（雨期の水位→根腐れ）も問題となるので要注意すること、苗木の質も大切に、産地系統や育苗方法の確認・改善が重要との意見が出された。

予備調査の結果から、対象となり得る候補樹種についての討議が進められた。また、土壌環境についても質問が多く出され、特に酸性及びアルカリ性についての検討を進めること及び石炭採掘跡地については、土壌の圧密について調査することが必要との意見が出された。

コマツによる石炭跡地森林再生プロジェクトの紹介から、採炭後の土地の形態及び処置の規則、地域住民との関係等が紹介された。さらに現在コマツが共同開発している事業について説明を受けた。

今年度の事業計画と実施スケジュールについては、9月に現地調査を実施すること、も

し9月に都合がつかない場合は11月にも現地調査を実施することとした。試験計画は現地調査実施前に作成することとした。

## 2. 第2回 開発地植生回復支援部会

日時：24年2月17日（金）10:00~12:00

場所：林友ビル6階 日本森林林業振興会 中会議室

議題： ①全体の進捗状況報告

②森林回復技術開発モデル林造成計画

③森林回復モデル林造成対象地の土壌概要

④今年度の報告書案について

議事概要：

部会では、林野庁海外林業協力室上田室長の臨席の下、出席委員による上記議案の討議を行った。

具体的モデル林対象地の選定が、石炭採掘跡地の場合は相手の会社の都合等で大幅に遅れたこと、また、過剰農牧開発地の場合は相手の集落の事情等で具体的候補地の選定が大幅に遅れたことからモデル林造成に遅れが出ていることが報告された。

石炭採掘跡地の場合は、P.T. Antang Gunung Meratus 会社管理区域内と P.T. Tanjung Alam Jaya 会社区域内で対象試験地を設定する。過剰農牧開発地の場合は、Oelnasi 村及び Nekbaun 村内で具体的な試験地を設定した。

石炭採掘跡地での植栽地区分、植栽候補樹種、植栽方法、植栽前地拵え方法、等について討議が進められ、これらの技術的な方法について多くの意見が出され、最終的に基本的な試案が決定された。また、過剰農牧開発地では、植栽地区分、植栽候補樹種、植栽方法及び植栽地拵え方法について多くの意見が出され、試案が最終決定された。どちらもまずは多数の樹種を植栽して、施肥などを加えることにより、それらの樹種特性を把握するという基本方針が確認された。また、苗木の質が大切で育苗方法の改善が重要との意見が出された。

石炭採掘跡地での植栽は、今年度2カ所で各5ha程度を実施することとした。一方農牧開発地は3~4月に乾期に入るので、モデル林造成は来年度開始とした。

両対象地の土壌の概況が報告され、石炭採掘跡地では酸性化がまだ始まったばかりであること、農牧開発地ではアルカリ性である土壌の概要が報告された。また、石炭採掘跡地では今後酸性度、圧密度などの経時的变化をモニターすると共に潜在的な酸性化について解析することが了承された。

なお、石炭採掘跡地については、埋め戻し方法についても、表層土壌をストックしておいて、埋め立ての最後にかぶせる等の指針も作成した方が良いとのコメントを頂いた。

今年度の報告書の作成方法および目次案について討議され、事務局提案が了承された。

### 3) 現地調査の実施結果

平成 23 年度は、以下の通りインドネシア現地調査を計 5 回実施した。

#### 1. 第 1 回現地調査結果

期日：平成 23 年 7 月 2 日（土）～11 日（月）

調査員：大角泰夫、仲摩栄一郎、棚橋雄平（JIFPRO）

調査地：

- ・東 Nusa Tenggara (NTT) 州 Kupang 県
- ・南 Kalimantan 州 Banjar 県、Hulu Sungai Selatan 県
- ・ジャカルタ市インドネシア林業省

調査事項：

- ① 現地カウンターパート林業省及び関係諸機関との打合せ
- ② 第 1 回南カリマンタン州ワークショップ（事業概要説明、モデル林候補地の検討等）
- ③ 事業対象地、森林回復モデル林造成候補地のリストアップ
- ④ 土壌の pH 調査

調査概要：

対象地候補として、酸性硫酸塩土壌地域としては南 Kalimantan 州石炭採掘跡地を選定した。相手機関の候補として、以前から JIFPRO と関係が深い Barito 流域管理署を選定し、Banjarbaru に設置されている国立 Lambung Mangkurat 大学の協力を得る仕組みを想定した。また、アルカリ性土壌地域としては、元研究開発庁研究所長であった Dr. Gintings の示唆により、NTT 州 Kupang の周辺に候補地を選定することとした。相手機関は Benain Noelmina 流域管理署とし、研究開発庁の研究支所と Kupang に設置されている国立 Nusa Cendana 大学の協力を仰ぐ仕組みを想定した。

本事業の概要説明ならびに森林回復技術開発モデル林の候補地を選定するため関係諸機関を集めてワークショップを実施した。

対象地候補地の土壌 pH を簡易測定法(試験紙及びポータブル pH メーター)で測定し、石炭採掘跡地では酸性化が進んだ土壌がある場所を抽出すると共に採炭後の埋め戻し地ではまだ酸性化していない潜在酸性硫酸塩土壌の存在を確認した。酸性土壌地では、古い採炭地、現在実施中の採炭地、採炭後植栽を実施している場所を今後の調査候補地として抽出した。アルカリ性土壌対象地候補地では地域住民との共同管理についての検討も必要であることから、3 か村の候補地について調査し、いずれも表層土壌がアルカリ性であることを確認した。なお、両候補地とも硬堅のため、下層土壌は測定できなかった。

#### 2. 第 2 回現地調査結果

期日：平成 23 年 9 月 14 日（水）～25 日（日）

調査員：佐々木恵彦、大角泰夫、仲摩栄一郎、棚橋雄平（JIFPRO）

田原恒委員（森林総研）

調査地：

- ・南 Kalimantan 州 Banjar 県、Tabalong 県、Hulu Sungai Selatan 県
- ・東 Nusa Tenggara 州 Kupang 県
- ・ジャカルタ市インドネシア林業省

調査事項：

- ① 現地カウンターパート林業省及び関係諸機関との打合せ
- ② 石炭採掘跡地森林回復先進事業地（Adaro 鉱山株式会社）の視察
- ③ 事業対象地、森林回復モデル林造成候補地の検討
- ④ 土壌の pH 調査

調査概要：

林業省流域管理・社会林業総局と両候補地の相手機関と今後の方向等について打ち合わせを行った。

石炭採掘跡地で、森林回復がすでに進められている Adaro 鉱山会社での森林回復事業等について調査を行い、植栽樹種の選定、植栽方法、地域住民との協働方法等について多くの知見を得た。

石炭採掘跡地での森林造成技術の開発のためのモデル林候補地として、P.T. Antang Gunung Meratus 会社のサイトと CV. Gunung Sambung 会社のサイトを選定した。前者は協力的でジャカルタの本社で実施の体制等について協議した。現在も採炭が行われているサイトで、今後管理地の中からモデル林造成計画に適した候補地を選定することとした。後者については小規模の会社による比較的古い採掘地で、採掘後放棄されているサイトである。表層土壌 pH が 3 以下と酸性化が進んでおり、植栽技術開発モデル林の対象地として適切であるが、面積的にはあまり広くない。

農牧開発荒廃地でのモデル林造成候補地として、Nekbaun 村と Oelnasi 村が抽出された。前者はしっかりした村体制ができており、実施に際しては地域との協働という面からは適切と考えられた。後者は JICA による水源ダム造成地の周辺で、流域管理という目的にも適合するモデル林造成地として好適な場所と考えられたが、面積的には若干小さい。

南 Kalimantan 州にある研究開発庁研究支所とコマツとの間の協定で造成された苗畑を視察した。ここではフタバガキ等元々の原生林を構成していたフタバガキ等の苗木が育成されている。地域産種を導入する場合は協力を仰ぐ可能性を想定する。

### 3. 第3回現地調査結果

期日：平成 23 年 11 月 2 日（火）～12 日（土）

調査員：金澤弘行、森徳典、大角泰夫、仲摩栄一郎（JIFPRO）

太田誠一委員（京都大学）、岡部宏秋委員（森林総研）

小島克己委員長・則定真利子・山ノ下卓（東京大学）

調査地：

- ・南 Kalimantan 州 Banjar 県、Tabalong 県、Hulu Sungai Selatan 県
- ・東 Nusa Tenggara 州 Kupang 県
- ・ジャカルタ市インドネシア林業省

調査事項：

- ① 現地カウンターパート林業省及び関係諸機関との打合せ
- ② 石炭採掘跡地森林回復先進事業地（Adaro 鉱山株式会社）の視察
- ③ 事業対象地、森林回復モデル林造成候補地の再検討
- ④ 植栽樹種の選定、植栽試験の計画作成、経費試算
- ⑤ 土壌の pH 調査

調査概要：

モデル林造成候補地として南 Kalimantan 州で 2 カ所、NTT 州で 2 カ所を選定した。

石炭採掘跡地では P.T. Antang Gunung Meratus 社の管理地内及び P.T. Tanjung Alam Jaya 社の管理地で候補地を特定した。前者の候補地は現在池と埋め戻し地及び斜面で構成されているが、今年度内に本事業の試験計画に適合するように候補地を造成することとした。後者の候補地はすでに埋め戻しが行われた緩傾斜地を候補地として選定し、会社と今後打ち合わせることとした。

過剰農牧開発地については、Oelnasi 村の荒廃地及び Nekbaun 村の荒廃地の中から本事業に適合する場所を候補地として区画した。

両地区にそれぞれ適した樹種を選定した。石炭採掘跡地の植栽種としては、主要種として 8 種、それらに加えて元々の地域産樹種のフタバガキを選定した。農牧開発地についても外来種が中心であるが、耐性を持つと考えられる種 8 種を選定した。

両地区に適した今年度実施予定のモデル林造成に向けた地拵え方法、植栽方法や植栽レイアウトについて確定した。石炭採掘跡地については、植栽面積は 2 地区、各 5ha、合計 10ha 程度を植栽するとし、植栽間隔として 3m×3m、施肥の実施、大きな植え孔とすることになった。また土壌圧密の影響を解明するためにリッピングを、栄養状態の改善のために土壌改良試験を実施することとした。農牧開発地においては、植栽面積は各地区 5ha で合計 10ha 程度とし、植栽間隔や植え孔、土壌改良試験については石炭採掘跡地とほぼ同じとした。

両地区の森林回復技術マニュアル作成のために必要な、これらの試験の結果を得るために全地区でモニタリングプロットを設定することとした。

#### 4. 第 4 回現地調査結果

期日：平成 24 年 1 月 7 日（土）～21 日（土）

調査員：大角泰夫、仲摩栄一郎（JIFPRO）

調査地：

- ・南 Kalimantan 州 Banjar 県、Hulu Sungai Selatan 県

- ・東 Nusa Tenggara 州 Kupang 県
- ・ジャカルタ市インドネシア林業省

調査事項：

- ① 現地カウンターパート林業省及び関係諸機関との打合せ
- ② 第2回南カリマンタン州ワークショップ（モデル林実施内容の検討等）
- ③ 事業対象地、森林回復モデル林造成候補地の決定
- ④ 植栽樹種の検討、植栽試験の計画検討、経費検討
- ⑤ 土壌プロファイル調査

調査概要：

南カリマンタン州の石炭採炭跡地について、P.T. Antang Gunung Meratus 社サイトでの試験地は埋め戻しが継続しており、試験が円滑に実施できるような埋め戻し及び整地を具体的に指示した。P.T. Tanjung Alam Jaya 社サイトは前回調査で予定した場所から会社の都合で別の場所に移動したが、新たな場所で確定することを会社と同意した。

森林回復技術開発モデル林について協議するため関係諸機関を集めてワークショップを実施した。両地区の具体的な試験区を確定し、植栽樹種および植栽方法についての意見交換を行うと共に植栽樹種の配置を決定した。さらに、これらにかかる予算等について、両社、流域管理署および JIFPRO で同意し、今年度の森林造成計画を策定した。

東ヌサテンガラ州の過剰農牧開発地について、Nekbaun 村および Oelnasi 村区域内の州有林において試験地を確定した。植栽する候補樹種、試験区画、植栽方法、植栽にかかる経費等について、流域管理署、両村等相手機関と協議し、同意した。今年度はすでに植栽適期である雨期の終期がせまっており、植栽後の活着と成長に危惧があるため、モデル林造成は次年度から開始することとした。

石炭採掘跡地の両モデル林予定地の土壌特性について調査した。圧密・硬堅度が高いため、表層 30cm で行ったが、埋め戻し地点の多くは現在は中性～アルカリ性であるが、pyrite(FeS<sub>2</sub>)の存在から今後酸性化が進展すると予想された。今後の土壌モニタリング計画について Lambung Mangkurat 大学関係者と打ち合わせた。

乾季の土壌硬堅化のため実施できなかった、過剰農牧開発地の両モデル林予定地の土壌調査を行った。100cm までの範囲は両地区ともアルカリ性であることが判明し、本事業の目的にかなうことが証明された。

## 5. 第5回現地調査結果

期日：平成24年2月29日（水）～3月9日（金）

調査員：仲摩栄一郎（JIFPRO）

調査地：

- ・南 Kalimantan 州 Banjar 県、Hulu Sungai Selatan 県
- ・東 Nusa Tenggara(NTT)州 Kupang 県
- ・ジャカルタ市インドネシア林業省

調査事項：

- ① 事業対象地、森林回復モデル林造成地の測量
- ② 植栽樹種の決定、植栽試験区の配置、経費決定
- ③ 第3回南 Kalimantan 州関係諸機関によるワークショップ

調査概要：

石炭採掘跡地の森林回復技術マニュアル作成モデル林造成事業については、会社及び州森林局の対応が未定であったが、今回林業省流域管理・社会林業総局 Barito 流域管理署を責任機関とし、その指導の下、両会社が造林作業を実施するという体制を確定した。また、植栽木の成育調査は Lambung Mangkurat 大学に依頼することとした。

採炭跡地の森林回復に関して、モデル林造成実施体制、造林試験計画および成育調査計画について関係諸機関を集めてワークショップを実施した。

試験地の見直しに関して、P.T. Antang Gunung Meratus 社試験地(5ha)では試験地造成時の重機による圧密が少なかったのでリッピングを省略することとした。そのため、試験計画を 5 処理区×8 樹種=40 試験区、5 回繰り返しに変更した。P.T. Tanjung Alam Jaya 社試験地は計測の結果、3.5ha であった。前記試験地とは逆に本試験地は圧密が厳しく、当初予定していなかったリッピングを実施することとした。また、試験区あたりの植栽木本数を当初の予定の 25 本/試験区から 16 本/試験区に変更した。さらにリッピング導入により処理区を増やし、8 処理区×8 樹種=64 試験区、3 回繰り返しに変更した。これらの試験設計見直しに伴う森林造成・調査経費についても再度関係者で協議し、同意した。

NTT 州の過剰農牧地におけるモデル林造成事業について、乾季がせまっているため、今年度の造成は行わないことで相手機関である林業省流域管理・社会林業総局 Benain Noelmina 流域管理署と協議し、同意した。



写真 1. 南カリマンタン州石炭採掘跡地モデル林造成地測量実施状況



写真 2. 南カリマンタン州石炭採掘跡地埋め戻し、表土ドレッシング状況

#### 4) 現地ワークショップの実施結果

平成23年度は、以下の通りインドネシア現地にてワークショップを計3回開催した。

##### 1. 第1回南カリマンタン州現地ワークショップ実施結果

日時：平成23年7月7日（木）09：30～11：30

調査員：大角泰夫、仲摩栄一郎、棚橋雄平（JIFPRO）

現地参加者：計25名

現地参加者内訳：

林業省流域管理・社会林業総局	1
林業省バリト一流域管理署	5
林業省林業研究開発局支所	1
州政府林業局、鉱山局	2
県庁林業部、鉱山部	4
大学関係者	2
鉱山会社関係者	8
農家	2
計	25

検討事項：

- ① 国際緑化推進センターの事業概要の説明
- ② 開発地植生回復支援事業の目的・概要の説明
- ③ 森林回復技術開発モデル林造成候補地の検討

##### 2. 第2回南カリマンタン州現地ワークショップ実施結果

日時：平成24年1月16日（月）09：30～12：30

調査員：大角泰夫、仲摩栄一郎（JIFPRO）

現地参加者：計17名

現地参加者内訳：

林業省流域管理・社会林業総局	1
林業省バリト一流域管理署	6
州政府林業局	3
県庁林業部	2
大学関係者	1
鉱山会社関係者	4
計	17

検討事項：

- ① 森林回復技術開発モデル林植栽樹種、植栽方法の検討

- ② 森林回復技術開発モデル林造成経費の検討
- ③ 森林回復技術開発モデル林造成スケジュールの検討

### 3. 第3回南カリマンタン州現地ワークショップ実施結果

日時：平成23年3月5日（木）09：30～11:30

調査員：仲摩栄一郎（JIFPRO）

現地参加者：計17名

現地参加者内訳：

林業省バリト一流域管理署	3
州政府林業局	1
県庁林業部	2
大学関係者	1
鉱山会社関係者	4
計	11

検討事項：

- ① 森林回復技術開発モデル林の造成状況の確認
- ② 森林回復技術開発モデル林植栽樹種、植栽方法、造成経費の再検討
- ③ 森林回復技術開発モデル林の立木生育状況調査計画の検討



写真3. 第1回南カリマンタン州ワークショップ実施状況



写真4. 第2回南カリマンタン州ワークショップ実施状況

以上

平成23年度途上国森づくり事業  
(開発地植生回復支援)

別添1

事業実施計画(案)およびインドネシア現地調査結果

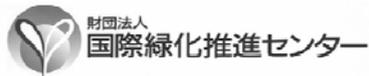
＜インドネシア国 実証モデル林造成予定地＞



南カリマンタン州石炭採掘跡地  
(酸性硫酸塩土壌)



東ヌサテンガラ州農林業開発跡地  
(アルカリ性土壌)



1

＜本発表の流れ＞

1. 事業の背景と目的
2. 事業の実施内容
3. 第1回開発地植生回復支援部会の結果
4. 事業の実施スケジュール(4年間)
5. 今年度の事業実施スケジュール

2

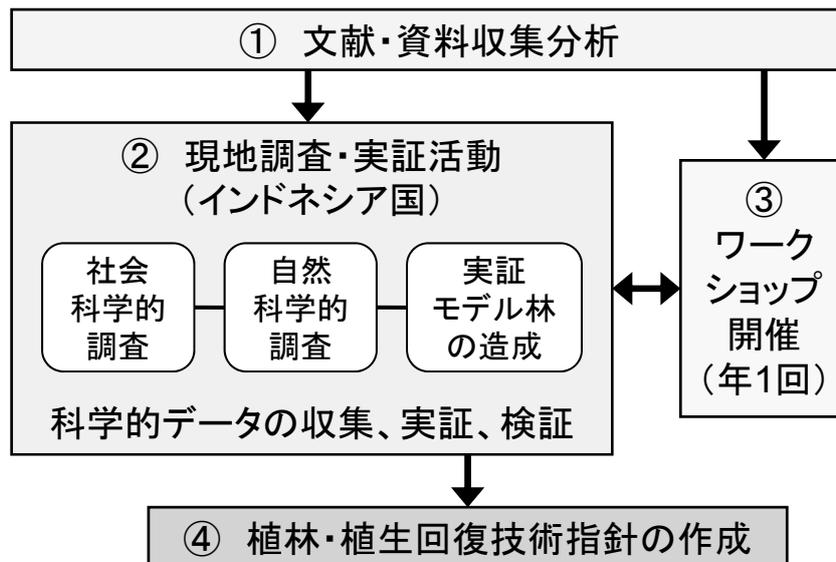
## 1. 事業の背景と目的

- 途上国では、鉱物採掘跡地、または気候・土壌の性質上農林業に適していない森林を開発した場合は、問題土壌が発生し荒廃地化している場所が多い
- こうした荒廃地の環境条件（気候・土壌）に着目し、現地調査・実証活動を通して、適切な樹種選択や植栽方法を用いた植林・植生回復技術を開発する。
- 開発した技術を普及するために、現場で簡易に使用可能なレベルにまとめた、植林・植生回復技術指針を作成する



3

## 2. 事業の実施内容



4

## ① 文献・資料の収集分析

### ア 荒廃地の開発要因と環境条件(気候・土壌)の分類・類型化

- 開発要因: 鉱物の採掘や農林業開発など
- 環境条件: 気候条件(湿潤・乾燥)、土壌条件(酸性硫酸塩・アルカリ性など)

### イ 荒廃地およびその周辺の森林及び疎林地の劣化状況の把握

- 土壌図、土地被覆図、土地利用図および衛星画像等を用いて把握
- 保全価値の高い森林が適切に管理されているか

### ウ 植林・植生回復に適用可能な森林施業技術

- 既存の文献・資料を収集し、リストを作成
- 環境条件や開発要因に応じて、分類・類型化してまとめる

5

## ② 現地調査・実証活動の実施: インドネシア国

FAO-UNESCO (1979) Soil map of the world 東南アジア版等を参考にして、当事業の目的に適合した対象地域を2地域つ選択

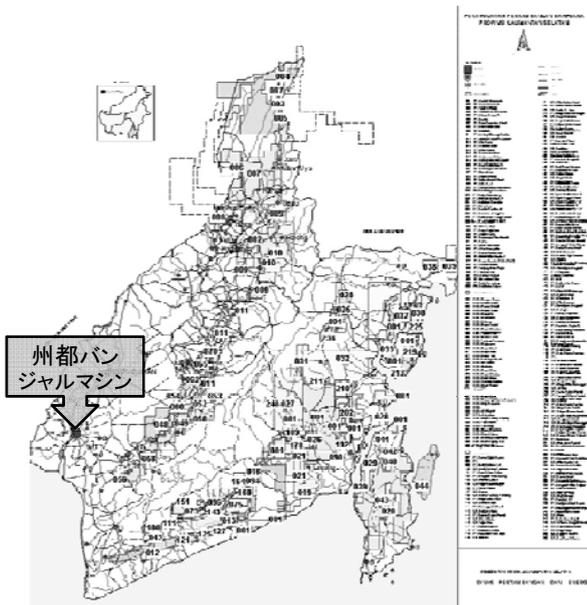
対象地域A. 南カリマンタン州石炭採掘跡地(酸性硫酸塩土壌)  
国内第3位の石炭埋蔵量、母材にパイライト含

対象地域B. 東ヌサテンガラ州農林業開発跡地(アルカリ性土壌)  
降水量が少なく季節的にも降雨が偏在、石灰岩母材



6

対象地域A. 南カリマンタン州石炭採掘跡地(酸性硫酸塩土壌)



地図1.

南カリマンタン州における石炭採掘事業  
 鉱区の分布  
 (2010年末時点)

南カリマンタン州面積:  
 3,753,052 ha  
 (100.0%)

総石炭採掘鉱区面積:  
 930,292 ha  
 (24.8%)

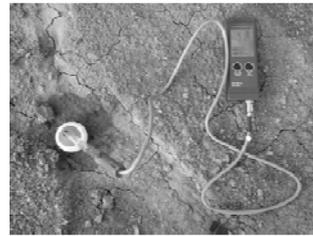
対象地域A. 南カリマンタン州石炭採掘跡地(酸性硫酸塩土壌)



地図2.

南カリマンタン州における  
 調査対象候補地  
 (実証モデル林の  
 造成候補地)  
 2ヶ所を予定  
 (A-1 & A-2)

対象地域A. 南カリマンタン州石炭採掘跡地(酸性硫酸塩土壌)



実証モデル林造成候補地 A-1:

- 元は地域住民の慣習的利用地(非国有地)
- 企業が石炭を露天掘り後に埋め戻し
- 2~3年放置
- 表土の埋め戻し無

pH試験紙、pHメーターともに、pH4程度を示す

9

対象地域A. 南カリマンタン州石炭採掘跡地(赤黄色土壌)



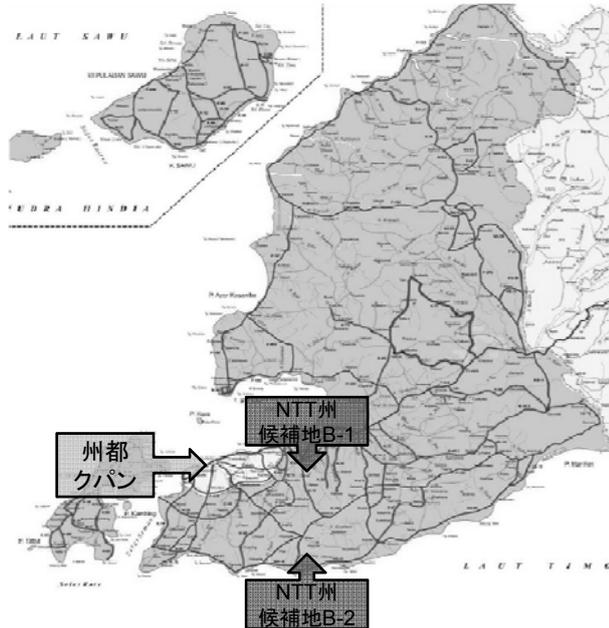
実証モデル林造成候補地 A-2:

- 元は地域住民の慣習的利用地(国有地)
- 企業が石炭を露天掘り後に埋め戻し中
- 表土の埋め戻し有(地表から1~2m)
- その下は、候補地1と同様にパイライトを含む

一部で試験的に、アカシア・マンギウムを造林し、樹下にメランティを植栽している

10

対象地域B. 東ヌサテンガラ州農林業開発跡地(アルカリ性土壌)



地図2.

東ヌサテンガラ州  
における  
調査対象候補地  
(実証モデル林の  
造成候補地)  
2ヶ所を予定  
(B-1 & B-2)

11

対象地域B. 東ヌサテンガラ州農林業開発跡地(アルカリ性土壌)



実証モデル林造成候補地 B-1:

- 元は地域住民の慣習的利用地(国有地)
- 地域住民が森林伐採後に放置

12

対象地域B. 東ヌサテンガラ州農林業開発跡地(アルカリ性土壌)

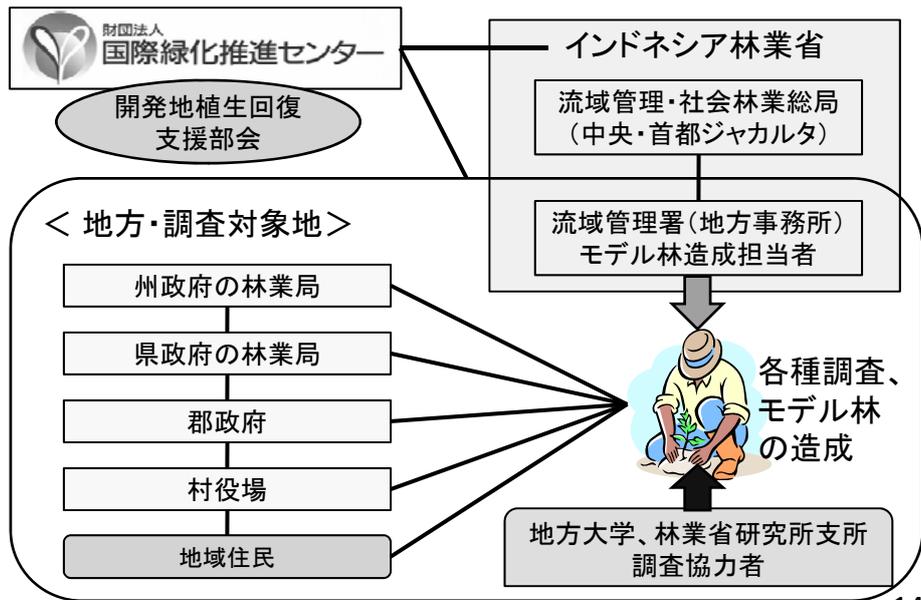


実証モデル林造成候補地 B-2:

- 国有地
- 地域住民が森林伐採後に放置

以前、チークを植えた模様  
見渡す限りでは、数本のみ生育

＜現地調査実施体制＞



### ③ 現地ワークショップの開催

<平成23年度の開催目的>

- 当開発地植生回復支援事業のお披露目
- 現地での既存の取り組み等の紹介を通して情報収集・情報交換

#### ワークショップA. 南カリマンタン州の州都バンジャルマシン市

開催予定日:平成24年2月

参加予定者:中央省庁、地方行政、研究機関、大学、企業、NGO等

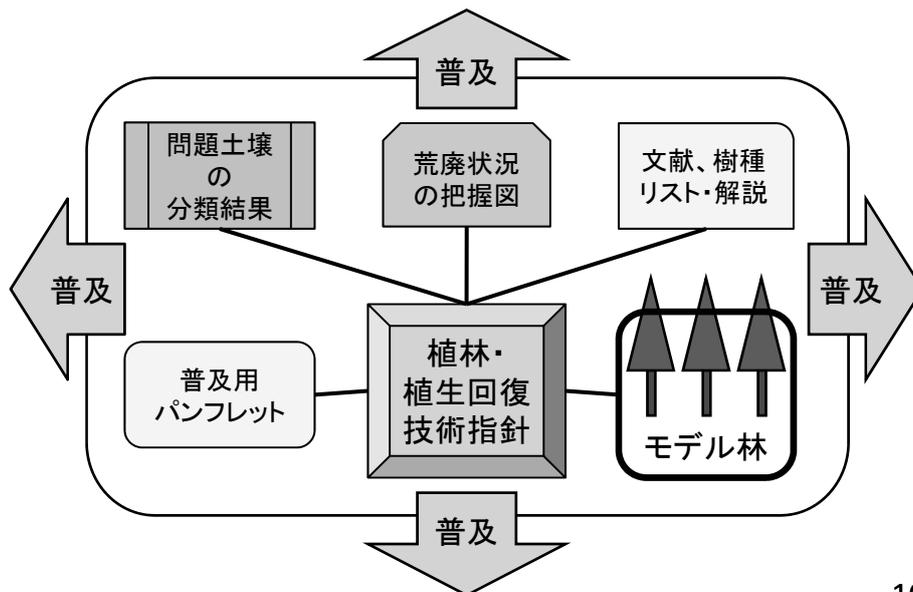
#### ワークショップB. 東ヌサテンガラ州の州都クパン市

開催予定日:平成24年2月

参加予定者:中央省庁、地方行政、研究機関、大学、企業、NGO等

15

### ④ 植林・植生回復技術指針の作成



16

### 3. 第1回開発地植生回復支援部会の結果

(2011年8月1日に開催)

#### <部会委員からの主なアドバイス>

- 対象地の環境条件、社会的条件によって、植林・植生回復のアプローチも違って来るし、ゴールも違って来る。それを理論・系統立てて整理しておいた方が良い  
例)
  - ・条件が極端に悪い場所には、耐性の強い樹種を植栽して環境造林
  - ・条件が良い場所では、価値の高い樹種や住民のニーズに合った樹種を植栽して利用する
- 一般的に、荒廃地では土壌の化学性だけでなく、物理性(コンパクション)や水環境(雨期の水位→根腐れ)も問題となるので要注意
- 苗木の質も大切で、産地系統や育苗方法の確認・改善が重要

17

### 4. 事業の実施スケジュール(4年間)

	23年度	24年度	25年度	26年度
①文献・資料の収集分析				
荒廃地の類型化	○	○		
荒廃状況の把握	○	○	(○)	(○)
森林施業技術	○	○		
②現地調査				
植生、土壌調査	○	○	(○)	(○)
社会経済調査	○	○	(○)	(○)
モデル林の造成	○(20ha)	○(20ha)	○(20ha)	
保育・データ収集	○	○	○	○
③ワークショップ開催	○	○	○	○
④技術指針の策定	作成準備	試案1	改訂	最終版

18

## 5. 今年度の事業実施スケジュール

平成23年度(月)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
委員会(●)・部会(○)の開催					○	●		○				○
①文献・資料の収集分析		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
②現地調査				■		■			■		■	
植生調査						□	→	→				
土壌調査				□		□			□	→	→	→
社会経済調査				□	→	→	→					
共生微生物調査									□	→	→	→
植栽樹種選定				□	→	□	→	→				
植栽計画策定				□	→	□	→	→				
モデル林の造成(20ha)									□	→	→	→
保育・データ収集									□	→	→	→
③ワークショップ開催											◎	
報告書提出												◆

19

ご清聴ありがとうございました



20