途上国森づくり事業 (開発地植生回復支援)

平成 24 年度報告書

平成 25 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様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。

この様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地域での森林・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、杉崎浩史課長補佐、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現地調査等に協力を頂いたインドネシア林業省をはじめ現地関係者の皆様に厚く御礼申し上げる。

平成 25 年 3 月 公益財団法人国際緑化推進センター 理事長 佐々木 惠彦

目 次

第1:	章 事業の概要	1
1)	本事業の目的	1
2)	本事業の全体計画	1
3)	委員会、部会の構成および開催記録	8
4)	現地調査の実施記録	10
第 2	章 開発地の森林・植生回復に適用可能な技術の分析	13
1)	熱帯における荒廃地森林回復施業技術の情報収集、分類・類型化(2)	13
2)	インドネシアの鉱山開発跡地における森林回復施業技術の情報収集	54
3)	インドネシア REDD+国家戦略報告書の概要	76
第 3	章 森林回復技術開発モデル林造成実証活動	80
1)	「技術開発モデル林」造成実証活動の実施体制および概要	80
2)	石炭鉱山開発跡地:インドネシア国 南カリマンタン州	81
3)	過剰農牧開発地:インドネシア国 東ヌサテンガラ州	90
第 4	章 現地調査の結果	94
1)	モデル林植栽木の生育調査(生存率、樹高等)	94
2)	土壌モニタリング調査(pH)	101
3)	土壌モニタリング調査(土壌硬堅・圧密度等)	111
4)	マルチング試験	118
5)	土嚢造林試験	131
6)	傾斜地用ひも造林試験	136
7)	Acacia mangium を用いた直播造林法	138
8)	共生微生物調査	141
9)	社会経済調査	152
第 5		
1)	炭坑跡地緑化のための土壌モニタリングマニュアル(素案)	165
2)	Soil Monitoring Manual in the Coal Mining Area (Draft)	178
第6	章 森林回復技術ワークショップ	201
1)	石炭鉱山跡地における森林回復技術(2012年9月開催)	201
添付	資料	
1)	森林再生成果の評価指針に関するインドネシア共和国林業大臣令(全訳)	236
2)	インドネシア REDD+国家戦略報告書(全訳)	263

第1章 事業の概要

1) 本事業の目的

鉱物採掘跡の放棄地(写真 1-1)や農業不適環境における過剰農業開発跡地(写真 1-2)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。この様な現状を打開するために、平成 23 年度からこのような開発地での森林・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、こうした開発地(森林回復困難地)の環境条件、特に土壌条件に着目し、 実証活動としてモデル森林の造成をとおして、自然科学的なデータを踏まえた上での適切 な樹種選択や植栽方法についての森林・植生回復技術を確立することを目的とする。確立し た技術は森林・植生回復技術指針として取りまとめるともに、広く普及するために、現場 で簡易に使用可能なレベルにまとめた技術指針(簡易版)も作成する。

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。



写真 1-1. 石炭採掘跡の放棄地 (インドネシア南カリマンタン)



写真 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) 本事業の全体計画

1. 本事業の進め方

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 1-1)。

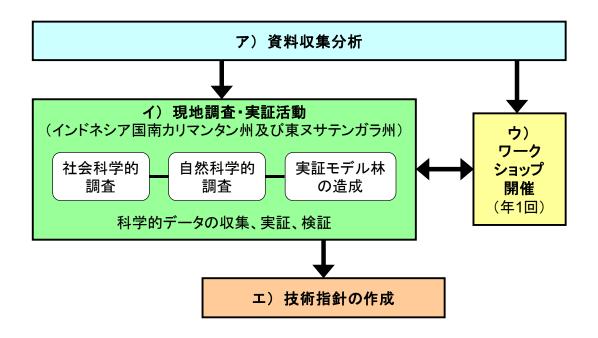


図 1-1. 開発地植生回復支援事業の進め方

2. 資料収集分析

(1) 森林・植生回復に適用可能と考えられる森林施業技術

平成 23 年度は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した。平成 24 年度は荒廃地の 植生・森林回復に適用可能と考えられる森林施業技術について引き続き情報を収集整理した。

(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

平成 23 年度は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した。また、石炭採掘許可に関する法令についても情報を収集した。平成 24 年度は、石炭採掘の森林・植生回復評価指針に関する法令および REDD プラス国家戦略等について情報を収集した。

(3) 開発地における土壌の分類・類型化

平成 23 年度は、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、硫酸酸性土壌とアルカリ性土壌等について分類した。 平成 24 年度は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)素案を作成した。

3. 現地調査・実証活動

(1) 森林回復技術開発モデル林の造成

インドネシア国内第 3 位の石炭埋蔵量を誇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剰農牧地を現地調査・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・実証活動を実施した。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剰農牧開発地(アルカリ性土壌)において、「森林・植生回復技術開発モデル林」を造成することとした(図 1-2)。

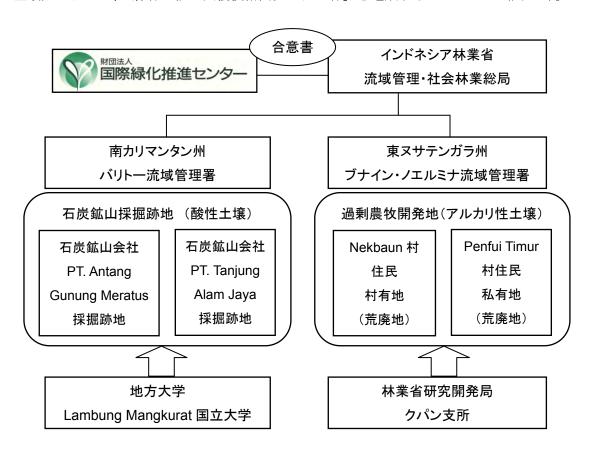


図 1-2. 南カリマンタン州及び東ヌサテンガラ州における現地調査および実証活動(モデル 林造成)の実施体制

平成 23 年度は、南カリマンタン州の民間企業 2 社(AGM 社、TAJ 社)の石炭採掘跡地において、対象地の環境条件(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8種リストアップし、客土・リッピング・施肥等を試験的に実施し、計 8.5ha(AGM 社:5.0ha、TAJ 社 3.5ha)の技術開発モデル林を造成した。

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 5 ha (AGM 社)、東ヌサテンガラ州の過剰農牧開発地において 8 ha (Nekbaun 村:4.0ha、Penfui Timur 村:4.0ha) の造林試験を新たに実施した。

(2) モデル林の立木の生育に関するデータ収集

上記の実証モデル林造成地において、植栽後の生存率および成長を継続調査することにより、どの樹種が石炭採掘跡地の強酸性土壌や農牧開発跡地のアルカリ性土壌に耐性を持つかを把握した。また、リッピング、客土や施肥等による各樹種の生存率や成長への効果についても分析し、開発地における適切な森林回復技術を実証的に検証した。

(3) 土壌調査(化学性(pHおよび土壌養分)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(酸性土壌)では、局所的に強酸性土壌が出現しており、森林・植生回復の障害の一つとなっている。採掘跡の埋め戻し材料中には、海成堆積物であるパイライト(Pyrite: FeS2-黄鉄鉱)が含まれ、これが時間の経過と共に徐々に酸化することで生成する硫酸に起因する酸性硫酸塩土壌(Acid Sulphate Soil)が今後も継続して形成される可能性が高い。そこで石炭採掘跡地における土壌の酸性化の進行速度を把握することを目的として、平成24年度から土壌pHのサンプル調査を定期的に実施した(写真1-3)。

(4) 土壌調査(物理性(硬度・密度)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(酸性土壌)では、採掘原材料を用いて埋め戻し、重機で填圧して地拵えが行われるため、極めて緻密で硬堅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、緻密な土壌のため透水性が著しく悪く排水不良で植栽木が過湿害によって枯死する事例も多い。

そこで、本造林試験では、土壌表面のリッピング(掻き起こし)や森林土壌を材料とした客土を実施して土壌改良を図っている。また、こうした堅密な土層は乾燥・湿潤の繰り返しや植生の根の発達に伴って徐々に膨軟な土層へと変化して行くと予想されるがその実態は不明である。このため平成 24 年度から土壌の圧密度の変化のモニタリングを開始した(写真 1-4)。



写真 1-3. 土壌 pH の測定



写真 1-4. 土壌密度の測定

(5) 造林技術(マルチング、土嚢、ひも、直播)の検討

石炭採掘跡地では、強酸性土壌等が発生するため、通常の造林方法では植栽木の活着率が低く成長しない場合が多い。そこで、マルチング、土嚢造林、ひも造林、直播造林等の造林技術を用いて植栽試験を実施した。

(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。平成 23 年度は菌根共生の形態、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し、平成 24 年度は、南カリマンタン州の石炭採掘跡地のモデル林造成地(酸性土壌)周辺において、土壌の抽出調査を実施した。

(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、平成 24 年度は、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、当該地域の経済状況、土地権利、森林減少の経緯等について社会経済調査を実施した。

4. ワークショップの開催

本事業成果の効果的な普及や荒廃地森林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において、「石炭鉱山跡地における森林回復技術」と題したワークショップを 2012 年 9 月 25 日に開催した。

日本側から 2 名、インドネシア側から 3 名が発表者を務めた。インドネシア側の参加者は、林業省の流域管理署、森林研究所の支所、州および県の林業局職員、民間企業および NGO 等から計約 40 名の参加を得た。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・情報交換を実施した。



写真 1-5. 大学講師による事例紹介



写真 1-6. 参加者からの質問

5. 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」(下記(1))およびその簡易版(下記(2))を作成する。

(1) 開発地における森林回復技術指針

1	開発跡地における問題土壌の判定手法マニュアル
2	開発跡地における適切な樹種選定・植栽方法マニュアル
3	開発跡地における地域住民参加実施手順マニュアル

(2) 普及用の森林回復技術指針(簡易版)

上記①~③の技術指針の要点を分かり易くまとめた簡易版を作成する。

なお、平成 23~24 年度は、その準備作業として、インドネシアにおける代表的な植林樹種の特性、半乾燥地等における造林技術や土壌モニタリングマニュアルについて素案をまとめた。

6. 開発地植生回復支援事業の実施計画(年度単位)

平成 23~24 年度に実施済みの項目 (●) および平成 25 年度から 26 年度までの 2 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	•	•	0	(()
イ)現地調査・実証活動				
土壤調査	•	•	0	(()
植生調査	_	•	0	_
共生微生物調査	_	•	0	(()
社会経済調査	•	•	0	(()
モデル林の造成	•	•	0	_
モデル林の保育	_	•	0	\circ
生育データ収集	•	•	\circ	\circ
ウ) ワークショップ開催	•	•	0	0
エ) 技術指針の作成	作成準備	作成準備	暫定版	最終版

^{※ (○)} については、必要に応じて継続して検討を実施する。

7. 開発地植生回復支援事業の成果とその効果や活用方法

本事業の成果を広く普及していくことは意義のあることであり、本事業の成果については、当センターのホームページや技術情報誌で一般公開するとともに、セミナーや個別相談等を通して、民間企業や NGO 等への技術指導についても積極的に対応していきたい(図 1-3)。

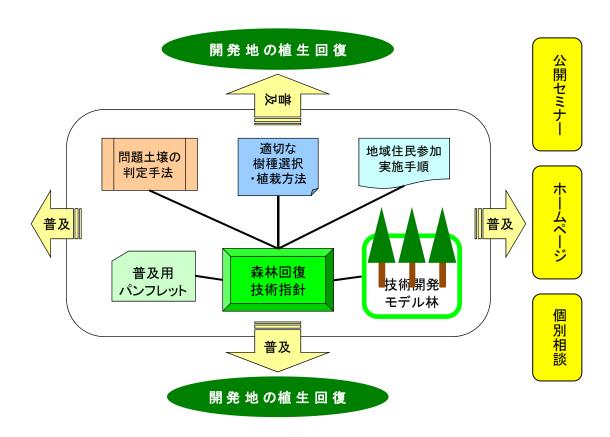


図 1-3. 事業の成果とその効果や活用方法のイメージ

3) 委員会、部会の構成および開催記録

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 特定非営利活動法人 エコデザイン推進機構 理事

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

(あいうえお順)

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:24年9月13日(木)14:00~16:00

場所:文京区スポーツセンター会議室(東京都文京区大塚3丁目29番2号)

議題:

- ①平成 23 年度の事業実行結果について
- ②平成 24 年度の事業実施要領案について
- ③平成 24 年度の事業実施計画案について 海外森林保全参加支援事業 貧困削減のための森づくり支援事業 開発地植生回復支援事業
- 4)その他

2. 部会

部会は、年 3 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

(あいうえお順)

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: 24年6月22日(月) 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事業目的・全体計画の説明
- ②これまでの事業結果の報告
 - 森林回復技術開発モデル林の造成状況(試験計画、途中経過)
 - ・土壌モニタリング調査(pH、土色等)
 - ・土壌温度と Mulching の効果
- ③平成 24 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11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事業の進捗状況の説明
- ②モデル林造成地における各種調査結果
 - 1) 植林木の生育調査(生存率等)
 - 2) 土壌モニタリング調査 (pH、土色等)
 - 3) マルチング調査(土壌温度&水ポテンシャル)
 - 4) 微生物の調査
- ③今年度のモデル林造成計画、調査実施計画
- ④その他
- (3) 第3回 開発地植生回復支援部会

日時: 25年2月19日(火) 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事業全体の進捗状況の説明
- ②実証活動及び各種調査結果
 - 1) 森林回復技術モデル林造成実証活動
 - 2) 土壌モニタリング調査 (土壌硬堅・圧密度等、pH、土色等)
 - 3) 微生物関連調査
 - 4) 土囊造林試験
- ③今年度報告書案について
- ④その他

4) 現地調査の実施記録

平成24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

期日:平成24年5月7日(土)~20日(月)

調查員:大角泰夫研究顧問、仲摩栄一郎主任研究員(JIFPRO)、

田中一生助手(早稲田大学)

調查地:

- ・南カリマンタン州バンジャル県、南ウル・スンガイ県
- ・東ヌサテンガラ (NTT) 州クパン県
- ・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 南カリマンタン州・・・AGM 社、TAJ 社石炭採掘跡地・モデル林生育状況調査、土壌 pH 調査等
- ③ 東ヌサテンガラ州・・・Nekbaun 村、Penfui Timur 村植栽予定地
 - ・モデル林造成予定地の調査等

2. 第2回現地調査

期日:平成24年7月16日(月)~29日(日)

調查員:大角泰夫研究顧問、仲摩栄一郎主任研究員(JIFPRO)

調査地:

・南カリマンタン州バンジャル県、南ウル・スンガイ県

・東ヌサテンガラ (NTT) 州クパン県

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 南カリマンタン州・・・AGM 社、TAJ 社石炭採掘跡地・モデル林生育状況調査、土壌 pH 調査等
- ③ 東ヌサテンガラ州・・・Nekbaun 村、Penfui Timur 村植栽予定地
 - ・モデル林造成予定地の調査等

3. 第3回現地調査

期日: 平成 24 年 9 月 16 日(日)~28 日(金)

調査員:仲摩栄一郎主任研究員(JIFPRO)9月16日~28日

大角泰夫研究顧問(JIFPRO)、田中一生助手(早稲田大学)9月18日~28日 佐々木惠彦理事長(JIFPRO)9月21日~28日

砂入道夫教授、相澤朋子研究員(日本大学)9月21日~24日

調查地:

- ・南カリマンタン州バンジャル県、南ウル・スンガイ県
- ・東ヌサテンガラ(NTT)州クパン県
- ・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 南カリマンタン州・・・AGM 社、TAJ 社石炭採掘跡地等
 - ・モデル林生育状況調査、土壌 pH 調査、土壌サンプリング
 - 新規植栽候補地の検討等
 - ・石炭採掘跡地における森林造成についてのワークショップ
 - ・AGM 社、モデル林の落成式典
- ③ 東ヌサテンガラ州・・・Nekbaun 村、Penfui Timur 村植栽予定地
 - ・モデル林造成予定地の調査、社会経済調査等

4. 第 4 回現地調査

期日:平成24年11月25日(日)~12月7日(金)

調查員:仲摩栄一郎主任研究員(JIFPRO)11月25日~12月7日

大角泰夫研究顧問(JIFPRO)、田中一生助手(早稲田大学) 11 月 25 日~12 月 1 日 太田誠一教授(京都大学) 11 月 25 日~12 月 2 日

調查地:

- ・南カリマンタン州バンジャル県、南ウル・スンガイ県
- ・東ヌサテンガラ (NTT) 州クパン県
- 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 南カリマンタン州・・・AGM 社、TAJ 社石炭採掘跡地
 - ・モデル林生育状況調査、土壌 pH、硬堅・圧密度調査等
 - ・マルチング、土嚢造林、ひも造林、直播造林試験
- ③ 東ヌサテンガラ州・・・Nekbaun 村、Penfui Timur 村植栽予定地
 - ・モデル林造成予定地の調査等
 - ・来年度のモデル林造成地の事前調査 (Silu 村共有利用地)

5. 第5回現地調査

期日:平成25年3月16日(土)~22日(金)

調查員:森德典研究顧問、大角泰夫研究顧問、仲摩栄一郎主任研究員(JIFPRO) 調查地:

- ・南カリマンタン州バンジャル県、南ウル・スンガイ県
- ・東ヌサテンガラ (NTT) 州クパン県
- 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 南カリマンタン州・・・AGM 社、TAJ 社石炭採掘跡地
 - ・モデル林生育状況調査、土壌 pH 調査等
 - ・マルチング、土嚢造林、ひも造林、直播造林試験の結果確認

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) 熱帯における荒廃地森林回復施業技術の情報収集、分類・類型化(2)

国際緑化推進センター 特別研究員 加茂 皓一

1. はじめに

昨年度は荒廃地全般にわたり、再生・修復施業の事例を調べ、取りまとめたが、本年度は、本事業の対象地でもある、最も攪乱の程度が強く環境保全の面から森林修復の必要性が高い鉱山跡地と広く熱帯地域に分布し修復が急がれている農牧跡地を対象に文献を収集し、これらの荒廃地における施業の要点を整理した。農牧跡地のアルカリ土壌については適当な施業事例を見いだすことが出来なかったため、荒廃地修復技術に関する総説からアルカリ土壌の箇所を抜き出し、植栽技術の概要を整理した。そして荒廃地の再生、修復、復元の要である樹種選択と立地改良については、新しい技術情報を加えて、要点や対処法を整理した。なお、今年度の文献収集は、修復研究や修復事業が盛んに行われている中南米とオーストラリアが中心になった。この地域は、以下の考え方を基本に、植生遷移を利用した森林の修復研究(restoration ecology)が進んでいる地域でもある。

一般に生態系は、自然あるいは人為的な攪乱が起こった後、回復に向かう。その回復過程が二次遷移である。しかしその回復はチガヤ草原などのように攪乱によりしばしば停滞し、また攪乱がない場合でも元の生態系に戻るのには熱帯でもかなりの時間を要する。極度の攪乱を受け土壌が消失したところでは一次遷移によって植生が回復し、さらに長期の時間がかかる。そこで修復作業の基本は、停滞した植生遷移の進行を助け、遷移全体を加速させることにある(Bradshaw 1987; Young et al 2005)。荒廃地で森林を復元させるため、遷移の流れが停滞しているところには徹底的、積極的に人為を加え、後は遷移の流れにまかせ、必要があれば遷移を加速させるため手を加えるというのが、基本的な修復の考え方である。東南アジアでの森林再生、修復に参考になることが多いとみられるので、この考えを基にした森林の修復、復元研究の事例を収録した。

昨年度の引用文献との重複をさけるため本稿で引用した昨年度引用文献には発行年の後に*を付けた。

2. 荒廃地再生技術の既往の文献情報

記載方法は前報に準じた。

2.1. 鉱山跡地

2.1.1. マレーシアでの事例

分類:強度の攪乱地(鉱山跡地)、熱帯多雨林気候(年平均雨量 4390± 1083mm) 再生(修

復) 産業造林・環境造林

「錫鉱跡荒廃地の植栽試験」(Ang & Ho 2004)

① 目的:

錫鉱山跡のせき悪砂地および泥鉱地で有用樹種育成のための林地改良試験を実施。

② 調査地:

マレー半島ビドー(4°6'N, 101°16'E)、錫採鉱(1950年代)後約50年たった砂土地と 泥鉱地(粘土とシルトが90%; 砂地より土壌条件は良いが、多雨期に滞水)。

③ 方法:

土壌物理性の改善ー砂地:トラクターで耕耘(深さ $35\sim45cm$)、大きな植え穴 $(1\times1\times$ 0.5m) を掘り、根圏から σ 蒸発散を軽減するため根巻き(root-ball)を砂地表面から 45cmまで下げた。泥鉱地:回転式耕耘機で乾期の土のひび割れをふせぐため耕耘、1日 7mm 以上の雨で滞水するため盛り土(高さ 20~25cm、幅 1.5m)を作り、植え床に深さ 1.5 ~2m×0.75~1m の排水渠を掘った。土壌化学性の改善ー砂地と泥鉱地では鉱物土壌よ り多量要素といくつかの微量要素が少なく、pH が低い、特に砂地では養分が少ない。そ こで後述する施肥を行った。植栽樹種:砂地-Swietenia macrophylla, 砂地・泥鉱地-Hopea odorata, Acacia mangium, Acacia crassicarpa, A. mangium XA. auriculiformis, 泥鉱地-Khaya ivorensis, Measopsis eminii, Dyera costulata, Intsia palambanica, Tectona grandis, Dryobalanops oblongifolia, Fragraea crenulata, Peronema canescens. 植栽後保育:除草-Blanket 除草ならびに植栽木から半径 1.5m の円形除草を実施。植栽 木の周囲を除草した後、除草剤散布。Blanket 除草は年1回、円形除草は年4回実施。施 肥一砂地: 植栽直後 NPK(15;15;15)10g+TE を各植栽点に施肥、1 ヶ月後に空の果房 2 kg と NPK(15;15;15)20g の混合物を各植栽点に施肥。泥鉱地: NPK(15;15;15)10g+TE と 100g のマグネシウム石灰(GML)を植栽前に各植え穴に施用。年2回、鶏の下肥 200~ 250g と NPK(15;15;15)30g+TE を各植栽点に施肥。枝打ちを全樹種に、また多幹の Acacia は単幹作業を実施。

④ 結果:

植栽後 2 年間の生存率と成長量から、砂土では S. macrophylla(生存率 70%, 樹高成長量 0.6-1.2m/y), H. odorata(95%, 1.0-1.8m/y), A. mangium(50%, 0.6-1.3m/y), A. mangium × A. auriculiformis(65%, 0.9-1.6m/y), 泥鉱地で K. ivorensis(85%, 0.3-2.1m/y), F. crenulata(97%, 1.2-2.3m/y), P. canecens(85%, 0.5-2.5m/y(1 年間))が植栽有望樹種と推測され、周到な土壌改良と植林作業により錫鉱跡地では早生樹だけでなく有用樹種育成の可能性が示された。またアカシア混植区に樹下植栽した薬用植物 Eurycoma longifolia (天然林低木層樹種、強壮剤でマレーシアでは有名) は良く生育し、アグロ的な施業の可能性も示された。

2.1.2. オーストラリアでの事例

分類:強度の攪乱地(鉱山跡地)、地中海性気候(平均気温(8.4℃(雨季・冬:6月~8月)、29.2℃(乾季・夏:9月~5月))、年平均雨量 1217mm(607~2169mm)、復元、環境造林「ボーキサイト鉱山跡地修復のための表層土処理技術の評価(土壌**播**きだし(前報参照)による森林再生法)」(Tacey & Glossop 1980)

① 目的:

鉱山跡地で表土の**播**きだしによる植生回復をはかるため、3種類の表土処理効果を検証する。

② 調查地:

西部オーストラリア、パースの **45** キロ南東 Jarrahdale 鉱山(**32**° **17**'S, **116**° **5**'E)、ラテライト(リンとカルシウムが少、A 層は **50cm**)、復元、環境造林、付近は乾燥硬葉樹林(適地では樹高 **30~40**m、直径 **2m**)が優占。

③ 方法:

3種類の処理区:i)貯蔵処理区-表土を地表から 40cm はぎ取り、採掘地の近くに 10m の高さに積み重ね 2 年間貯蔵し、鉱石採掘後、元の場所に平均 40cm の厚さで客土。 ii)直接表土客土区-表土を 40cm はぎ取った後、直ちに鉱山跡地に客土 iii)表土 2 回客土区-i)の処理の後、鉱山区外の表層土(深さ 5cm)を客土。処理後発芽した植物数を調査、4,5 年後に高さ 2 m以下の植物の種名、個体数を調査、近くの天然林でも方形区を設け、同様の植生調査を実施。また植被とリターの被覆も調査。これとは別に、天然林の土壌を層位別(深さ 0-1cm, 1-2cm, 2-5cm, 5-10cm)に採取し、土壌からの発芽個体を調べた。

④ 結果:

i) 発芽数は二回客土区が他の処理区より有意で多かったが、他の 2 処理の間では有意な差はなかった。ii) 土壌層位別発芽試験の結果、表層 2cm からの発芽数が全発芽数の 93% を占めた。発芽個体の種の豊かさ(種数)は 3 処理区中 2 回客土区でもっとも多く、天然林区に近い値を示した。植被は 2 回客土区が貯蔵区より大きく、処理 4 年後で天然林の約 50%に達した。リター被覆は天然林が処理区より著しく大きかった。ただし植被、リター被覆ともバラツキが大きかった。

以上から、鉱山跡地で土壌の**播**きだしにより植生回復をはかる場合、2回客土がもっとも有効であるが分かった。発芽試験の結果から、表層 2cm 土壌を客土散布すればさらに効果が高まると考えられる。なおオーストラリアでは土壌からアリが種子をよく運び去るので、その被害を軽減するため乾季の開始直後に客土するのがよい。

分類:強度の攪乱地(鉱山跡地)、気候:同上、復元 環境林 「南西オーストラリア Alcoa 鉱山の修復事業と修復結果」(Koch 2007^a、Koch & Hobbs 2007)

① 目的:

鉱山採掘の環境への影響を最小限に抑えるため Alcoa 鉱山では、採鉱後、採鉱前の環境に戻す作業が行われている。その作業の流れを概説し、森林修復事業の結果を検討する」

② 作業地:

Jarrah(Eucalyptus marginata)林地帯、修復事業は 1966 年に単に外来マツを植栽すること から始められたが、その後修復方法が改善され、最近毎年 550ha を修復作業し、現在 13000ha が修復作業中か修復されている。鉱山は大都市パースの近くに位置し、水源地の一角を占めているため鉱山事業は公共と政府の監視下に置かれている。

解説:鉱山採掘前の環境に戻すための作業の流れ

③ 修復作業

A. 伐採前

- a. 鉱山採掘予定地における採鉱が環境へ与える潜在的な影響の評価:先住民の遺産の場所、植物相、動物相、外来植物微生物害林を調べ、それらの地図を作成する。先住民の遺産調査は地域の先住民と考古学者によって行われる。植物相調査では絶滅危惧種や希少種の生育地を、動物相調査では希少種や保護種の生育場所を特定し、また外来種による病害の危険性がある森林を調べる。それらを基に採鉱の環境への影響を最小限に抑える採鉱計画を策定。
- b. ボーキーサイト鉱の探査:野外地質学者によって削岩機を使い、樹木への影響を少なくするような探査を実施。
- c. 森林伐採(皆伐):伐採は大型機械で行われるが、収穫後の幹枝の残片は炭やチップ、マルチなどに利用。
- d. 土壌の除去:土壌は二層に分けて除去(double stripping)。一つは表層(深さ 15cm)で種子、有機物、植物養分、微生物が含まれ、表層土壌は採掘後の森林復元過程で重要な役割を果たす。可能であれば、表層土は保存せず、採掘跡地に直ちに戻す方が表層土壌の活力が失われず、森林再生をより早く、効率的に進められる。本鉱山では可能な限り、除去した表層土壌は直ちに別の採掘が終了した鉱地に次の下層土(被覆岩)が戻された後客土している。もう一つの層はそれより下部のラテライト表層固結層までの平均厚さ 40cm(10~80cm)の下層土で、被覆岩(overburden)と呼ぶ。被覆岩は採掘地に隣接して保存され、採鉱終了後、採鉱地に返す。

B. 採鉱

a. 爆破・採掘:鉱石を含有するラテライト表層固結層(深さ平均1m)が爆破され採

鉱されるが、爆破は近隣への騒音公害を防ぐため政府の定めた基準値以下に保つように実施する。

b. 修景と事前リッピング(landscaping and pre-ripping) 採掘後窪みから水が近隣に流出しないように、ブルドーザで地面をならす。そのあ と、土壌からの水の浸透性を高め、根の発達を容易にするため、1.6m 間隔で深くリ

ッピング。

C. 採鉱後

a. 被覆岩と表土の返却:地ならし機を使い、まず、保存してあった被覆岩(overburden)を戻し、次に近くの採鉱予定地から表土を直接客土。直接客土できない場合、近くで表土を採取し、篩にかけて砂礫を除き、この種子を含んだ細かい表土を、保存してあった表土を戻した後に客土している。

木片と岩の返却:材の残片や岩などを戻し、自然状態では著しく時間がかかる、脊椎・無脊椎動物の住処を少なくとも1~クタールに一つ造成。

- b. 等高線リッピング: 再度のリッピングを深さ 0.8m まで等高線に沿って行う。この 作業によって被覆岩と表土の客土の際に固められた土がほぐされ、等高線沿いに溝 が作られる。溝は植生が回復するまで水を容易に浸透させ、土壌流亡を防止。
- c. 播種:地域的な遺伝形質を保つため鉱山から 20 キロ以内の林地から樹木と下層植物 の種子を集め、78~113 種の種子を混ぜて、ヘクタール当たり 1 キロを機械を使い 散布。乾燥した夏と秋に散布。必要な場合は散布前に熱湯か燻煙で発芽処理。
- d. 植栽: 難貯蔵性種子埋土種子や直まきによって発芽が難しい植物は苗木や挿し木、 組織培養苗などを使い、植栽。現在 Alcoa の苗畑では 28 種が増殖されており、毎 年最大 20 万本の苗木を植栽。
- e. 施肥:リン酸二アンモニウム肥料にカリウムと微量養分を混ぜ、ヘクタール当たり 280 キログラムをヘリコプターによって晩冬に散布。空中散布するのはリッピング した土壌がかたまったり、溝が崩されるのを防ぐため。これで修復作業は終了。
- f. モニタリング:修復作業の終了 9 ヶ月後、成立した植物数が環境保全局と Alcoa と の間で合意した目標数に達しているかどうかを調べる。土壌流亡や雑草はこの時期 に処理する。作業終了 15 ヶ月後 150 個の固定方形区を作り、種の豊かさ(種数)を 調べ、その後 50 年後まで追跡調査する。

以上のように、修復作業とその後のモニタリングは鉱山採鉱と切り離して行われているのでなく、鉱山事業の一環として実施されている。

④ 修復作業の結果 (~約30年)

生態系機能:植生の成長、リターの蓄積、物質循環などは天然林に匹敵し、現存量と養分の蓄積は早く、森林機能は回復した。このような森林機能の回復には、機能回復の障

害となる硬い地面を深くリッピングすることが不可欠であり、また表層土壌の返却、採鉱作業後の植生除去にともなう養分不足を補うための施肥、窒素固定マメ科在来樹種の導入が重要であることが分かった。生態系構造:植生の構造は種組成や成長速度に影響されるが、時間とともに回復している。生物多様性:草食性獣などは急速に帰っており、食虫動物、肉食獣は餌やすみかが増えると帰ってきた。ただし、生物のすみかとなる腐朽した丸太や木の穴などはまだ修復作業地では見られない。生物多様性が完全に回復するのにはかなりの時間を要すると見られる。水文:当地では冬に降った雨が土壌深くに蓄えられ、夏の乾燥期に植物に利用される。当地の気候(地中海性気候)では降水量の75-85%が蒸発散し、残りの15-23%が地中に蓄えられる。採鉱作業でラテライト岩石層が破壊され、この水文特性が失われているのは明らかであるが、30年にわたるモニタリングの結果、植物の成長は水分欠乏の兆候を示しておらず、植物が地中の水分を利用していると推定され、当地の水文特性も回復しつつあると見られる(水源林の機能が回復しつつある)。

2.1.3. アマゾンでの事例

分類: 強度の攪乱地 (鉱山跡地)(調査の対象は主に天然林)、熱帯多雨林気候 (平均**雨量 2185** \pm 64(SE)(1970-1994)、雨季(夏)11 月~5 月、乾季(冬)月雨量 100mm 以下 7 月~10 月、平均最高気温 34.6°C、平均最低気温 19.9°C)、復元、環境造林

「森林復元のための天然林からの樹種選抜の革新的方法」(Knowles & Parrotta 1995)

① 目的:

天然林構成樹種の結実生態、増殖方法**を調べ**、現地適用試験を**行い**、経済的、効率的に荒 **廃地**を修復可能な樹種を選抜し、その更新方法を検討する

②調査地:

ブラジル、パラ州西部、常緑赤道湿潤林(樹冠高 20-35m、突出木高 45m) および Trombetas ボーキサイト鉱山(1°40'S, 56°27'W)、酸性 yellow clay latosols。

③方法:

経済的で効果的な苗木(種子)の増殖方法を明らかにするため鉱山周辺の天然林 600 へクタールで見いだされた 160 樹種について、結実時期、種子散布方法、種子の発芽能力、発芽処理必要性を調べ、さらに苗木の種類(種子(直播き)、スタンプ苗(山引き苗を使用)、山引き苗、苗畑育成苗木)別に鉱山跡地での各樹種の生存と成長を 2 年間追跡調査した。

④結果:

植栽前の在来植栽樹種の増殖と荒廃地生育特性の評価

i) 種子結実:

14 年間の観察を元に 160 樹種の結実季節が明らかにされ、一年中結実している樹種から結実期間不連続で短い樹種まで様々な結実パターンがあった。全樹種の三分の二は結実種子の採集が容易(36%)かやや難しい (27%)樹種であった。またほとんどの樹種は種子の寿命が短く、22%は1ヶ月以内に活力を失った。

ii) 種子散布:

多くの樹種(69%)が動物散布種子であった。

iii) 種皮処理(休眠):

160 樹種中 71%は経費のかかる種皮処理を必要としなかった。残りの 21%は物理的処理、7%は化学的処理(濃硫酸につける) が必要であった。

iv) 苗木の種類:

経済性と荒廃地適応性-種子(直播き)、スタンプ苗(sapling 幼樹)、山引き苗、苗畑育成苗木の順に経費がかかるが、鉱山跡地で生育できる樹種は、もっとも経済的な直まきが 21%(直まきが可能な樹種は、長さ 2cm 以上の幅の広い、比較的大きな種子を作る樹種に限定された)、次いで経費が節減できるスタンプ、苗山引き苗が各々8%、49%で、残りの 22%はこれらの苗木では荒廃地造林が難しく、もっとも経費のかかる苗畑での育苗が必要であった。

v) 各樹種の荒廃地適応性:

鉱山跡地で植栽した各樹種の 2 年間の生育状態から、各樹種の裸地での生育可能性を、生存率が 75%以上で主軸に活力がある樹種を「良」、生存率が 50~75%で、裸地でも活発に伸長成長しているが、少なくとも最初の6~12ヶ月は部分的な被陰を好む樹種を「並」、生存率が 50%以下で伸長成長が止まっている樹種を「不良」に分けた。なお各グループの中間的な樹種は下のグループに入れた。その結果、37%が「良」、19%が「並」で、160 樹種の 56%は荒廃裸地で生育可能と推測された。残りの 44%の樹種は「不良」で裸地での生育は困難であった。このような樹種は、裸地で生育できる樹種を植栽し林冠が閉鎖した(この地域では植栽後 5 年が目安)後、樹下植栽するのが適切な植栽方法である。

以上からこの方法を用いれば生態、造林特性の不明な天然林樹種の中から鉱山跡地の荒廃裸地での育成可能な樹種を経済的、効率的に選抜可能であることがわかった。他の熱帯林破壊が起こっている地域でもこのような方法で天然林の中から荒廃地で生育可能な樹種を選抜できるだろう。

分類:強度の攪乱地、熱帯多雨林気候(平均**雨量** 2185 \pm 64(SE)(1970-1994)、雨季(夏) 11 月~5 月、乾季(冬)月雨量 100mm 以下 7 月-10 月、平均最高気温 34.6 $^{\circ}$ C、平均最低気温 19.9 $^{\circ}$ C)、復元、環境林

「ブラジルアマゾンのボーキサイト鉱山跡地での森林の復元」(Parrotta & Knowles 1999, 2001)

① 目的:

鉱山跡地を天然林に復元するための土地改良の有効性と更新方法を検討する

②調査地:

ブラジル、パラ州西部、Trombetas ボーキサイト鉱山(1°40'S, 56°27'W)、酸性 yellow clay latosols、鉱山は 1982 年~1986 年に採鉱され、付近は常緑赤道湿潤林(樹冠高 20-35m、突出木高 45m)が残存。

③方法:

植栽前の処理:

標準的な土地改良と地拵えが行われた(表土(粘土)の地ならし、鉱石採掘前に取り出し別の場所に保存していた表層土(深さ約 15cm)・木破片を客土、1m 間隔で深さ 90cm の縦びき(deep-ripping)。

播種、植栽(1985-1986年):

植栽間隔 2×2m (2500 本/ヘクタール、試験区:i)在来種混植(約70 樹種の遷移段階の異なる樹種)、ii)在来種混植・改良不十分(在来種混交区と同じ樹種を土地改良、特に表土の客土が不十分な場所に植栽)、iii)経済的樹種混植(主にユーカリやアカシアなどの外来早生樹)、iv)直播き(主に寿命の短い48 樹種、発芽後萌芽を促すため40cmの高さになると切断)、v)天然更新(客土からの発芽(播きだし法(前報参照)))、対照区(天然林)

調査(1995~1997年):

i)樹木、潅木、蔓植物、草本、イネ科植物の種名、個体数、ii)樹木と灌木(ヤシを含む)の樹高、樹高 2m 以上は直径、植栽木の樹高、直径は別に測定、iii)長期にわたる観察などから各樹種の寿命(<20, 20-40, 40-80, >80 年)を推定、iv)樹冠の被覆度、v)リターと腐植の深さを円形プロット(直径 10m)で測定。繰り返し数は各処理区の面積に応じて調節。

④結果:

i) 地表処理の効果(在来種混植、在来種混植・改良不十分):

植栽木の断面積合計、樹高、林冠の閉鎖度は土地改良が不十分な試験区では、標準的な土地改良が行われた試験区より小さく、またリターの集積速度と腐植の発達も比較

的貧弱だった。植栽木と植栽後天然更新した樹木の総個体数密度は、改良不十分区と 改良区とで大きな違いはなかったが、種の豊かさ(種数)は改良不十分区では改良区 より著しく少なかった。改良不十分区では植栽木の生育状態が不良で、雑草や極めて 少数の寿命が短い先駆樹種が優占しており、遷移が停滞する危険性があった。以上か ら鉱山跡地における徹底した土地改良、特に表土の客土の重要性が明らかになった。

ii) 在来種混植、経済的樹種混植、直播き、天然更新の各処理試験区(約 10 年後) と天然 林区の生育状態:

各処理区の林冠被覆度、リターと腐植の厚さには大きな違いはなかったが、断面積合計と樹高は経済的樹種混交区が他の処理区より大きかった。リターと腐植の厚さを除いてこれらの値は各処理区の方が天然林区より程度の違いはあるが小さかった。

iii) 各処理区の種の豊かさ、種構成:

方形区当たりの種の豊かさは天然林区が一番大きく、次いで、直播き区、在来種混交区、天然更新区となり、経済的樹種混交区でもっとも少なかった。各処理区では客土した土の埋土種子および近くの天然林からの散布種子による天然更新で成立した樹木と潅木が植栽木より圧倒的に多く、種数で全体の70-83%、個体数で88-98%を占め、植栽後の遷移が進んでいることが明らかにされた。ただし、比較的寿命の長い樹種が少なく、ユーカリやアカシアが寿命に達すると雑草などが侵入し、今後遷移が停滞する危険性があった。一方在来種混交林では、遷移系列が異なり、また推定寿命が異なる多様な樹種が成立しており、このまま遷移が進む可能性がもっとも高かった。全ての処理区で天然林の重要な遷移後期樹種の科群の幾つかは天然林より著しく少なかった。これは後期樹種植栽木の初期生存率が低かったことと、これらの遷移後期樹種は種子が大きく、天然林からの動物散布が限られていたことによると推定される。鉱山跡地から植栽・直播きとその後の天然更新により天然林に近い林に比較的早く遷移させるために、植栽木が十分大きくなり林内作業が容易になった時点で、種子の大きな遷移後期樹種を樹下植栽する方法が施業の1つの選択肢となる。

以上から集約的に土地改良された鉱山跡地では、天然林表層土壌の客土、在来種の直播き、また在来種の多種混交植栽といった人為を加えることにより、その後の天然更新も加わり、処理後約 10 年で各々の処理区で二次林が成立し、遷移が進んでいることが明らかになった。さらに人為を加えると天然林に近い森林に復元できる可能性が強いことも示唆された。

2.2. 農牧跡地

分類:中度の攪乱地(農業・放牧跡地)、湿潤熱帯(年平均気温 24℃、年平均雨量 4000mm)、 修復、環境造林(産業造林)

「放牧跡地の在来種混交植栽: 湿潤熱帯における生産力と生態系機能の修復」 (Montagnini & Piotto 2011)

① 目的:

在来樹種植林による牧場放棄地での土壌、生産力、環境保全機能の回復可能性の検証。

② 調査地:

La Selve 生物研究地、コスタリカ(10° 26'N, 86° 59'W、標高 50m)、Fluventic Dystropepts 土壌(排水良好、pH <5.0、近くの若い二次林に比して土壌有機物量(2.5-4.5%)、土壌肥沃度が低く、通常の農業は行えない)、灌木と遷移初期樹種が優占し、草とシダがパッチ状に散在。15~18 年生二次林に囲まれ、天然林からは約 1000m 離れている。

③方法:

3つの植栽地で、各4樹種の単植区、4樹種混植区、無植栽対照区を設けた(計6処理区、繰り返し4)。植栽間隔2m×2m。植栽樹種は成長、樹形、土壌の潜在回復能力、根瘤、経済的価値、種子の入手可能性を元に選定。各混植区には枝の分岐と樹冠の形状、大きさが異なる樹種を植栽し、少なくとも1つのマメ科、成長が比較的早い樹種、遅い樹種を含めた。植栽3年後、6年後に試験区の半数を植栽間隔4m×4mに間伐した。

④結果:

i)植栽に関しては、15-16年後に各植栽地で混植区の方がほとんどの単植区よりも生存率、材積、現存量(炭素蓄積量)が大きくなった。ii)いくつかの樹種では、混植区の方が単植より病虫害が少なかった、また土壌改良効果もあるようだった。iii)間伐により全ての樹種の直径成長が増加した。樹高成長には間伐効果はなかった。iv)天然性稚幼樹の成立は単植、混植にかかわらず植栽区の方が無植栽区より多く、人工林の二次遷移促進効果が認められた。下層稚樹は無植栽区で風散種子、また植栽区では鳥やコウモリによる散布種子に由来するものが多く、植栽木が止まり木として機能したことが示唆された。v)経済的側面では、もっとも経費がかかる下刈り費が林冠閉鎖に時間がかかる成長の遅い樹種の単植区よりも早生樹を含んだ混植区の方が少なくなった。また二回の間伐収入と推定収穫定収入の総計は、人工林造成費と経営費の総計をかなり上回ると推計された、これが荒廃草地造林の誘因になることが期待できよう。

分類:中度の攪乱(放牧跡地)、湿潤熱帯(年雨量 2000mm、湿潤月 11 ヶ月)、修復、環境造林

「放牧跡地における天然更新と植栽による修復の可能性」 (Aguirre et al.2011)

① 目的:

放牧跡地での天然更新(二次遷移)と在来樹種育成の可能性を調べる。

② 調査地:

エクアドル南部アンデス山脈標高 1800~2200m。牧場放棄後二次遷移段階の異なる、i) 放棄された草地、ii) 世界に広く分布しているシダ侵入種 *Pteridium arachnoideum* 被覆地、iii) 若い二次林と灌木の生育地、の 3 試験地。

③ 方法:

天然更新:各試験地と天然林で土壌を採取し、温室で発芽させ、発芽数と樹種を同定。 各試験地で天然更新した木本植物の種多様性などを調査4年間2年毎に調査。

植栽:陽樹と陰樹を含めた在来種 6 樹種とこの地域で広く植栽されている外来種 2 樹種 (*Pinus patula, Eucalyptus saldigna*)を植栽。処理区:植栽前下刈り区、植栽前と植栽後 4 ヶ月毎に 2 年間下刈区(ただし、結果では処理の効果は示されていない)。

④結果:

埋土種子の発芽数と樹種数は放牧跡地ではシダ被覆地、二次林、天然より著しく少なく、種の多様性は、他の試験地と天然林では時間とともに増加したが、放牧跡地では下層植生の繁茂により停滞した。これらのことから放牧跡地では二次遷移が停滞していると推測された。一方植栽木の生存と成長は外来樹種が在来樹種より各試験地で全般に良好であったが、草原では陽性マメ科在来樹種、Alnus acuminata の成長が外来樹種を含めた全樹種の中で最大になり、現在まで外来種が植栽されていた放牧跡地で在来種植栽の可能性が示された。

分類:中度(部分的強度)攪乱地、山地湿潤熱帯(年平均雨量 4400m、年平均気温 20℃)、修復、環境造林

「熱帯劣化草地に植栽した在来樹種と外来樹種の初期成長」(Carpenter et al. 2004) 荒廃の程度(履歴立地)、地形・土壌:表土が薄く浸食しやすい険しい凹凸地形、Ultisols 土 壌(粘土 17-26%、シルト 19-18%、砂土類 48-64%、物理性良好、牛による浸食地でも土 壌容積重は 1 以下)、修復、環境林、産業造林

①目的:

過放牧跡の荒廃地で外来樹種、在来樹種を植栽し、生育可能樹種を調べる。

②調査地:

南西コスタリカ (9°N,83°W、標高 1050m) 天然林伐採後 50 年経過した過放牧跡地 (牛の通り道になり、浸食された箇所が全体の 50%、もっとも浸食された所は完全に裸地化)、酸性土壌の痩せ地、浸食地は特にせき悪化。

③方法:

植栽樹種外来樹種(Eucalyptus deglupta, Pinus tecunumanii(メキシコ・中央アメリカ原産)、在来種 5 樹種(遷移後期樹種 2 樹種、長寿命先駆種(有用材生産)3 樹種。苗畑では各樹種の母樹下の土壌をポットの表層土に使い、菌根菌を接種、P. tecunumanii についても、菌根菌を接種するため育苗に本種の健全な植林地土壌を用いた。地形と浸食の程度が異なる箇所 30 ブロックに植栽。浸食の深さと広がりにより浸食の程度を 10 段階に区分。

④結果:

植栽 7年後、P. tecunumanii は成長が植栽樹種の中で最大になり、生存率も約 90%であった。また本種の生存と成長は浸食の程度と無関係であった。他の樹種は生存率あるいは成長量が成長量が浸食の著しいところで低下する傾向があった。在来種では遷移後期樹種と先駆樹種の間に成長、生存に明らかな違いはないようであった。以上から、浸食のはげしい過放牧地では、まず外来種の P. tecunumanii を先行造林し、その後在来樹種を植林する方法が考えられる。

2.3. Nucleation 遷移モデルに基づいた森林修復

分類:中度の攪乱地(荒廃草地)、熱帯山地気候(年雨量 3500~4000mm、乾期 12 月~3 月、年平均気温 21℃)、復元、環境造林

「荒廃草地の森林再生法: Nucleation(核形成)遷移モデル(Yarranton & Morrison 1974) の適用とその検証」(Holl et al 2011; Zahawi 2013)

①目的:

荒廃草地での Nucleation(核形成)遷移モデル(後述、Yarranton & Morrison 1974)を基にしたパッチ植林の有効性を全面植林と比較して検証:能動的修復:植林 (Holl et al 2011)、受動的修復:種子散布、稚樹の定着(Zahawi et al. 2013)

②調査地:

南コスタリカ (8°47'N;82°57'W~8°44'N;82°56'W、標高 1060~1430m) で 1 へクタールの調査地 8 カ所、多くは、放牧とコーヒー園跡地、外来の牧草、種々の雑草、シダなどが被覆。地形:急傾斜 (15~35°)、土壌:火山灰起源、pH5.5、P 少ない、有機

物多。

③方法:

各調査地では3つの試験地(全面植栽地、パッチ植栽地、対照地(草原);各50m×50m)を設定。パッチ植栽地では大きさが異なる(小4×4m、中8×8m、大12×12m)3パッチを各2個、計6個設定。各々ランダムに配置。苗木植栽数(パッチ小8、中13、大25;全面植栽313)。植栽樹種:生存率が高く、初期成長が早く、早生樹で樹冠が広い、在来種2種、自然化した中南米産マメ科樹種2種を植栽。20~30cmの苗木を植栽。各苗木に緩効性肥料(10:30:10 NPK)、5gの抗線虫材を施用。植栽前に除草、植栽木が草丈を超えるまでの植栽後.5年間は3ヶ月毎に除草。植栽木測定:植栽木の高さを毎年、樹冠の広がりを植栽3年後に測定。土壌調査。天然更新樹調査:毎年新規加入数を稚樹(高さ20cm以上1m以下)、幼樹(1m以上DBH5m以下)等に分け調査。実生か萌芽をチェック、草の被度調査、樹冠被覆測定。パッチのマッピング(各パッチの境界測定)。各試験区の周囲の残存天然林との近接度を航空写真を用いて測定。

④-1 結果(植栽木 Holl et al 2011):

調査地間での土壌養分の違いは植栽木の樹高成長にあまり影響していなかった。マメ科樹種は生存率、樹高成長量、樹冠広がりが非マメ科樹種より大きかった。特に Inga edulis は樹冠の広がりが大きかった。パッチ植栽地では生存率が高く、植栽保育経費は少なかったが、植栽区が不規則な配置であったため下刈り時の被害が大きく、また樹高成長も全面植栽地より少し小さかった(これはパッチ植栽地では林内木より樹高成長が低い林縁木が全面植栽地より相対的に多かったことなどが影響していると推定された)。

④-2 結果(触媒効果 Zahawi et a 2013):

4年間で各調査地合計 54 樹種 983 個体が天然更新したが、90%以上は初期遷移樹種で、動物散布が 85.3%で風散布が 13.4%であった。動物散布による天然更新は植栽地が無植栽地の 2 倍以上で、パッチ植栽地は全面植栽地とほとんど同じであった。ただしパッチ植栽地は全面植栽地の 20%の面積を占めているだけである。動物散布天然更新稚幼樹の密度は面積の大きいパッチほど大きくなった。別の多くの試験でも同じ傾向が見られ、これらを総括すると動物散布天然更新に適した植栽パッチの大きさは 100m² 程度と推定。各調査区の鳥類と動物散布種子由来の天然更新数は残存森林の近接度とは関係がないようであった。

以上の結果から草原のパッチ植栽と全面植栽は二次遷移を促すことが明らかになった。 パッチ植栽は植栽保育経費の軽減を図れることから、草地の森林再生に実際的な方法であ ると考えられる。ただしこの 4 年間の調査では、パッチの拡大は植栽木の樹冠が広がった ためであり、樹冠の外側にはほとんど新規の天然更新樹は成立していなかった。この森林 修復モデルではパッチの拡大とそれ続くパッチの融合が森林修復の鍵を握っている。別の 試験ではパッチの外側でも天然更新しているので、時間はかかるが、天然更新によるパッ チの拡大も期待できるだろう。

2.4. Vegetative stake を用いた Nucleation 遷移モデルに基づいた森林修復

分類:中度の攪乱地(荒廃草地)、熱帯湿潤気候(年雨量~2800mm、半乾期 2 月~5 月、年平均気温~26℃)、復元、環境造林

「パッチ植林地を元にした天然更新による森林修復」 (Zahawi 2005; Zahawi & Augspurger 2006)

①目的:

荒廃草地でフェンス樹種の Vegetative stake (挿穂) を用いたパッチ造林による森林再生の可能性を挿穂の生存・成長とパッチ内の微環境、種子散布、稚樹の定着等から解析(草地の森林再生における Nucleation (核形成) 遷移モデルの有効性の検討) (挿穂の生育 (Zahwi et al 2005)、植栽後の天然更新 (Zahawi & Augspurger 2006)。

②調査地:

ホンジュラス北部 (~15°30'N;87°00'W、)、Pico Bonito 国立公園(10 万ヘクタールの山岳国立公園、中心区域 8 万ヘクタールは天然林、周囲の緩衝地帯は森林伐採が極度に進行、国立公園設立以前から無数の集落が散在。試験地 3 箇所(緩衝地北部の天然林隣接放牧跡地、山稜の 30 年前伐採跡地でシダ繁茂地、15 年前森林伐採放牧跡地)

③方法:

中央アメリカでは長く樹木の living fence が使われてきた。そのフェンスは樹木から採取した 2~3m の挿穂(cuttings, stakes)を植え育成する。このような挿穂はコーヒーの被陰樹などでも利用されている。フェンス樹種は安価で広く入手可能で、地元の農家から購入できる。フェンス樹種としての幅広い利用と気候適応性から 2 樹種(Gliricidia sepium(Fabaceae, 窒素固定樹種、樹高 10m 小木); Bursera simanruba(Burseraceae、非窒素固定、樹高 25m))を選び、荒廃地での生育を調べた。各試験地で除草後 3 つの大きさのパッチ(4m2, 16m2, 64m2)に各々2 樹種を単一樹種植栽した試験区を 4 ブロック設定。挿穂(Gliricidia sepium(長さ 2m, dbh 2-4cm)、B. simruba(長さ 2m, dbh 5-12cm))を採取後 1~3 後に植栽(深さ 15~20cm)した。生存、成長、被覆度を調べた。またG.sepiumでは植栽時の大きさを違えた(長さ 50cm と 200cm、DBH 3 階級の試験も実施)。また植栽によって天然更新が促進されたかどうかを明らかにするため、植栽パッチとは別に対照区として無植栽草地区を設定し、各々温度、光(PAR)等の微環境要因、鳥の来訪数、種子散布数、稚樹の成立数などを測定した。

④-1 結果 (挿穂の生育) :

植栽後 2年間の生存率は全体を通して G.sepium(>90%)が B.simaruba ($30\sim50\%$)より大きかった。樹冠被覆度も G.sepium の方が大きく植栽 6 ヶ月後にはほとんどのパッチで林冠が完全に閉鎖し、樹冠高も植栽 2 年後に 6m に達したが B.simaruba の林冠の発達にはバラツキがあった。また G.sepium は植栽時の大きな挿穂ほど樹冠の発達が良かった。

④-2 結果(植栽後の天然更新):

植栽パッチでは草地より温度と光の極大値が低くなり、種子の成立に適した環境が作られた。鳥の来訪数も植栽パッチ(160 回)が草地(1 回)より圧倒的に多く、果実常食鳥類の来訪は大きな植栽パッチの方が小さいパッチより多かった。その結果、動物種子散布密度と種数(種の豊かさ)は植栽パッチで草地より大きくなり、また大きな植栽パッチでは小さなパッチより種子散布密度が高くなった。稚樹数は植栽パッチでは、草地と違わなかったが、増加する傾向が見られ、稚樹の移入が加速していることがうかがえた。稚樹は植栽パッチの外側にも成立しており、天然更新が拡大していることが示された。

以上から経費が節減できるフェンス樹種の直挿し造林により、荒廃草原で停滞している 二次遷移が促進され、森林が再生される可能性が示された。熱帯アメリカでは 60 から 200 樹種の無性繁殖が可能な樹種が知られているので、さらに様々な樹種を用いた試験を行い、 各地に適した樹種を選定し、直挿し造林による森林再生技術の確立を図ることが大切であ る。

3. 鉱山跡地の修復技術

本レビューで取り上げた鉱山跡地修復プロジェクトは大きく2つに分かれる、1つはタイとマレーシアのプロジェクト(Kanzaki et al. 1991^{a*}; Ang 1994*; Ang & Ho 2004)で、いずれも鉱山採鉱から15~50年経った鉱山跡地で程度の差はあるが草本が侵入し、一次遷移がはじまりつつある立地環境で植栽後のモニタリングの期間も比較的短い。一方アマゾンとオーストラリアでは採鉱直後から修復作業が計画的に行われ、モニタリングも中長期におよぶ。本事業はインドネシアで義務づけられている採鉱直後からの森林再生をめざしており(大隅&仲摩 2012)、東南アジアとは樹種が異なり、環境条件も多少異なるがアマゾンとオーストラリアの修復技術が参考になると考えられる。そこでこれらのプロジェクトの修復技術を主に取り上げる。

3.1. 土地改良の方法

鉱山跡地を採鉱前の景観に復元することをめざしたオーストラリアの Alcoa 鉱山の一連の復元作業(Koch 2007^a)は、鉱山跡地修復事業の雛形で、修復事業の計画段階から広く活用可能と考えられる。

ここでは特に重要と考えられる作業を整理した。

A. 植栽前の地拵え:リッピング(ripping 縦びき)、掘り起こし(scarifying)

通常鉱山では鉱廃石の運搬に重機が使われ地面には 5kg cm⁻²の圧力がかかり、土壌が圧縮されるため、土壌構造が破壊され、有機物が減少する。土壌の容積密度が 1.8 以上になると通常植物の根は成長できなくなる。そのため土をリッピングあるいは掘り起こし(scarifying)で土を緩める(Bradshaw 1997)。リッピングは鉱山跡地の重要な土地改良方法の一つであるが、植栽木の成長を促すため地面を深くリッピング(deep ripping)することが肝要である(Koch & Hobbs 2007)。傾斜地でのリッピングは耕耘の場合と同じように土壌流亡を起こしやすいので、等高線に沿っておこなう(contour ripping)(Koch 2007^a)。なお天然林の集材跡地で土壌が硬くなっているところでもリッピングが推奨されている(Nussbaum & Hoe 1996*)。

リッピングや掘り起こし、さらに耕耘によって土地を改良し、植物を植えると、植物の根の成長と養分の蓄積、微生物の活動によって、土壌の再硬化が抑えられる。ただし、炭鉱廃石土で粘土分の多いところでは、有機物の欠乏が土壌を再び硬化させやすいので、植栽直後から急速な成長が期待できる早生植物を植える必要がある(Bradshaw 1997)。

B. 植栽前の表土の処理

表土には多様な樹木の種子や植物の成長に必要な養分あるいは微生物が含まれているため、鉱山跡地のような無機的な土地に表土を客土すれば、表土から草本や木本類が発芽、成立し、修復を早めることができる。これはダムサイトの法面緑化で利用されてきた表土播き出し(前報参照)と同じ方法である。客土した土壌から多数の草本・樹木が成立した例が南米やオーストラリアの鉱山跡地(Parrotta & Knowles 1999, 2001; Tacey & Glossop 1980, Bell 2001 から, Koch & Hobbs 2007)で報告されている。その中でアマゾンの鉱山跡地の修復試験では、天然林土壌の客土区から植栽や直まきをしなくても二次林が成立している(Parrotta & Knowles 1999, 2001)。客土にどのような表土を用いるかは、天然更新の成否を左右するが、オーストラリアの鉱山地では、採鉱前に除去し別の場所に2年間山積みした表土を採鉱地に戻した後、採鉱地外の森林の表土を直接客土すると、客土しなかった場合より著しく多くの植物が成立した(Tacey & Glossop 1980, Bell 2001 から)。表土を長期間山積みにすると活力が減退するため、表土の長期保存は、表土からの天然更新を期待する場合、勧められない(Freeza 1993, Koch 2007^a)。新鮮な表土を客土する必要がある。また表土は埋土種子が多数存在する表層数 cm の表土(Whitmore 1991*)を播き出すのがもっとも効果的である(Tacey & Glossop 1980)。

アマゾンの鉱山跡地では修復処理後約 10 年で二次林が成立しているが、植栽前の地拵えと表土の取り扱いが森林の成立に強く影響することが示され(Parrotta & Knowles 1999, 2001)、地拵えと表土処理の重要性が確認された。

3.2. 植栽方法

鉱山跡地での森林再生法には直播きと植栽がある。直播きは南米やオーストラリアの鉱山跡地では植栽とともに広く用いられている。一方東南アジアでは収集した文献では植栽によって再生が計られている。

A. 直播き

直播きは焼畑跡地、草原、鉱山跡地などで広く行われている苗畑経費の節減が可能な経済的な森林更新方法である(前報参照)。アマゾンの鉱山跡地では直播きによって二次林が成立した事例が報告されている(Parrotta & Knowles 2001)。オーストラリアの鉱山跡地では植栽とともに直播きが重要な植生回復法になっている(Tacey & Glossop 1980, Bell 2001から, Koch & Hobbs 2007)。直播きについては前報で概説したが、ここでは直播き前の種子の処理について述べる。

短寿命種子を除いて種子の処理は直播きの有効性を高める。マレーシアでは熱湯処理して直播きしたメルバウ(Intsia spp)の発芽率は高く、害虫の被害もなく、よく成長した(Appanah & Weinland 1993*から)。直播きや埋土種子の発芽を促進する方法として、熱湯処理が一般的であるが、新しい方法として燻煙法がオーストラリアで使われている(Bell 2001)。野火によってオーストラリアの多くの在来種は天然更新が促進される。これは、野火にともなう熱と灰が種子の休眠を打破するためだと考えられていた。樹種によっては熱や灰が発芽を促すことがあるが、発芽を促す主な要因は煙であり、特に通常の方法では休眠打破が難しい樹種で有効である(Dixon et al.)。播種前に種子を燻煙したり、煙で泡立てた水に通すと、西オーストラリアの鉱山跡地では直播きの成功率が2倍になった。また客土する土に燻煙処理すると、土壌からの実生の定着率が50%以上増えた(Bell 2001)。この方法は現在オーストラリアの鉱山跡地の植生再生に広く使われている(Koch 2007^a, Bell(2001)。

B. 植栽

東南アジアの鉱山跡地では環境造林とともに産業造林をも目的にした外来樹種や在来種の主に単一植栽(Kanzaki et al. 1991^{a*}, Ang 1994*, Ang & Ho 2004)が行われ、程度の差こそあれ、良好な生育を示している。一方オーストラリアや南米の鉱山跡地では環境造林を基本にした多種混交造林であり、自己持続性を持った天然林の復元を目標にしている(Parrotta & Knowles 1999, Tacey & Glossop 1980, Bell 2001 から, Koch 2007^a, Gould 2012)。ここでは外来早生樹植栽と在来種混交植栽(播種)について述べる。

i) 外来早生樹種植栽の問題

2012年に、タイ南部錫鉱山跡修復試験地(前報参照)で修復作業 27 年後の植栽木の生育状況を見る機会があった。植栽初期の生育状況から錫鉱山跡地の有望植栽樹種とみられていた Eucalyptus camaldulensis (前報参) はなくなっており、土壌層がほとんどない裸地

にアカシアハイブリッドが植栽されていた。E.camaldulensis 林は成長もそれほど良くなく、 下層植生を欠き、土壌も改善されなかったので伐採し、アカシアハイブリットを植えたと のことである。隣接して Acacia mangium が植林されていたが、見事に成林し、土壌が発達 し、中下層には灌木や樹木が多数侵入した二次林的な景観を示していた。ただし、近くに 天然林がないためかフタバガキ科などの遷移後期樹種は林内で認められなかった。ナイジ ェリアの錫鉱山跡地に植栽され、15~20年たった E.camaldulensis 林でも同じように林床 が完全に裸地状態で、土壌は pH と塩基飽和度が低く、土壌の劣化が進行していると報告さ れている(Alexander 1989^a, Olowolafe & Alexander 2007)。同じ地域に植栽された在来種の Acacia albida 林ではタイの場合と同じように下層植生が豊富で、E.camaldulensis 林より土 壌の置換性カルシウムが多く pH と塩基飽和度が高かった(Alexander 1989^b)。他方、タイ東 北部サケラートの草原跡地に造成された *E.camaldulensis* 人工林では近くの天然林より種 数は少ないが、下層植生量は在来樹種林より多かった(kamo et al. 2002)。マラウイでも E.camaldulensis 人工林には付近の雑木林より少ないが草本や木本が生育しており(Bone et al. 1997)、多少とも土壌が残っている所では下層植生が成立している。さらに、エチオピ ア高地の土壌が発達した立地に成立している E. camaldulensis を含めた数多くのユーカリ 人工林では豊富な下層草本植生が生育していることが報告されている(Michelsen et al. 1996)。鉱山跡地の E.camaldulensis 植栽地では下層植生が定着できないのは、土壌化が進 まないことと、土壌水分の問題(前報参照)が関係している可能性がある。土壌化が進ま ない原因としてアレロパシーがあげられている(Olowolafe & Alexander 2007)。タイやナ イジェリアような事実が他の鉱山跡地でも一般的に認められるとすると、鉱山跡地で、 E.camaldulensis は植栽木として優れていても遷移を停滞させ、森林修復の役割を果たせな いことになる。

ii) 在来種造林

· 超多樹種混交植栽:

集約的な地拵えの後、約70 樹種の遷移段階の異なる樹種を超多樹種混交植栽したアマゾンの鉱山跡地では約10年後に植栽後の天然更新も加わり、遷移系列や推定寿命の異なる多様な二次林が成立していて、二次遷移が進む可能性が高いとされている。ただし、近くの天然林の重要な構成樹種の中で種子の大きな樹種が欠けていた(これは後述するが草原の場合でも同じである)。そのため、天然林に戻すには、これらの樹種の樹下植栽が必要であると考えられている(Parrotta & Knowles 1999)。

超多樹種混交植栽はブラジルの他の荒廃地でも行われており、様々な特性を持つ 50 種類以上の樹種を植栽すると、そのメカニズムは今のところはっきりしないが、機能的に安定した森林が効率的に造成されるとしている(Rodrigues et al 2009)。それに対して、50 種類以上の植栽は経費の面で問題があり、樹種の数より各々の植栽地における樹種の組み合わせが重要であるとの指摘がある。事実、より少ない樹種の混交で成功を収めている例もあり、苗畑での育苗、経費を考えれば、こちらの方が現実的である(Rodrigues et al 2009)。

天然林復元の可能性:

オーストラリア南西部の鉱山跡地では、物質循環や養分蓄積などの生態系の機能は比較的早く回復しているが、植生の組成はそれよりも遅れ、生物多様性はさらに遅れそうであった(Koch & Hobbs et al 2007)。オーストラリア北部の鉱山跡地の 23 年生造成林では、種組成は付近の天然林とは異なり、天然林の骨格をなす樹種も植栽林では少なく、天然林に近づけるためには遷移後期樹種の樹下植栽などが必要であるとされている(Gould 2012)。オーストラリア南西部の鉱山跡地でも造成後 15 年から 24 年たった森林では天然林より種数は多いが、少数の侵入種が優占していた。遷移をすすめるため侵入種の除去が必要とされている(Herath 2009)。オーストラリア西部の鉱山跡地では土壌の播きだし、直播き、植栽によって 30 年後に種の豊かさ(種数)は天然林のレベルに達したが、種組成が天然林にあまり似ていなかった(Koch 2007b)。以上のようにオーストラリアの鉱山跡地では修復作業によって着実に森林が再生しているが、元の天然林に戻すためにはさらに人為を加える必要がある。

・修復林の成立:

アマゾン鉱山跡地での上記の修復事業(Knowles & Parrotta 1995, Parrotta & Knowles 1999, 2001)は、多くの経費を必要としたが、鉱山跡地という極度の荒廃地で、事前の天然 林構成樹種の調査、樹種選定、綿密な植栽、播種前の立地改良、多樹種植栽により約 10 年後に天然林に比較的近い在来種混交林を造成し、高い評価(Lamb 2005)を得ている。ただし、広範囲に通常の地拵えと表層処理が行われた在来種混交植栽地では、植栽木の生育状態は場所によって大きく異なり、成長が良好な混交林から植被が少なく表土流亡の兆しが見られる箇所まで様々で、生育不良地を放置すると、近くの生育良好林分に悪影響を与える危険性があることが、モニタリング調査により明らかにされている(Ferraz 199)。土壌調査の結果、生育良好箇所と不良箇所とでは土壌の酸度には違いはないが、土壌有機物量が良好箇所では不良箇所より多かった。この原因ははっきりしないが、初期の修復作業過程で、有機物の密な箇所と疎な箇所が生じた可能性が指摘されており(Ferraz 199)、初期の修復作業の重要性とともに、修復作業の難しさがうかがえる。

・モニタリングの重要性:

初期の修復作業後、中長期のモニタリングを行い、その結果によって、遷移後期樹種の植栽、侵入種の除去、更新不良箇所の補植(直播き)などの作業を行い、修復を進めることができる。最初の修復作業に多くの経費を投入し集約的な土地改良作業をしても、予算の制約はあるが、モニタリングを怠れば、目的を達成できなくなる事態も考えられる。オーストラリアとアマゾンのプロジェクトはモニタリングの重要性を教えている。

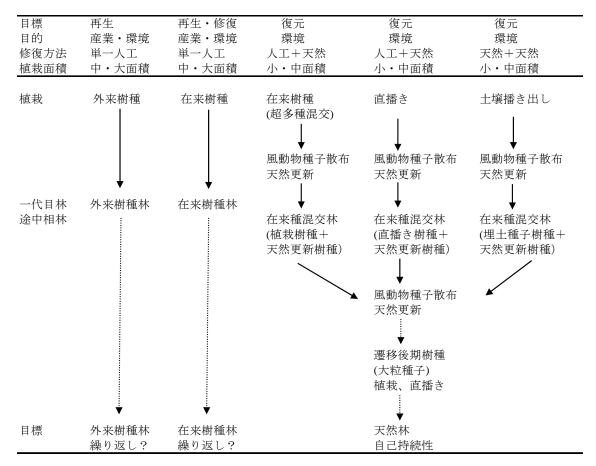


図 2-1. 鉱山跡地における森林回復方法

図 2-1 に鉱山跡地で認められた植生回復方法をまとめた。人工植栽のみの再生方法では、 天然更新稚樹が侵入してこなければ、植栽木が寿命で衰退すると、十分な植被を維持する ため、再造林が必要である。人工植栽に天然更新を組み込んだ修復では、二次林成立後に 遷移後期大粒種子樹種の植栽か直播きをしなければ、遷移が進まず修復の目的を達成でき ない。いずれの方法でも、中長期的な人為の介入が必要である。

4. 農放牧跡草地の修復技術

熱帯林伐採後、農牧地として長年利用されてきた所では、土壌の劣化と草の侵入が著しくなり、その結果、放棄され、多くはイネ科のチガヤ(Imperata cylindrica)などが優占する草原になる。このような草原は、野火の影響を受けやすく、土壌劣化が進み、近隣の水系の汚濁や水源涵養機能の低下などの環境問題が生じる。程度の違いはあるが、チガヤなどの草地では通常二次遷移が停滞し、森林の再生が進まない。その原因として、一般に表土・土壌養分の減少、草の被圧、頻発する野火など(Lamb 2005*)があげられている。本稿で取り上げた文献の中にも草の被圧が遷移を遅らせている例(Aguirre et al.2011)が見られる。そのような阻害要因を取り除き、人工植栽して森林の再生を図るのが既往の草地緑化事業である。他方中米の Saccharum spontaneum 等が優占する農放牧跡草地の調査から、埋土

種子と鳥類等による散布種子が少ないことが天然更新を阻害している主な要因である (Nepstad et al 1996, Holl 1999, Hooper et al. 2005 等)とされている。そこで種子散布を促す環境を人為的に作り、天然更新により遷移を進め、従来の草地造林より経費をかけずに天然林を復元しようとする、植栽と天然更新を組み合わせた試みが Nucleation 遷移モデルに基づいた森林修復の研究(Zahawi 2005; Holl et al 2011; Zahawi & Augspurger 2006; Zahawi 2013)である。

ここではまず草地に人工植栽するめの要件を整理し、次いで部分植栽と天然更新による 天然林復元の試みを概説しその適用性を検討する。

4.1. 植栽前後の作業

荒廃地の植栽前の地拵えと植栽後の保育については前報の通りである。ここでは作業の要点を新たな情報を加えて記した。

A. 耕耘

植栽前の耕耘効果は多くの草原造林で認められている(前報参照)。耕耘は経費はかかるが全面耕耘が有効で施肥によりさらに効果が高また(Otsamo et al. 1995*; Otsamo 2001*)。ただし傾斜面での耕耘は土壌流亡を引き起こす危険性がある(Nussbaum & Hoe 1996*)。この場合、等高線沿いの筋状耕耘が考えられる。

インドネシア、西カリマンタンでは、もっとも経済的で効果的と考えられる地拵え(植栽 4ヶ月前と 3ヶ月前に耕耘、植栽直前に土をならす)と下刈り作業(植栽後 1 年間は 2 回、植栽列間をまぐわでならした後、刈り払い、その後は年 1 回刈り払う)を行い、施肥、除草剤散布は一切行わず、外来樹種と在来樹種を植栽したところ、外来樹種の多くは、生存率、成長量が大きくなり、7-8 年後成林した(Otsamo et al. 1997, Otsamo et al. 2001*)(樹種につていは「植栽樹種」に記した)。

B. 植え穴

表土の少ない乾燥した荒廃地では、鉱山跡地の場合(前報参照)と同じように、大植穴植栽が有効で(森 2012)、特に初期成長に効果がある(Nussbaum & Hoe 1996*)が、土壌が堅密なところでは、根系の伸長、ひいては苗木の成長の持続性に問題が生じる(Nussbaum & Hoe 1996*から)場合も考えられる。大植穴植栽の前に植栽面全体の耕耘か浅いリッピング(Nussbaum & Hoe 1996*)が有効であろう。

草原では深植えも効果がある(Appahah & Weinland 1993*)。Dryobalanops oblongifolia の 苗木を植える深さを変えてチガヤ草原に植栽したところ、生存率は、根頸(根と幹の境)を 地上 2.5cm に上げた浅植え区で 26%、根頸を地下 10cm に下げた深植え区では 79%であったが、林内では浅植え区が 62%、深植え区が 72%となり、全光下の草原で深植えは苗木の 活着率を改善できることが示された。

C. 植栽時間

湿潤熱帯でも雨量は季節変化があり植栽は降雨の多い時期に行う。ただ熱帯の雨は驟雨性で日中は晴れていることも多い。そこで、マレーシアでは植栽は朝は 10 時までに、また午後は 16 時以降に植栽することが勧められている(Appanah & Weinland 1993*)。マレーシアサバ州での日平均気温は 6~7 時にもっとも低く、その後著しく上昇し、12 時から 16 時の間に 30℃以上になりその後 18 時頃まで急速に減少した後、徐々に減少する(JIRCAS 2009)。この温度変化から見て、作業員の都合もあるが朝の作業はできるだけ早く始め、午後も作業時間は限られるが 16 時頃から再び作業を始めると、作業員は高い気温と強い日射を、また植栽直後の苗木は強い日射と乾燥を避けることができ、効率的な植林ができると考えられる。午後 4 時以降の植栽は馴染みが少ないが、マレーシア、サバ州では、乾燥に弱いとされている裸苗を 16 時以降に植栽し、蓄積の高い A. mangium 林が造成されている (Kamo et al. 2005)。様々な樹種で夕方植栽するためには夜間の呼吸などの樹木生理の裏付けが必要であろうが、日中、高温乾燥しやすい熱帯荒廃地で水分ストレスの少ない夕方造林は試してみる価値があると思われる。

4.2. 植栽方法・樹種

A. 単一樹種植栽と単木混交植栽

単木混交植栽では混植の樹種構成、比率により混植効果は異なると考えられるが、コスタリカの放牧跡地の混交植栽(樹形形状と成長速度が異なる樹種にマメ科樹種を混植)と単一樹種植栽の比較試験では、植栽 15-16 年後の植栽木の生存・成長、土壌改良、病虫害の軽減、及び下刈り経費に対して混植効果が認められた。(Montagnini & Piotto 2011)。この場合、混交樹種が共存できるように樹冠の大きさ、成長速度の異なる(耐陰性が異なる)樹種にマメ科樹種を加えて植栽しているが、複雑な施業となる。

B. モザイク混交 (群状混交(前報参照)):

樹種の異なる小面積単一樹種植栽をモザイク的に配置し、景観レベルの多様性を創設する方法で、単一樹種植栽が基本であるから、単木混交のような複雑な施業を必要としない。ただし、植栽樹種の立地特性と植栽地の微立地環境の事前調査が必要で、それが成否に影響する。タイ北部の焼畑跡地での森林修復(前報参照)がその一例であるが、地形が複雑な山岳地帯の農牧跡地でも生物多様性を配慮した森林再生法として十分適用可能と考えられる。まず対象地の立地環境を調べ、立地区分し、各々の立地に適した樹種を、適地適木を基本に地元の要望を入れて選定し、小面積単一樹種植栽し、樹種が異なる小面積林をモザイク的に配置する方法である。樹種選定に当たっては、予備植栽試験が必要な場合もあると考えられる。

C. 外来樹種と在来樹種

環境耐性の強く、初期成長が早い外来早生樹種が熱帯各地の草地造林の主力になってお

り、例えば、過放牧跡地で土壌浸食が発生しているところでも外来早生樹の有用性が明らかにされている(Carpenter et al. 2004)。ただし、初期成長の早い樹種は一般に寿命が短い。南米で過去に行われた荒廃地緑化早生樹種造成プロジェクトでは、早生樹は成熟すると急速に枯死し、雑草が侵入し遷移後期樹種が林床に天然更新していないため、造成林の持続性が喪失している(Rodrigues et al 2009)。また東北タイで外来早生樹を主体とした大規模な造林地が造成されているが、材需要と保育経費の関係で多くは放置されている。天然林の近くを除いて、大部分の植林地には在来種(特に遷移後期樹種)がほとんど天然更新していない。一部に植栽木の寿命による衰弱の兆候が見られる。またマレーシアのサバ州でも荒廃地に植林され放置された早生樹林が一部にあるが、付近一帯の天然林は伐採が繰り返され、母樹がないためフタバガキ科樹種など遷移後期樹種はほとんど天然更新がみられず、一部の早生樹では上木が寿命のためか衰弱している。天然更新が期待できないところで、早生樹による森林の再生を持続するためには、在来樹種の樹下植栽か、地力に問題が生じる恐れがあるが、伐採・利用・植林の繰り返しが必要である。

草原での在来樹種林造成は多くの樹種では難しい(Otsamo et al. 1997, Otsamo et al.2001*)が、在来マメ科樹種の中には草地造林が可能な樹種がありそうである。エクアドルの放牧跡地では陽性マメ科在来樹種、Alnus acuminata の成長が、荒廃地に広く植栽されている外来早生樹より早く、有望な草地植栽樹種と推察された(Aguirre et al.2011)。また東北タイでチガヤ草原に植栽された有用マメ科樹種 Pterocarpus macrocarpus 林の植栽後12~14年の現存量は地域の二次遷移系列林よりやや大きい程度であったが、同じマメ科の有用樹種である Dalbergia cochinchinensis 林と Xylia xylocarpa 林は二次林の約 2~3 倍の現存量があり(Kamo et al. 2088*)、草地での育成が可能性な在来樹種とみられる。

D. 各植栽方法の利点と欠点

植栽方法選択の参考資料として各植栽方法の一般的な利点と欠点(Mansourian et al. 2005)を以下に掲げる。

単一樹種植栽

外来樹種 利点:造林技術確立、早生樹、経済的価値、欠点:環境問題(特に水問題) 在来樹種 利点:高い経済的価値、環境保全、欠点:多くの樹種で造林技術未確立、一 般に遅成長。

混交林植栽

単木混交 利点:生物多様性の向上、生産性の向上、土壌の改良、病虫害の軽減、収 穫時期と収穫材の多様化(経済的利益の向上)

欠点:適切な樹種の組み合わせの困難性、複雑な集約施業

モザイク混交:景観レベルでの多様性

利点:各モザイクでの造林作業が単純

欠点:"適地適木"の微立地レベルでの把握

4.3. 森林の修復方法

草地での環境耐性の強い外来早生樹種や一部在来樹種の植栽は比較的早期の森林の再生、緑化が目的で、その後の森林の持続性が十分考慮されているとは言いがたい。次の3つの方法は、植栽した人工林を利用して、森林の修復をはかる方法である。1つは、林床が適度被陰され競合する草本が被陰により排除されている早生樹林の林床に、草原での成立が難しい在来樹種を樹下植栽して育成し、植栽木の利用と森林の修復を計る先行造林(前報参照)、他の2つの方法は、植生遷移を模倣した方法で、先駆樹種に見立てたマメ科を含めた在来樹種を植栽し、早生樹の場合と同じように、天然更新に適した環境を作り、この場合は近隣の天然林からの風や鳥・こうもりの種子散布により天然更新を計り、天然林を復元しようとする方法で、いわゆる人工林の触媒効果を利用した方法である。この方法には更新面全体に植栽する全面植栽と植栽経費の節減をねらった部分(島、パッチ)植栽の2つの方法がある。

A. 先行造林

先行造林については、前報で紹介した。ここでは Acacia mangium を例に在来樹種の樹下植栽に適した時期を考察する。まだ資料は少ないが Acacia. mangium 林の成長のピークはマレーシアのサバ州での測定では 4.5 年生(kamo & Jamalung 2005)、インドネシアでは 4-6 年(Heriansyah et al. 2007)で、その後成長は著しく減少する。したがって上木 A. mangium との競合を避けるため、地位にもよるが標準的な林地でおおよそ 8-10 年生の林に樹下植栽するのが適当でないかと推測される。その際列状間伐を行えば、伐開列は間伐木の搬出と苗木の運搬に利用でき、また間伐収入も期待できる。

B. 全面植栽

マメ科を含めた在来種を混交植栽することにより(Holl et al 2011)、植栽木が止まり木となり鳥類散布種子に風散布種子が加わり、多くの種子が散布され、天然更新稚樹が成立している(Zahawi 2013)。ただ大型の種子の散布がほとんどなく、そのため、鉱山跡地と同じように大粒種子(遷移後期樹種)からの天然更新が少なく、これが遷移を進める上での障害になっている。そこで、大粒種子の樹下植栽や直播が考えられている。また大粒種子樹種を最初に混交樹種に含めると遷移が促進される(Martinez-Garza & Howe 2003)とされているが、大粒種子樹種は遷移後期樹種が多く、裸地で成立しにくい。

C. パッチ(島) 植栽

一次遷移の空間動態: 核形成モデル(Yarranton & Morrison 1974)を基に農牧跡草地で試みられている、遷移を加速させ、天然林を復元しようとする森林再生法である(Zahawi & Augspurger 2006; Benayas et al. 2008; Zahawi 2013 等)。

i) 核形成モデル:

砂地では最初に先駆種がパッチ状に成立する。先駆種の落葉落枝により土壌が富栄養化し、樹木の種子散布が加わり、パッチ内に他の樹種が天然更新し、パッチの周辺の環境の改善にともない、さらに多くの樹種が周辺に成立し、パッチが拡大して、ついには各パッチが融合して、植物群落が成立する。このようなパッチが核となり一次遷移が進行するのを Nucleation (核形成) 一次遷移モデルという。

ii) パッチ植栽による二次遷移:

このモデルを基に、まず草原等の荒廃地に分散して多数のパッチ(島) 状に植栽する。各パッチには、マメ科を含む、初期成長が早く、生存率が高く、樹冠が広い樹種を、中・密植する。植栽木が成長し、林冠が閉鎖すると草本類が排除され、天然更新に適した環境が作られる。さらに植栽木は、鳥類の止まり木となって天然林からの種子散布を促したり、また植栽木の結実種子を鳥類や風が周囲に散布することにより、各植栽パッチを起点にパッチが拡大し、融合して、荒廃地全体の森林再生が期待できる(Holl et al 2011; Zahawi et al. 2013)。この方法は、全面植栽より植栽経費の節減が可能で(Benayas et al. 2008, Holl et al. 2011 等)、これが大きな利点である。さらに苗畑経費が節減できるフェンス樹種の挿し木苗を用いてパッチの林を作り、天然更新稚樹を成立させている(Zahawi 2005; Zahawi & Augspurger 2006)。

この方法によって植栽パッチ内では種子散布により草原より著しく多くの天然生稚樹が成立しているが、さらに遷移を促進させるためには、パッチの拡大と各パッチの融合が課題である。一部には天然更新によってパッチの外側に天然生稚樹が成立している例(Zahawi 2005; Zahawi & Augspurger 2006)もみられるが、現在のところパッチの拡大は植栽パッチの樹冠の拡大によっている。大きなパッチほど種子散布者である鳥類の来訪が多く(Fink et al. 2009)、動物散布による種子が多い(Cole et al. 2010)ため、稚樹の単位面積当たりの更新数が多い(Cole et al. 2005)。そこで各パッチの面積を広くとり、パッチの外側の天然更新を促すため、下刈りなどが必要であると考えられる。また全面植栽と同じように大粒種子の散布が少ないため、大粒種子樹種の樹下植栽か直播きが必要である。この方法が試みられているのは、天然林に比較的近いところの農牧跡の草本やシダ植物の生育地である。東南アジアでも同じよう立地があれば、省力的な草地森林再生法としての可能性はあると考えられる。

なお、灌木は草原で森林の再生を阻害する場合(Zahawi & Augspurger 1999 等)もあるが、草原の灌木が鳥類を引きつけ、その結果天然林からの種子散布量を増やし、森林再生の可能性を高めるとの報告(Vieira et al. 1994; Holl 1998, 2002; Zahawi & Augspurger 1999)もある。灌木の種類や繁茂状態によっては、草地に残存する灌木や木立を残しておけば、森林再生に役立つかもしれない。

図 2-2 には放牧跡草原でみられた植生回復方法を示した。いずれの回復方法でも、鉱山跡地と同じように、人工植栽で天然更新が見られない場合は植被を維持するための再造

林が、天然更新を利用した植栽回復法では遷移をすすめるために遷移後期大粒種子樹種 の植栽か直播きが必要である。

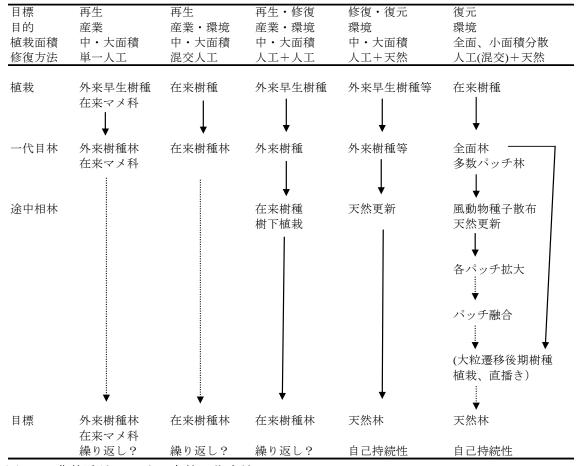


図 2-2. 農牧跡地における森林回復方法

5. 塩類土壌(saline soil)・アルカリ土壌(alkaline soil)における植林

本事業の対象地にアルカリ土壌地が含まれているので、アルカリ土壌での立地改良、植栽技術を Shen & Hess (1983)から整理した。植栽方法や修復方法については農放牧跡草地の方法に準ずると考えられる。

5.1. 植林が土壌に与える効果

- ・樹木が土壌表面を被陰することにより、土壌からの蒸散を減少させる、その結果土壌中 の上方への水分移動が減少し、土壌上部の塩分堆積が低下する。
- ・根が土壌中に張り巡らされ、土壌の浸透性が改善され、堆積した塩の浸出を容易にする。
- ・土壌表面に堆積したリターによる有機物が土壌の構造と微生物相を改良するのに役立つ。
- ・植物からの蒸散が非常に高ければ地下水位を低下させ、土壌の浸水を減少させる。

5.2. 植栽技術

先ず土壌の化学性、構造の分析、塩分濃度と pH を測定し、土壌特性に適した、植栽と土壌改良を施すことが重要である。

- 苗木の生存率を高めるため植え穴を深くする。
- 排水を良くして、塩の浸出を促すため畦に植栽
- 施肥。置換性ナトリウムをカルシウムに代えるため 1 穴 5 キロの石膏を加える。 窒素とリンの施肥、緑肥
- pH 8.5 以下のアルカリ土壌では土壌改善や石膏を付加しなくても、苗木の生育は 可能と考えられる。
- アルカリ土壌では、雨期が始まると同時に植栽する。塩積土壌では、塩類を浸出させる 2,3 回の大雨の後、植栽。
- ほとんどの植栽地は真水で灌漑し、最初の3年間は除草が必要。

なお、硬堅なアルカリ性土壌の改良にはオーストラリアで天然石膏が使われているが、 火力発電所の副産物である石膏を土壌にすき込むことで土壌を改良でき、同じ副産物であ る石炭灰肥料「酸性土壌改良材」を使えば酸性土壌を中和、土壌改良できる(新田 2006)と されている。

6. 森林遷移と鉱山跡地、草原での森林の復元

植生遷移には、遷移の進行にともなう構成樹種の変化に着目すると、先駆相から極相ま で種が交代して遷移が進む種交代の一次遷移モデル(クレメンツ、Egler 1954) と遷移の初 期に極相林の構成種を含む遷移の各段階で優占する樹種が揃っており、遷移の進行は、樹 種交代でなく、優占種が交代しながら進み、最終的に極相林樹種が残る二次遷移モデル(ク レメンツ、Egler 1954)がある。この二次遷移モデルは最初に極相の構成種が決まっている ことから決定論的(deterministic)モデルと言われる。草原のパッチ植栽による森林復元試験 は遷移の空間モデルである核形成モデル(Yarranton & Morrison 1974)を基にしているが、パ ッチ植栽後一次遷移が起こることを想定している。一方アマゾンの鉱山跡地で遷移の各段 階の樹種を約70樹種植栽した森林復元試験は、二次遷移モデルを基にしていると考えるこ とができる。試験結果を見ると、草原での一次遷移は植栽後の初期段階では多数の樹種が 天然更新し、遷移が進むが、その後、遷移後期樹種(大粒種子)の天然更新がほとんどな く、停滞気味である。一方アマゾンでは最初に植栽した約70樹種以上に周囲からの天然更 新があり、遷移が進んでいる。この場合は、二次遷移モデルよりも個体の枯死や自然の撹 乱などにより、構成樹種以外の多くの樹種が天然更新し、樹種の構成は確率的(stochastic) に決まるとする Horn の確率的遷移モデル(Horn 1976)に従っているように見える。ただ草 原と同じように遷移後期樹種(大粒種子)の天然更新が少なく遷移後期林への移行が遅くな っている。従って東南アジアで同じような修復試験をすると、天然林の主要構成樹種であ るフタバガキ科樹種の多くは、種子散布が通常母樹から限られた範囲であることが多い

(Whitmore 1984*)ため、天然林の復元は同じように遷移の後期段階で停滞する可能性が高い。そのためフタバガキ科の樹下植栽などが必要になると考えられる。二次林から極相林への収束は樹種構成よりも林分構造、生活形、機能グループで起こりやすい(Chazdon 2008)とされており、樹種構成よりも林分構造や森林の機能が整い安定した持続性のある天然林の復元の方が現実的であると推察される。

7. 樹種選択

ここでは、一般に荒廃地の一次緑化に利用できそうな樹種(属名)と一次緑化後用材生産に利用可能な樹種、ならびに現在まだ樹種の選択肢が少ない荒廃地造林や用材生産に適した在来樹種の探索法、荒廃地造林の一方法である先行造林に適した樹種、本事業の対象となる鉱山跡地や塩類・アルカリ土壌に耐性がありそうな樹種、荒廃地造林樹種として期待されるマメ科樹種および植栽とともに荒廃地の有力な再生法である直播きに適した樹種と種子の特性を各々記した(表 2-1)。

表 2-1. 熱帯アジアの主要な用材生産樹種(Ashton & Hall 2011)

種名	科名	他の用途	個生態
Adina cordifolia	Rubiaceae	薬用	陽性樹種
Alstonia macrophylla	Apocynaceae		長寿命先駆樹種
Anthocephalus chinensis	Rubiaceae	薬用	長寿命先駆樹種
Anisoptera glabra	Dipterocarpaceae		耐陰性中庸樹
Artocarpus heterophyla	Moraceae	果樹	耐陰性中庸樹
Balanocarpus spp.	Dipterocarpaceae		耐陰性樹種
Calophyllum spp.	Clusiaceae	薬用、油	耐陰性樹種
Canarium spp.	Burseraceae	薬用、樹脂	陽性樹種
Chloroxylon swietenia	Burseraceae		陽性樹種
Chukrasia tabularis	Meliaceae	ガム、染料、薬用	陽性樹種
Dialium spp.	Leguminosae		耐陰性樹種
Diospyros spp.	Ebenaceae		耐陰性樹種
Dipterocarpus spp.	Dipterocarpaceae	樹脂	耐陰性中庸樹
Dryobalanops spp.	Dipterocarpaceae	樹脂	耐陰性中庸樹
Dyera costulata	Apocynaceae	ラテックス	長寿命先駆樹種
Gluta spp.	Anacardiaceae	薬用	耐陰性樹種
Eusideroxylon zwageri	Lauraceae	薬用	耐陰性樹種
Gonystylus bancadus	Thymeliaceae		耐陰性中庸樹
Intsia bijuga	Leguminosae		耐陰性樹種
Koompasia malaccensis	Leguminosae	蜂蜜	耐陰性中庸樹
Mangifera spp.	Anacardiaceae	果樹	耐陰性中庸樹
Melia azederach	Meliaceae		長寿命先駆樹種
Mesua ferrea	Clusiaceae	樹脂	耐陰性樹種
Michelia spp.	Magnoliaceae		耐陰性樹種
Myristica spp.	Myrsticaeae	食用	耐陰性中庸樹
Palaquium spp.	Sapotaceae	ラテックス	耐陰性樹種
Pterocarpus indicus	Leguminosae		耐陰性樹種
Shorea spp. (Dark red meranti/red lauan)		樹脂	耐陰性樹種
Shorea spp. (Balau)	Dipterocarpaceae	樹脂、食用	耐陰性樹種
Shorea spp. (Light red meranti/seraya)	Dipterocarpaceae	樹脂	耐陰性中庸樹
Shorea spp. (White meranti/white lauan)	Dipterocarpaceae	樹脂	耐陰性中庸樹
Shorea spp. (Yellow meranti)	Dipterocarpaceae		耐陰性樹種
Sindora spp.	Leguminosae		耐陰性樹種
Tectona grandis	Verbenaceae		陽性樹種
Terminalia spp.	Combretaceae		耐陰性中庸樹
Tetrameles nudiflora	Datisaceae	薬用	陽性樹種
Vatica spp.	Dipterocarpaceae	食用	耐陰性中庸樹
Vitex spp.	Verbenaceae		陽性樹種

7.1. 在来樹種

A. 短寿命先駆樹種:一次緑化

荒廃地にいち早く侵入できる短寿命先駆樹種(寿命は立地により異なり、幅が広いため次の長寿先駆樹種との境は曖昧である)は一次緑化樹種として利用可能な樹種が多いと推測される。よく見られる短寿命先駆樹種としては Commersonia bartramia, Trema spp., Trichospermum 8spp., 幾つかの Mallotus, ほとんどの Macaranga>>100 spp.である

(Whitmore 1984*)。そのほか樹高が 2-8m 程度にしかならない, *Glochidion* spp., 幾つかの *Melastoma* spp., *Phyllanthus* spp., *Pipturus* spp.がある (Whitmore 1988)。これらの樹種の 寿命ははっきりしないが、東南アジアに広く分布する典型的な短寿命樹種である Trema orientalis では植栽木の寿命 (後述) やサバでの天然更新木の寿命から見て通常 7-8 年程度 である。東南アジアのほとんどの地域では外来樹種である *Acaica mangium* は荒廃地耐性が 強く、樹高は 30m (Whitmore 1988)に達し、材の利用も可能であることから、短寿命先駆 樹種に長寿命先駆樹種の特性を備えた樹種とみられる。

B. 長寿命先駆樹種:用材生産

荒廃地での一次緑化後、植栽候補となりうる熱帯アジアに分布する主要な用材生産樹種を表2-1に掲げた。フタバガキなどの遷移後期樹種の多くは成長が遅いが、一方寿命が比較的長く、短期間で高木に達することができる長寿先駆樹種(高木先駆樹種、long-lived pioneer)は、成長が早く、材は軽いが強いため、成長が遅く材が重い遷移後期樹種(極相樹種)より木材生産の上で優れており(Tuner 2001)、熱帯林業には欠かせない樹種である。現在まで知られている樹種として表2-1以外の樹種では Endospermum, Campnosperma, Albizia falcataria, A. minahassae, Eucalyptus deglupta, Gmelina arborea, G. moluccana, Octomeles sumatrana, Pinus merkusii, P. kesiya等(Whitmore 1984*)がある。これらの樹種の最長寿命は分からないが、Octomeles sumatranaで84年と報告(Whitmore 1984*)されている。また A. falcataria, E. deglupta, O. sumatrana は樹高30m以上(Whitmore 1988)になる。外来樹種では Swietenia macrophylla も長寿先駆樹種に入る(Tuner 2001)。長寿先駆樹種は立地選択性がやや強く(Ashton & Hall 1992)、荒廃地一次緑化後の植栽樹種に適している。

C. 在来樹種の探索

東南アジアの湿潤熱帯の熱帯林は世界でも有数の種多様性の高い地域であり、天然林の中から、さらに荒廃地造林あるいは林業生産に適した樹種を見いだせる可能性がありそうである。そのような樹種の探索に当たって、天然林の造林特性が不明な 160 樹種について結実季節、種子生態、種子の取り扱い、苗畑作業、さらに荒廃地で植栽試験を組織的、体系的に行い、比較的経済的に、効率よく荒廃地の森林再生に可能な樹種を選定した南米の天然林の調査研究(Knowles & Parrotta 1995)は樹種探索の 1 つの可能性を示している。東南アジアでもまだ天然林が残存している地域で、このような方法によって天然林から地域に適した荒廃地造林可能樹種を数多く選定できれば、外来樹種や少数の在来種に頼らないで、荒廃地での森林修復、復元の可能性が高まると考えられる。上のような天然林の調査、研究には時間を要する。天然林の破壊が進んでいる現在、天然林からの樹種選定作業は喫緊の課題でもある。

現在世界の熱帯林で数十へクタール規模の調査区を設け、天然林構成樹種の動態や一部 樹種の繁殖生態学等の調査が長期間続けられている。ボルネオ島ではサラワクのランビー ルに 50 ヘクタールの調査区がある。その中で調べられた 1192 樹種の直径階別本数と樹種 の分布図が公表されている(Lee et al.2002)。この資料から天然林内での各樹種の再生産能力や立地特性が推測できる。植栽候補木が含まれていれば、立地選定に利用可能でないかと考えられる。

また地域には様々な樹種が植栽されており(Lamb 2011*)、地域の人たちに良く知られている在来種は造林樹種としての潜在能力をもっている(Shen & Hess 1983)。天然林だけでなく、地域社会の里山も樹種選定の対象になると考えられる。

7.2. チガヤ草原の一次緑化、先行造林樹種

東南アジアで天然林伐採跡地などの荒廃地に広く分布するチガヤ(Imperata cylindrica)は、野火の原因となり、二次遷移を停滞させ、また植栽木の生育を阻害する。チガヤ草原で森林再生を進めるためには、根系によって再生するチガヤの完全な除去が必要である。1つの方法として極陽性イネ科植物であるチガヤを被陰によって完全に除去する方法が考えられる。通常の地拵えと下刈り作業によって荒廃地でも生育可能な樹種を先行造林し、その被陰によって、チガヤを排除し、その後在来有用樹種を植栽するのである。被陰の有効性は同じイネ科草本の Saccharum spontaneum(東北タイの草原では野火の頻度が低くなるとチガヤに代わり優占する傾向がある)の草原でも実証されており、刈り取るだけでは S. spontaneum を駆除出来なかったが、人工被陰によって、ほぼ完全に除去できた(Hooper et al. 2002)。これは被陰によって根の成長が減退するからである。これまでの数多くの林木の被陰試験では、被陰の効果は根量の減少に顕著にあらわれる。これは被陰下における蒸散量の減少に起因すると考えられている。

インドネシア、西カリマンタン(前報参照)では、もっとも経済的で効果的と考えられる地拵えと下刈り作業(2.1 植栽前後の作業参照)を行い、文献調査で選定した 83 樹種を植栽密度 1250 本/ha で植栽し、施肥や除草剤散布はせず育成し、比較的経済的にチガヤ草原で造林可能な、以下の先行樹種を選定している(Otsamo et al. 1997, Otsamo et al. 2001*)。

チガヤを早期に駆除できる可能性が高い樹種として、初期生存率、成長量、樹冠面積を基に Acacia mangium, A. auricliformis, Gmelina arborea, Cassia siamea を選んでいる。

Acacia 類はパプアニューギニア産が優れているとされている。ただし G. arborea は立地選択生が強く、Cassia siamea は今まで根瘤の記録がなく、土壌の肥料効果が不明である。これらの樹種とは別に、Trema 類は植栽後 7-8 年で消滅し、寿命は短く、初期成長が早く、樹冠も広いため、短期の先行造林樹種に適している。コーヒーやお茶などアグロの被陰樹(Corner 1997)として広く利用されている Paraserianthes falcataria(Albizia falcataria)は初期成長が早いがその後成長が低下することと樹冠は広いが薄いため、また Eucalyptus camaldulensis は初期成長が良好であるが樹冠が狭いため通常の植栽密度では、チガヤ駆除が難しく、先行造林可能樹種から外されている。

グアテマラからインドネシア(東ジャワ)移入されたマメ科灌木、Calliandra calothyrsus は燃材として利用され、成長が早く、リター量が多く土壌改良作用があり、深根性で樹冠が密生し広いためチガヤなどイネ科植物を排除でき、インドネシアの草原で植栽されてい

る。また同じ外来マメ科灌木の *Calothyrus maculata* は *C. calothyrsus* よりも痩せ地で生育できるが、樹冠が薄く、チガヤなどが侵入しやすい欠点がある(Shen & Hess 1983 より)。

7.3. 鉱山跡地植栽樹種

鉱山跡地での植栽有望樹種とみられる樹種をインドでの植栽試験結果から以下に示す。

・熱帯モンスーン気候、年雨量 750mm、炭鉱廃土:

有望樹種: Eucalptus hybrid, Acacia auriculiformis, Casuarina equisetifolia(Dutta & Agrawal 2003)

・モンスーン気候、炭鉱廃土(砂が 81-85%の砂質土壌、pH 6.6-6.9、容水量 27-35%、土壌容積密度 1.5-1.6cm⁻³; 植え穴:40cm³、植栽間隔:2m×2m、7年生林分物質生産測定:

Acacia auriculiformis, Casuarina equiserifolia, Cassia siamea, Eucalyptus hybrid, Gravellia pteridifolia の中から Eucalyptus hybrid と A. auriculiformis を選定(Dutta & Agrawal 2003)。

・ボーキサイト鉱山跡地:

有望樹種:*G. pteridifolia, E. camaldulensis, Pinus roxburgii, Pongamia pinnat* (Dutta & Agrawal 2003 から)

・モンスーン気候、鉱山廃土に植栽(植え穴: $40 \times 40 \times 40 \text{cm}$ 、苗木にリゾビウム根粒菌と菌根菌を接種するため天然林の土壌 200g を植え穴に入れた、植栽間隔: $2m \times 2m$)、6 年生林で 純生産量や土壌養分を調査:

Albibia lebbeck と Albigia procera (マメ科中径木、落葉樹、窒素固定、内政菌根) 両樹種に顕著な土壌改良効果、土壌修復能力: A. lebbeck> A. procera(Singh et al. 2004)

表 2-2. 塩類土壌・アルカリ土壌耐性樹種 (Shen & Hess 1983)

樹種	塩耐性	アルカリ耐性	用途	国
Acacia nilotica	0	0	Fw/fd/Ta/G	India
A. saligna	0	0	Fw/SC/SB/Fd/G	_
A. tortilis	_	0	Fw/T/Fd/SC	_
Albizia lebbek	0	_	Fw/T/Sh/Fd/SC	india
Azadirachta indica	0	0	Fw/T/O/SB/Sh/Sc/Ta/F	o india
Butea monosperma	0	0	_	india
Casuarina equisetifolia	0	_	Fw/T/SC/Sh/PW/SB/Ta	India China
Dalbergia sissoo	0	0	_	India
Eucalyptus hybrid	0	0	_	India
E. camaldulensis	0	(Fw/T/SB/B/PW	Israel
E. gomphocephala	0	_	Fw/T/SC/Sh/SB	Kuwait
E. microtheca	0	0	Fw/T/SB	Sudan
E. obtusa	0	_	_	Kuwait
E. occidentalis	0	_	Fw/T/Sh	_
E. tereticornis	0	_	_	Sudan
Gleditsia triacanthos	0	_	Fw/Fd	_
Haloxylon ammodendror	7 O	_	_	_
Leucaena leucocephala	0	_	Fw/Fd/SC	India
Pongamia pinnata	0	0	_	India
Prosopis juliflora	0	0	Fw/Fd/SC	India
P. pallida	0	_	Fw/Fd/B	Hawaii
P. tamarugo	0	_	Fw/T/SC	Chile
Terminalia arjuna	0	0		India

用途: B-蜂蜜源、Fd-家畜のかいば、Fw-燃材、G-ガム、O-油、PC-害虫駆除、PW-パルプ材、SB-防風林、SC-土壌保全、T-木材、Ta-タンニン

7.4. 塩類、アルカリ土壌耐性樹種

塩類、アルカリ土壌で植栽の可能性が高い樹種を表2-2に示した。またパキスタン、タイ、オーストラリアで行われた植栽試験から耐塩類土壌、耐アルカリ性土壌草本、灌木、樹木が Marcar (1999,表 2)に掲載されている。次にパキスタンでの耐塩樹種選抜試験の概要を以下に示す。

強い塩類土壌(埴壌土-埴土、窒素と有効リンは少ない、pH 7.5-8.2 地下水面 2-3m、土壌の塩度>15dSm⁻¹)で地表下の排水作用を行っていない所で Acacia 類、Casuarina 類、Eucalyptus 類を植栽し、21 ヶ月と 36 ヶ月後の生存、成長を調べた。その結果、成長率と耐塩性から、Acacia ampliceps がもっとも成績が良く、次いで A. stenophylla, A. maconochieana, A. nilotica となった。これらの樹種はパキスタンの他の試験でも良い成績を収めている。これらの樹種に比べて、Eucalyptus microtheca と E. camaldulensis の成績は著しく悪く、また Casuarina glauca の成績も悪かった(Ansari et al 1998)。

7.5. マメ科樹種

アカシア類や Casuarina equisetifolia などは根、根瘤、堆積したリターによって土壌の窒

素含有量を高める (Bradshaw 1997)ことがよく知られているが、マメ科樹種植栽の利点は、 荒廃地で植栽木自身の成長が期待できるだけでなく、混植した他の樹種の成長をも促進することである (Holl et al. 2011)。ただし、樹種によってこの二つの特性に強弱がある。たとえば、中南米の樹種では *Erythrina poeppingiana* は効率よくN, Pを吸収し、物質生産力が高い (Holl et al. 2011)。他方 *Inga edulis* は混植した他の樹種の成長と葉養分量の増進効果が強い (Nichols & Carpenter 2006, Siddique et al. 2008 等)。

またマメ科が土壌の肥沃性を増加させる効果は樹種によって異なり、マメ科窒素固定樹種および非窒素固定樹種 14 種中で効果が認められたのは 4 樹種で、マメ科以外の樹種でも効果が認められた樹種があった(Montagnini et al. 1995)。さらにマメ科でも根瘤を持たない樹種があり、カリマンタンの植栽試験(Otsamo et al. 1997)ではその例として *Cassia siamea* があげられている(直接文献にあたることは出来なかったが、根瘤を持たない樹種の記載は、Allen ON & Allen EK (1981) The leguminosae, A source book of characteristics, uses and nodulation. The University of Wisconsin press.812p にあるようである)。

以上のようにマメ科樹種の土壌改良能力は樹種によって様々である。したがって、土壌 改良効果が不明なマメ科樹種を荒廃地に植栽する場合、上記のような文献にあたるととも に、場合によっては事前の植栽試験も必要と考えられる。

7.6. 直まきに適した樹種

植栽とともに、直播きも鉱山跡地や草地の有力な植生回復法の1つである(Parrotta & Knowles 2001; Camargo et al. 2002*; Hooper et al. 2002; Koch 2007^a等)ので、前報でも記したが、直播きに適した種子の特性と樹種および直播き方法の概要を Sabgal (2005), Knowles & Parrotta (1995)、Shen & Hess (1983)を基に整理した。

直まきに適した樹種:

種子結実量多、速い初期成長、貯蔵養分の豊富な大粒種子(アマゾンの調査では、長さ 2cm 以上の幅の広い種子)初期に長い直根を出す、発芽能力が高い。

適した樹種: Tectona grandis, Cassia siamea, Leucaena leucocephala, Ancardium occidentale, Albizzia procera, Dipteryx spp.(Acaica arabica, A. mearnsii, Gmelina arborea, Azadiractha indica, Pinus caribaea, P. oocarpa)

必要な作業: 耕耘あるいは掘り起こし、種子の厚さの 1-2 倍の被土あるいは軽いマルチ、 雨期開始直後に播種、除草の必要度が高い、

非常に不確定な要素が多いので、まず小規模の実験を行い、次いで本試験を実施。 なお,直播き前の種皮処理については3.鉱山跡地の修復技術のところで記した。

8. 立地改良:森林修復の出発点

鉱山跡地、農放牧跡地、塩類・アルカリ土壌、低湿地などの荒廃地で樹木の生育を阻害 している要因は様々で、修復のためには、各々の荒廃地で様々な異なった作業が必要であ るように見えるが、基本的に樹木が必要とする次の土壌条件が整えば、どのような荒廃地 でも樹木は成長を始めることができる。 1) 物理的に根を下ろせる媒質(土壌)、2) 水分、3) 養分の供給、4) 毒素が存在しない (Bradshaw 1990)。したがって植物を成立させるためにはこれらの土壌要件をみたすように立地改良を行う必要がある。Bradshaw(1990)とWhisenant(1999*)は荒廃地で植物(樹木)の生育を阻害している個々の土壌要因を改善するため先ず必要とされる作業とその後中長期的に必要な作業を整理した。それに、本レビューから得られた主な作業と植栽・保育作業を加えたのが表 2-3 である。本事業の対象地である鉱山跡地と農牧跡地草地(アルカリ土壌)で行われた作業も同時に示した。せき悪地の土壌の物理性、化学性を調べ、各々の問題土壌要因を把握した後、それらを改善する処理方法を表 2-3 から選び、現地で必要な他の作業があれば、それを加えて、土壌改善に必要な作業を行えば、修復を進めることができると考えられる。

表2-3. 荒廃地の問題土壌要因とその対処法

-				荒廃均			
→ ∧	HH H	NA In att	鉱山		アルカ	植栽	J. E. Hall J. Jacon
区分	問題	当面の処理	跡地	跡地	リ土	保育	中長期的な処理
構造	非常に硬密	(深く)リッピング(平坦地) 等高線リッピング(傾斜地) 掘り起こし 耕耘(全面耕耘)(平坦地) 等高線耕耘(傾斜地) 表土の客土 有機物混入	0 0 0	0		植大深 下全筋 部栽植植 刈面状 分穴り	植生(根量とリターの増加))
生	不安定	土壤改良剤 土質安定剤				マルチ	 勾配のつけ直し
女足住	小女足	工具女圧用マルチ				Y /V)	植生(法面緑化)
水分	過湿	灌漑 盛土	0		0		灌漑 過湿に適した植物 蒸散力の強い植物
	極度の乾燥	有機マルチ、 ピッティング(pitting) 等高線あぜ溝 水分・養分保持用丸太/岩 土寄せ(ridging)					構造や機能の多様な植生
化学性				_	_		
多量元素	窒素欠乏	施肥 窒素固定マメ科植物、 荒廃地耐性植物 有機肥料 肥効調節型被覆肥料	0 0 0	0 0 0 0	0		施肥 窒素固定マメ科植物、 荒廃地耐性植物 マメ科草本緑肥マルチング
	他元素欠乏	施肥 施肥+石灰 有機肥料 肥効調節型被覆肥料	O O	0 0 0	0		施肥+石灰
微量元素	欠乏	施肥 せき悪地耐性植物					植物と微生物の多様化 木本植物の増加
pН	強アルカリ性	pyritic waste(硫化鉱物廃石) 石膏 有機物			0		風化、酸性化植物
	強酸性	石灰 浸出 酸性耐性植物 (pH 3.7~4.0まで)	0	0			石灰 風化 陽イオンくみ上げ植物 ²⁾
毒素	重金属	有機マルチ 重金属耐性植物					不活性物質で被覆 重金属耐性植物
	塩分	風化 石膏を付加し灌漑			0		塩耐性植物

部分 $^{1)}$: 蔓植物などの雑草、灌木を優先して下刈り、経費の節減をはかる

陽イオンくみ上げ植物 2): 深根性植物で土壌下部からカルシウムとマグネシウムを吸収し、表層のpHを上げる植物。次の温帯性樹木で表層土壌の酸度低下が認められている。ニセアカシア、Populus tremulides、ハイブリッドポプラは鉱山跡地で土壌表層のpHを高めた。ヤマナラシ、Picea glaucaでは下層から陽イオンが多く移動した。またスギ科やヒノキ科の樹木ではリターに大量に含まれた陽イオンが土壌の酸性度を改善した。逆にマツ類は酸度を増加させた(Whisenant1999*より)。

(Bradshaw 1990;Whisenant 1999*に加筆)

引用文献

- Aguirre N, et al. (2011) Reforestation and natural successions tools for restoration on abandoned pastures in the Andes of south Ecuador In: Gütter S et al. (eds), Silviculture in the tropics, Springer Heidelberg. pp. 513-524
- Alexander MJ (1989^a) The long-term effect of eucalyptus plantations on tin-mine spoil and its implication for reclamation. Landscape and Urban Planning 17:47-60
- Alexander MJ (1989^b) The effect of *Acacia albida* on tin-mine spoil and their possible use in reclamation. Landscape and Urban Planning 17:61-67
- Ang LH & HO WM (2004) A demonstration project for afforestation of denuded tin tailing in Peninsular Malaysia. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 17: 113-118
- Ansari R et al (1998) Acacias for saltland in southern Pakistan. In: Turnbull HW et al (eds)

 Recent developments in Acacia planting. Australian Centre for International

 Agricultural Research, Canberra pp 60-65
- Ashton PS & Hall P. (1992) Comparisons of structure among mixed dipterocarp forests of north-western Borneo. Journal of Ecology 80:459-481
- Ashton MS & Hall JS (2011) Review The ecology, silviculture, and use of tropical wet forests with special emphasis on timber rich types. In: Günter et al. (eds) Silviculture in the tropics, Tropical forestry 8, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp 145-192
- Bell LC (2001) Establishment of native ecosystems after mining-Australian experience across diverse biogeographic zones. Ecological Engineering 17: 179-186.
- Benayas JMR et al. (2008) Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. Frontiers in Ecology and the Environment 6:329-336
- Bone R et al. (1997) The effect of a *Eucalyptus camaldulensis* (Dehn) plantation on native woodland recovery on Ulumba Mountain, southern Malawi. Forest Ecology and Management 99:83-99
- Bradshaw AD (1990) The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. In: Jordan WR, Gilpin ME, Aber JD (eds). Restoration ecology a synthetic approach to ecological research, Cambridge University Press, pp.53-74
- Bradshaw A (1997) Restoration of minded lands-using natural processes. Ecological Engineering 8:255-269
- Carpenter FL et al. (2004) Early growth of native and exotic trees planted on degraded tropical pasture. Forest Ecology and Management 196: 367-378
- Chazdon, R.L., 2008. Chance and determinism in tropical forest succession. In: Schnitzer, S.A., Carson, W.P. (Eds.), Tropical Forest Community Ecology. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, pp. 384–408.

- Cole RJ et al. (2010) Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. Ecological Applications 20: 1255–1269
- Cook WM et al (2005) Secondary succession in an experimentally fragmented landscape: community patterns across space and time. Ecology 86, 1267-1279.
- Corner EJH (1997) Wayside trees of Malaya Volume1. The Malayan Nature Society, Kuala Lumpur
- Dixon, KW et al. (1995) The promotive effect of smoke derived from burnt vegetation on seed germination of Western Australian plants. Oecologia 101:185-192
- Dutta RK & Agrawal M (2003) Restoration of open cast coal mine spoil by planting exotic tree species: a case study in dry tropical region. Ecological Engineering 21: 143-151.
- Egler FF (1954) Vegetation science concepts: I Initial floristic composition: A factor in old-field vegetation development. Vegetatio 4:412-417.
- Ferraz KBS (1993) Soil factors influencing the restoration on mining sites in Amazonia. In: Lieth H & Lohmann M (eds) Restoration of tropical forest ecosystems. Kluwer, Dordrecht, pp. 47-52.
- Fink RD et al. (2009) Patch size and tree species influence the number and duration of bird visits in forest restoration plots in southern Costa Rica. Restoration. Ecology, 17, 479-486
- Gould SF (212) Comparison of post-mining rehabilitation with reference ecosystems monsoonal Eucalypt woodlands, Northern Australia. Restoration Ecology 20:250-259.
- Herath DN et al. (2009) Comparison of post-mine rehabilitated and natural shrub land communities in southwestern Australia. Restoration Ecology 17:577-585.
- Heriansyah I et al. (2007) Growth characteristics and biomass accumulations of *Acacia* mangium under different management practices in Indonesia. Journal of Tropical Forest Science 19:226-235
- Holl KD (1998) The role of bird perching structures and accelerating tropical forest recovery. Restoration Ecology 6:253-261
- Holl KD (1999) Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seeding germination, microclimate and soil. Biotropica 31:229-241
- Holl KD (2002) Effect of shrubs on tree seedling establishment in an abandoned tropical pasture. Journal of Ecology 90: 179–187.
- Holl KD et al. (2011) Planting seedlings in tree islands versus plantations as a large-scale tropical forest restoration strategy. Restoration Ecology 19: 470–479
- Hooper E et al. (2002) Response of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. Ecological Applications 12:1626-1641

- Hooper E et al. (2005) Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama. Journal of Applied Ecology 42:1165–1174
- Horn HS (1976) Succession In: May RM (ed) Theoretical Ecology. Principles and application. WB Saunders, Philadelphia, pp. 187-204
- JIRCAS-SFD (2007) Agroforestry approach to the rehabilitation of tropical lands by using nurse trees. JIRCAS and SFD.
- Kamo K et al. (2002) Plant species diversity in tropical planted forests and implication for restoration of forest ecosystems in Sakaerat, Northeastern Thailand. JARQ 36:111-118
- Kamo K, Jamalung L (2005) Potential carbon storage in Acacia mangium Willd. plantation in a wet lowland area in tropical Malaysia. In: Tanaka R, Cheng IH (eds) Lignocellulose: material for the future from the tropics. JIRCAS Working Report 39:7-12
- Kamo K et al. (2005) Growth and biomass of *Acacia mangium* Willd. stands planted as bare-root and container seedlings. JARQ 39:299-305
- Knowles OH & Parrotta JA (1995) Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and performance indices. Commonwealth Forestry Review 74: 230-243
- Koch JM (2007^a) Aloca's mining and restoration process in south Western Australia. Restoration Ecology 15: s11-s16.
- Koch JM (2007^b) Restoring a jarrah forest understorey vegetation after bauxite mining in western Australia. Restoration Ecology 15:S26-S39
- Koch JM & Hobbs RJ (2007) Synthesis: Is Alcoa successfully restoring a jarrah forest ecosystem after Bauxite mining in Western Australia? Restoration Ecology 15: S137-S144
- Lamb D (2005) Restoring tropical moist broad-leaf forests. In Mansourian S et al (eds) Forest restoration in landscapes Beyond planting trees. Springer New, York, pp. 291-297.
- Lee HS et al. (2002) The 52-hectare forest research plot at lambir hills, Sarawak, Malaysia: Tree distribution maps, diameter tables and species documentation. Forest Department Sarawak and others.
- Mansourian S et al. (2005) Overview of technical approaches to restoring tree cover at the site level. In: Mansourian et al. (eds) Forest restoration in landscapes beyond planting trees, Springer, New York, pp. 241-249
- Marcar NE et al. (1999) Trees, shrubs and grasses for saltlands: an annotated bibliography. ACIAR Monograph No. 56

- Martinez-Garza C & Howe HF (2003). Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. Journal of Applied Ecology 40: 423-429
- Michelsen A et al. (1996) Comparison of understorey vegetation and soil fertility in plantations and adjacent natural forests in the Ethiopian highlands. Journal of applied ecology 33: 627-642.
- Montagnini F et al. (1995) The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the Atlantic Forest region of Bahia, Brazil. Journal of Applied Ecology 32, 841–856
- Montagnini F & Piotto D (2011) Mixed plantations of native trees on abandoned pastures: restoring productivity, ecosystem properties, and services on a humid tropical site In: Gütter S et al. (eds), Silviculture in the tropics, Springer Heidelberg. pp. 501-511
- 森徳典 (2012) 熱帯モンスーン気候下の乾燥地における植林技術. 途上国森づくり事業 (開発地植生回復支援) 国際緑化推進センター pp. 118-131
- Nepstad et al (1996) A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. Oikos, 76, 25–39.
- Nichols JD & Carpenter FL. 2006. Interplanting *Inga edulis* yields nitrogen benefits to *Terminalia amazonia*. Forest Ecology and Management 233:344–351
- 新田義孝(2006) コアラプロジェクト: 石炭を介した日豪補完環境保全プロジェクトの提案. 季報 エネルギー総合工学 Vol29 No.2
- Olowolafe EA & Alexander MJ (2007) Effects of *Eucalyptus camaldulensis* plantation on mineland soils on the Jos plateau, Nigeria. Nigerian journal of Botany 20: 361-372
- 大角泰夫 & 仲摩栄一郎 (2012) 対象地域の自然環境と試験地の選定. 1. 酸性及び潜在酸性土壌地域-南カリマンタン州. 途上国森づくり事業 (開発地植生回復支援) 国際緑化推進センター pp. 65-71
- Otsamo A et al. (1997) Evaluation of reforestation potential of 83 tree species planted on Imperata cylindrica dominated grassland. New Forests 14: 127-143.
- Parrotta1 JA & Knowles OH (1999) Restoration of tropical moist Forests on bauxite-mined lands in the Brazilian Amazon. Restoration Ecology 7:103-116
- Parrotta JA & Knowles OH (2001) Restoring tropical forests on lands mined for bauxite: examples from the Brazilian Amazon. Ecological Engineering 17:219-239.
- Rodrigues RR et al (2009) On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. Biological Conservation 142: 1242–1251
- Sabgal C (2005) Site-level restoration strategies for degraded forest lands. Restoring forest landscapes, ITTO technical Series 23:91-100
- Shen S & Hess A (1983) Sustaining tropical forest resources reforestation of degraded lands.

 OTA Publishing
- Siddique I et al (2008) Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration planting with seven years. Biogeochemistry 88: 89-101.

- Singh AN et al. (2004) Comparative performance and restoration potential of two Albizia species planted on mine spoil in a dry tropical region, India. Ecological Engineering 22:123-140.
- Tacey WH & Glossop BL (1980) Assessment of topsoil handling techniques for rehabilitation of sties mined for Bauxite within the jarrah forest of Western Australia. Journal of applied ecology 17:195-201
- Tuner IM (2001) The ecology of trees in the tropical rain forest. Cambridge University Press.

 Cambridge
- Vieira ICG et al. (1994) The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham. as a 'succession facilitator' in an abandoned pasture, Paragominas, Amazonia. Vegetatio 115: 91–99
- Whitmore TC (1984) Tropical rain forests of the Far East. Clarendon Press, Oxford
- Whitmore TC (1988) An introduction to tropical rain forests Second edition. Oxford University Press, Oxford
- Young TP et al (2005) The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. Ecology letters 8:662-673
- Yarranton GA & Morrison RG (1974) Spatial Dynamics of a Primary Succession: Nucleation. Journal of Ecology 62: 417-428
- Zahawi RA, Augspurger CK (1999) Early plant succession in abandoned pastures in Ecuador. Biotropica 31: 540-552
- Zahawi RA (2005) Establishment and growth of living fence species: an overlooked tool for the restoration of degraded areas in the tropics. Restoration Ecology 13:92-102.
- Zahawi RA & Augspurger CK (2006) Tropical forest restoration: tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras. Ecological Applications 16: 464-478
- Zahawi RA et al. (2013) Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. Journal of Applied Ecology 50: 88–96

2) インドネシアの鉱山開発跡地における森林回復施業技術の情報収集

元インドネシア林業省研究開発局 上席研究員 Dr. A. Ngaloken Gintings

1. はじめに

天然資源は国家発展における基本的資本であり、中でも鉱業は、現在インドネシアに外貨をもたらす一つの要因となっている(Siti Latifah、2003年)。

採鉱、特に金と石炭の採掘は、露天掘りで行われている。Sabtanto Joko Suprapto 氏 (2012年)によると、その結果として、鉱業跡地では、特に地下水や地表水における化学的性質の変化、土地の形態学的・地形学的変化といった環境変化が起こっている。それに続いて引き起こされるミクロレベルでの気候変動、動植物の生息地破壊、土地の生産性低下も発生している。Anonim 氏 (2011年)によれば、露天掘りによる石炭採掘では、石炭以外の物質も大量に産出され、別の場所へ堆積される (表土下層部)。この土壌は、表土 (A層とB層)と土壌の母材の混合物である。土壌の母材には、粘土岩、シルト岩、砂岩、凝灰岩といったものが挙げられるが、これらは物理性が不良であり、有毒な化学物質を含んでいることも多い。Chairil Anwar Siregar 氏と Wayan Susi Dharmawan 氏 (2007年)によると、Pongkor の金鉱山では相当量の尾鉱を産出するが、この尾鉱に処理を施せば、林木の育成に用いることが可能な培養土となる。この処理は、金属イオン (Pb, Cu, Zn dan Fe)と反応する有機官能基がキレートする過程で、金属イオンを抑制し、菌根もしくは N、P、K 肥料を混ぜるという方法で行われる。

このように様々な問題があるため、鉱業跡地には再生とリハビリテーションが必要である。

2. 解釈

様々な参考文献や規則が存在するため、ここで用いる解釈を以下に挙げる。

再生とは、鉱業事業活動の結果損傷を受けた土地が、その用途に合わせて効率的に機能することが出来るよう、その機能を修復、整備する活動のことである(Sabtanto Joko Suprapto、2012年)。

Siti Latifah 氏 (2003 年) によると、「再生」、「鉱業跡地の復旧」、「尾鉱」、「露天掘り」とは、以下を指す。

「再生」とは、鉱業事業活動の結果損失を受けた土地が、その能力に合わせて最適に機能することが出来るよう、修復(回復)するための活動のことである。

「鉱業跡地の復旧」とは、鉱業跡地の機能を元の状態に戻すための活動のことである。

「尾鉱」とは、産出された時点や鉱石処理過程において経済的価値がないとされる鉱物のことである。

「露天掘り」とは、直接大気に暴露する採掘方法のことである。

Susilo Bambang Yudhoyono 氏 (2008年) によると、森林の再生及び森林と土地のリハビリテーションとは、以下を指す。

森林再生とは、土地と森林の植物がその用途に合わせて最適に機能することが出来るよう、修復もしくは回復させるための活動のことである。

森林と土地のリハビリテーションとは、森林と土地の機能を回復、維持、向上させるための活動で、環境収容力や生産寿命も引き続き保護される。

3. 再生とリハビリテーションの目標と目的

森林の再生とリハビリテーションの解釈からその目標と目的は以下の通りである。 リハビリテーションの短期的な目標は、浸食に対して安定した景観を形成することと、 土地を生産的にすることである(Sabtanto Joko Suprapto、2012 年)。

再生は、採掘の結果損失を受けた土地の機能を、修復もしくは整備することを目標とする (Hermin Tikupadang 及び Retno Prayudyaningsih、2010 年)。

Siti Latifah 氏による目的(2003年):

- (1). 生態系が妨げられた土地を修復するための鉱業跡地の回復。
- (2). 生態系が修復された鉱業跡地を次の用途に使用するための準備。

4. 採掘活動

Sabtanto Joko Suprapto 氏(2012年)は、活動は以下のように行われるべきであると述べている。

A. 鉱業計画活動の段階

この活動には、資源と埋蔵量の予測、鉱業範囲の計画、採掘の各段階、鉱山生産スケジュール、堆積地の計画、必要な機材と労働力の計算、資本と操業経費の計算、財政面の評価、環境影響分析、企業の社会的責任(CSR)、社会の発展、鉱山の閉山を含む。Siti Latifah氏(2003年)によると、再生計画立案において留意するべき点は、以下の通りである。

- (1) 採掘を実施する前に再生計画を準備する。
- (2) 再生される土地の面積は、採掘用地の面積と同じ広さである。
- (3) 表土上層部を決められた場所へ移動、保管し、再緑化の際に元の姿に戻す。
- (4) 損傷を受けた自然の水流経路を元に戻す(修復する)。
- (5) 廃棄場へ廃棄する前に、有害物質の含有(率)を、安全なレベルまで無くす(下げる)。
- (6) 土地の状態を元に戻したり、使用目的に適合させる。
- (7) 再生プロセスの途中や、終了後の浸食を小さくする。
- (8) 採掘活動で使用が終了した全ての機材を移動させる。
- (9) 硬い表面の土壌を柔らかくする必要があるが、それが出来ない場合には、硬い土壌 を貫通する根を持つパイオニア植物を植える。

- (10) 採掘後、鉱業跡地は直ちに再緑化されるため、林業省のリハビリテーション計画 と、作成済みの環境管理・ミティゲーション計画書 (RKL) に沿った植物種の再植 林が行われる。
- (11) 有害な害虫や雑草が入り込むのを防止する。

B. 再生

この活動は、持続可能な環境計画を目指す鉱山の閉山プログラムである。東カリマンタンの Kelian 金鉱山の閉山は、見本とすることが出来るインドネシアで初めての事例である。

C. 土地の修復対策

酸性鉱山廃水に関して、とりわけ以下の事項に留意する必要がある。採掘後に土を埋立て、上層土に肥料を撒き、浸食を防ぐ。勾配が急な斜面にはテラスを造成したり、天候やその他機能を調整することで、土壌と水環境の保護を行う。

土地復旧のための試みとしては、土を再度埋め戻すこと、苗を育てるための畑や農園作り、再緑化の実施、酸性鉱山廃水への対応、水路の整備、鉱業跡地の活用法決定、鉱石保護の観点から目的に沿った植林木樹種の選定が挙げられる。

5. 再生とリハビリテーションに関わる技術指針

上記の説明に基づき、再生とリハビリテーションに関わる技術の詳細に関して、以下のように述べることが出来る。

A. 鉱業跡の埋立て.

有効な規定に則り、採掘の際に掘られた地層は決められた場所に置かれ (積まれ)、採掘 終了後にこの地層を元の通りに戻すことで、鉱業跡地の埋立てを行う。

B. 安定した土地作り

埋立てによる自然景観は、浸食が起こらないよう、元通りに作られる。険しい土地には テラスや苗を育てるための畑を作ったり、被覆作物や草を用いて土地を覆ったり、その地 域に適した木を植林する。Anonim 氏(2011 年)によると、この他に安定した土地を作る ために用いられる方法には、特に以下の方法が挙げられる。(1) アスファルト乳剤の使用、

(2) Flemengia congesta のような被覆作物を植える。

C. 土壌の性質の修復

通常、鉱業跡地は酸性であるため、施肥が行われる。Anonim 氏(2011 年)によれば、利用できる方法には、有機物、堆肥、石灰といった土壌改良剤の使用がある。これと同等に重要なのは、雨水の収集である。

D. 尾鉱の毒性試験

Chairil Anwar Siregar 氏と I Wayan Susi Dharmawan 氏(2007年) によると、以下のような方法を用いて実験を行うことが可能である。

- (1) 重金属に対して反応を示すトウガラシ(Capsicum annum)を植える。
- (2) 植林木用の穴は 50 cm x 50 cm で作り、間隔は 3 m x 2 m とする。
- (3) 培養土 →岩がちな鉱業用地の場合、尾鉱: 堆肥: 表土上層部=1:1:1。平地の場合、尾鉱: 堆肥=3:1.
- (4) 苗には菌根菌を与える。
- (5) 3ヶ月毎に植林木の保育を行う。
- (6) Glomusaggregatum、G. fasciculatum、G. etunicatum といった、Gmelina arborea 植林樹種には、内菌根を与えると N、P、K の吸収が良くなる。

E. 苗床

Hermin Tikupadang 氏と Retno Prayudyaningsih 氏(2010 年)による実験は、以下の通りである。

- (1) バイオポッティングを使用する。バイオポッティングとは、有機物と土壌の微生物 (有益な菌もしくはバクテリア) を混合して固める、苗床の土壌作りの方法の一つ である。
- (2) バイオポッティングは、特に生産性がほとんどないような土地において、苗床から 植林場所に至るまで、植林木の成長を向上させることが出来る。
- (3) バイオポッティングは、鉱業によって損失を受けた土壌の化学的、生物学的、物理的性質を修復することが出来る。
- (4) BIOTROP によって生産された、アカシアマンギウムの樹皮と粘土から成る苗木の 土壌ブロック (BMS) は、水分含有量 30%、密度 0.60 gr/cm3、気孔率 35%である。 林産物研究開発センターの Pasaribu は、粘土 20% (粘度 20~25%)、平均水分含有 率 7.80%、平均密度 0.82%、平均気孔率 46.89%を有する、マンギウム樹皮の堆肥 80%の BMS を作った。

F. 再生とリハビリテーション

再生活動の原則は、以下の通りである。(1) 再生活動は、開発活動全体のうちの一部を成すものであると捉えられなければならない。(2) 再生活動は出来るだけ早期に行われなくてはならず、採掘プロセス全体の終了を待つ必要はない。再生実施は、土木技術や植林技術を用いて行うことが可能である。(Siti Latifah、2003年)

Maming Iriansyah 氏 (2005 年) は、鉱業跡地の再生とリハビリテーション活動において、以下の実験を行った。

(1) 植林間隔は、3mx3m 及び5mx5m

- (2) NPK を含まない、ボカシ Bokashi (生物発生源が豊富な有機物) 肥料での生存率は 64.89 %
- (3) ボカシ肥料 2 kg に NPK を 25 グラム足した場合の生存率は 53.54%、ボカシ肥料 2 kg に NPK を 50 グラム足した場合の生存率は 59.02%
- (4) 実験に使用した植林木は、メランティー (Shorea roxburgii) とプライ (Alstonia scoholaris) である。

Siti Latifah 氏(2003年)によると、再生の実施には以下のような活動が含まれる。

- (1) 鉱業跡地の安全対策となっている土地の準備、土地作りの調整(造園)、未活用低純度鉱物の調整と配置
- (2) 浸食と堆積の抑制
- (3) 表土上層部の管理
- (4) 再緑化(再植林)や、本来の目的のための鉱業跡地の活用

上の説明より、以下のようにまとめることが出来る。

- (1) テラス作りや被覆作物を用いた浸食と堆積の抑制
- (2) 表土上層部の管理:元の地層に合わせた土壌の埋立て
- (3) 土壌の堅密化を抑えるため、土壌の埋め戻しは雨天時には行わない。

2011 年 1 月 14 日付け『林業大臣規定第 P.4/Menhut-II/2011 号』の添付に、以下のような 鉱業跡地の再生に関する規定が幾つか記載されている。

添付1:傾斜形状の調整と再生手法

	Perlakuan Ko	onservasi Tanah ((Reklamasi)		Keterangan (%)
- Vegetasi Tetap (Tanama n tahunan) - Hutan Lindung	- Hill Side Ditch - Teras Bangku - Teras Individu - Teras Kebun - Teras Alis - Tanaman Penguat Teras - Agroforest ry - S P A	- Teras bangku - Teras Guludan - Teras Kredit - Hill Side Ditch - Tanaman Penguat Teras - Agroforestry - S P A	- Teras Guludan - Teras Kredit - Grass Barrier - Ship Cropping - Agroforestry - S P A	- Cover Crop - Teras Datar - SPA	
1					40 - 100
	3				25 – 40
		3			15 – 25
			5		8 – 15
					0-8

図 1: 傾斜形状の調整と再生手法

添付2:低純度鉱物の埋立て形状調整

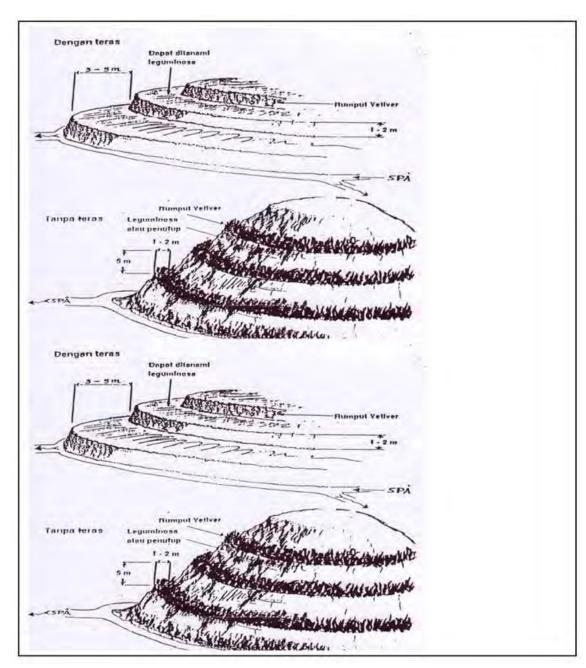


図2:埋立て形状

添付3:再生予定地の表土上層部管理

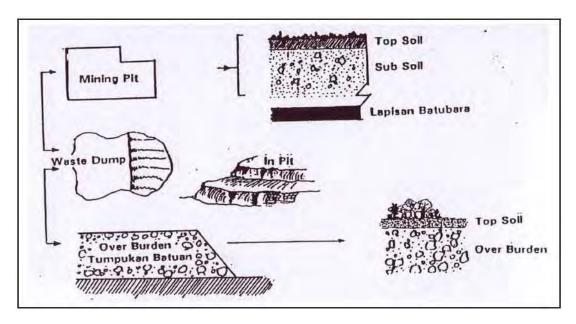


図3:採鉱ピットの表土上層部剥離と、廃石場における表土下層部上部の土壌掘削方法

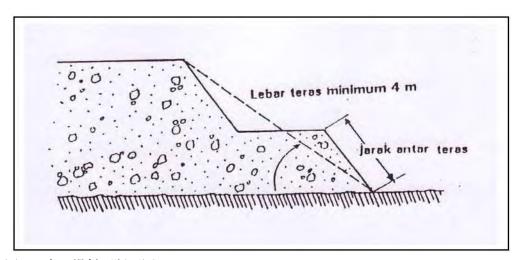


図4:廃石場斜面断面図

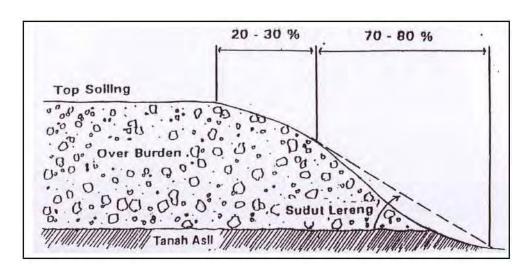


図 5: 廃石場斜面断面図(凸凹形状)

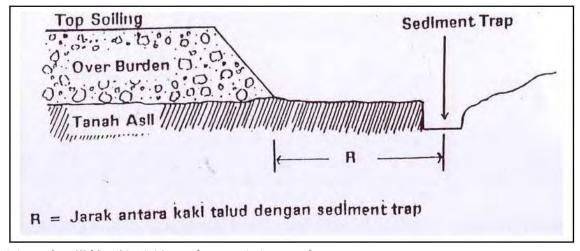


図 6: 廃石場斜面断面図とセディメントトラップ

添付4: テラス作り

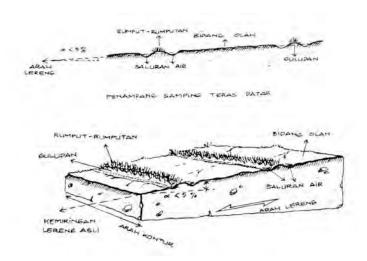


図7:平坦なテラス

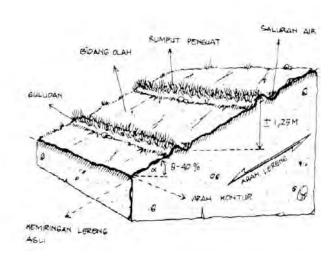


図8: 苗を育てる畑を形成するテラス

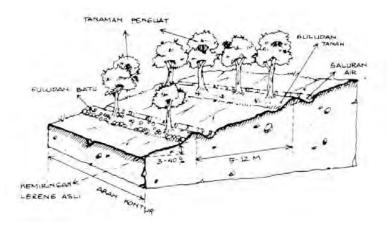


図9:クレジットテラス

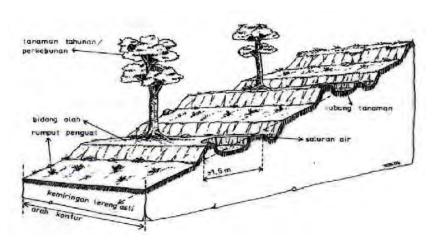


図 10:農園テラス

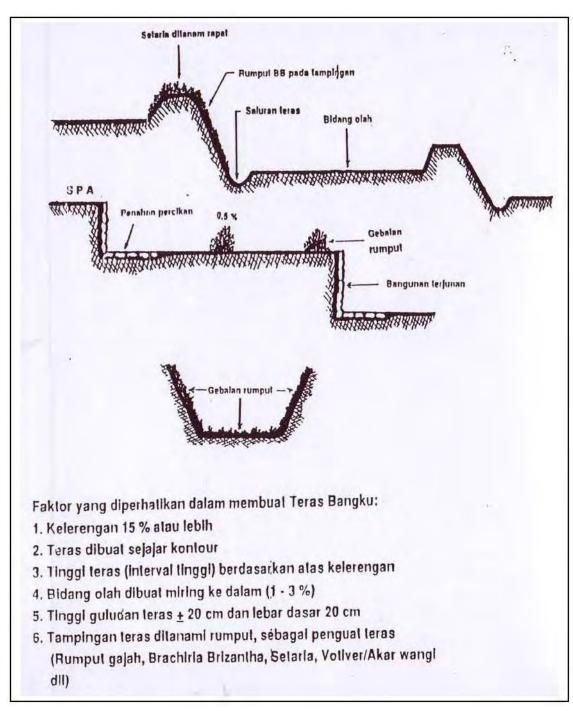


図 11:ベンチテラスと水制御チャネル

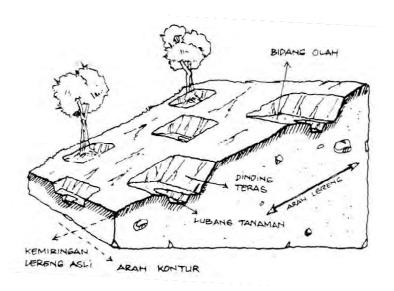


図 12: 個別テラス

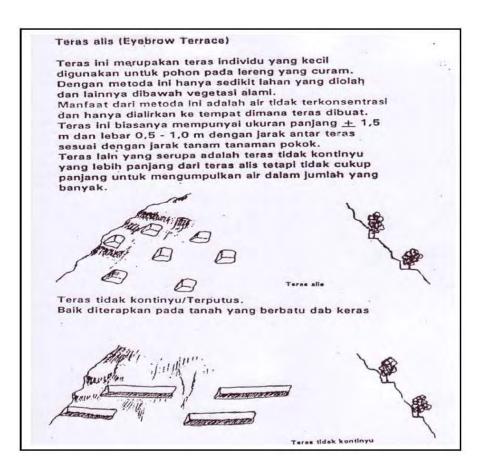


図 13: 眉型テラスと非連続的テラス

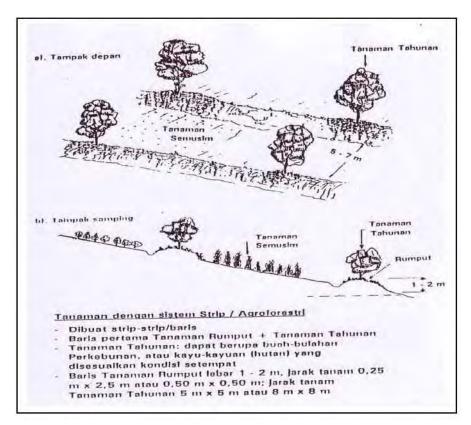


図 14: アグロフォレストリー/帯状栽培

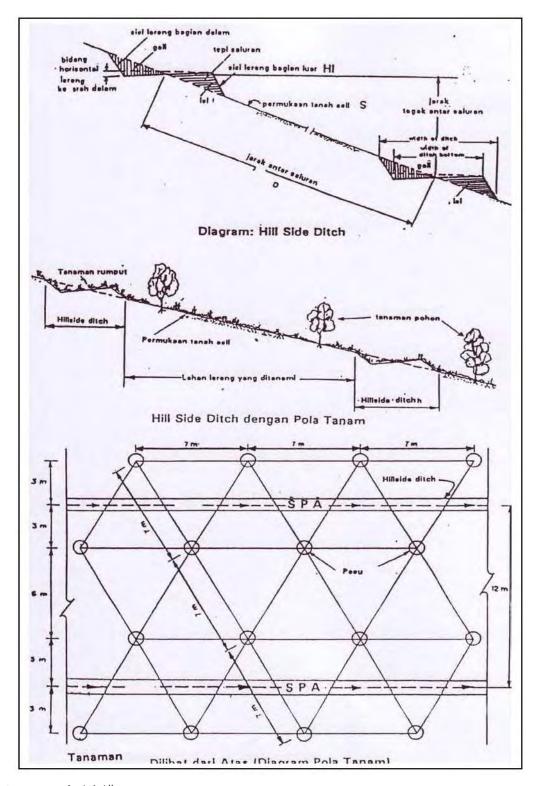


図 15:ヒルサイド溝

添付5:排水路(SPA)作り

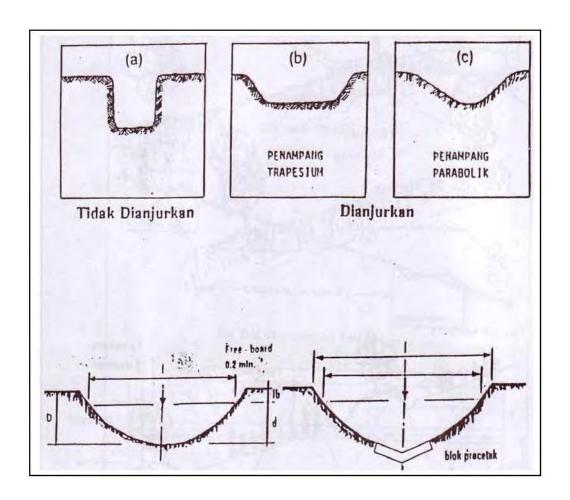


図 16:排水路断面図

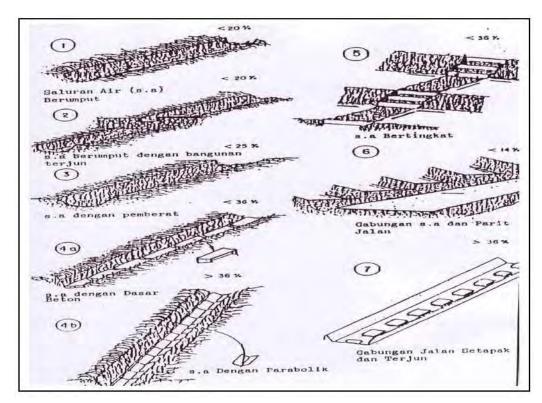


図 17:排水路の種類と形状

添付6:チェックダムと調節ダム

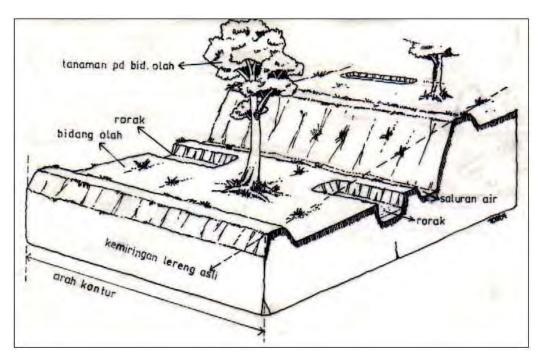


図 18. Rorak (途中で遮断されている水路)

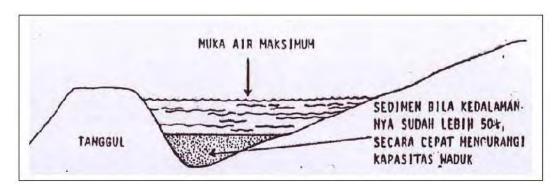
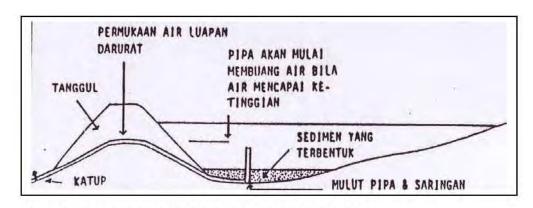


図 19. 水と堆積物の調節ダム



B. PIPA YANG MENEMBUS DASAR BENDUNGAN

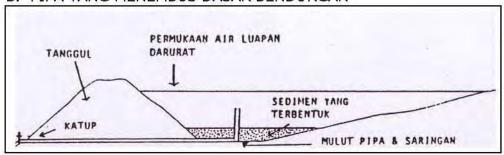


図 20. 堆積物調節ダム

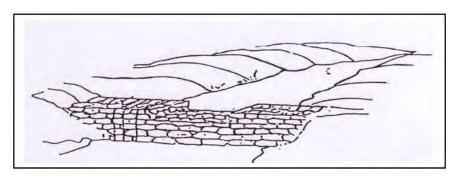


図 21. 針金製 Bronjong を用いたチェックダム

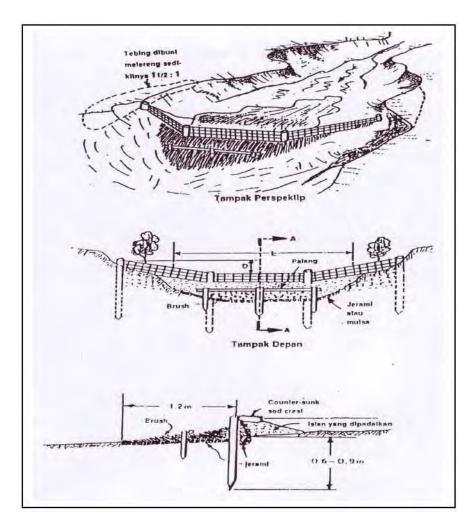


図 22. 木材を用いたチェックダム

再緑化活動には、以下の事項を含む。

- (1) 植林の準備には、植林木樹種の選択、施肥、種子の収集と選別、種子の保管、苗床の準備が含まれる。Eddy Nurtjahya 氏(2008 年)は、Bangka 島にあるスズ鉱山のリハビリテーションに適した地元の植林樹種を選定した。この植栽木の種類には、ヒメツバキ(Schima wallichii)、ビンタンゴール(Calophyllum inophyllum)、シーアップル(Syzygium grande)、アコウ (Ficus superba)、ビテックス属 (Vitex pinnata)、オオハマボウ (Hibiscus tiliaceus)、マメアデク (Syzygium polyanthum)、オオバギ属 (Macaranga sp.) が含まれる。
- (2) 植栽用の植え穴作り。2011 年 1 月 14 日付け『林業大臣規定第 P.4/Menhut-II/2011 号』に則り、植栽用の穴の大きさは 30 cm x 30 cm x 30 cm とする。Ismet Inonu 氏 (2012 年) によると、ポットシステムで植林を行う際は 60 cm x 60 cm x 50 cm と する。
- (3) 植栽前に、植え穴中の土壌に、植林木の必要量に適した NPK 肥料を加える。
- (4) 植え付けは雨季に行い、苗のビニールポットは取り外す。

- (5) 苗木を真っすぐに植え、苗木周辺の土壌を固める。
- (6) 植林木の保育には、とりわけ、補植、施肥、草刈り、柵作り、水やり、害虫や病 気からの保護、火災防止、間伐、剪定、追加等が挙げられる。
- (7) 植林木のモニタリング。2011 年 1 月 14 日付け『林業大臣規定第 P.4/Menhut-II/2011 号』に基づくと、1 ヘクタール当たり、もしくは 4 m x 4 m の植林間隔で、625 本の植林木が成長した場合、成功したものと見なされる。

6. 得られた成果

Chairil Anwar Siregar 氏と I Wayan Susi Dharmawan 氏(2007年)は、実験結果について、以下のように述べている。

- G. Arborea、Paraserianthes falcataria、Eucalyptus pellita は良く成長している。
 尾鉱: 堆肥=3:1
- (2) 有機肥料と菌根菌を与えることで、N、P、K養分の吸収を上げることが出来た。

Hermin Tikupadang 氏と Retno Prayudyaningsih 氏 (2010年):

- (1) 発育の実験結果は以前より良好であるが、実験はまだ60日の時点である。
- (2) 椰子の繊維から作ったバイオポットは非常に良い。
- (3) ヒマワリヒヨドリ(*Chromolaena odarata*)60%、粘土20%、堆肥20%のバイオポットは、BIOTROP製のもの(平均水分率34.01%、平均密度0.94 gr/cm3、平均気孔率38.72%)と同じ性質を持つ。

Maming Iriansyah 氏 (2005):

- (1) 1 年後の植栽木の生存率: オオハマボウ 97.87%、グメリナ 95.60%、アカシアオーカルパ 90.50%、アカシアマンギウム 76.24%
- (2) 実施された植林木に対する保育には、雑草管理、マルチング、一定の間隔で行う 有機肥料と無機肥料 (NPK) の施肥を含む。

Amiril Saridan 氏(2005年):

- (1) 土壌が酸性であったため、リハビリテーションはあまり成功しなかった。
- (2) 被覆作物の実験では、土壌の肥沃化が見られた他、被覆作物の腐敗によって土壌の pH が上昇した。
- (3) フタバガキ科の常緑高木 (Shorea) 種の植栽木は現在実験中であるが、現時点での成長は良好でない。

Akbar 氏他チームメンバー (2000 年) は、南カリマンタンにある石炭鉱山での研究結果より、マンギウム (Acacia mangium)、ヒメツバキ (Schima wallichii)、カマバアカシア (Acasia crassicarpa) は、鉱業跡地のリハビリテーションに有望であるとしている。

引用文献

- Akbar, A., A. Ng. Gintings, dan A. P. Tampubolon. 2000. Rehabilitasi Areal Tambang Batubara dengan Mulsa dan Pupuk Organik. Duta Rima, Jakarta.
- Amiril Saridan. 2005. Penelitian Teknik Bekas Tambang Emas di PT. KEM, Kalimantan Timur. Laporan Tahunan Balai Penelitian dan pengembangan Kehutanan Kalimantan, Samarinda. Tahun 2005 Buku 2. Program Pengelolaan DAS dan Rehabilitasi Hutan/Lahan.
- Anonim. 2011. Teknologi Reklamasi Lahan Bekas Tambang Batubara. Senen 10 Mei 2010. Balai Penelitian Tanah 2011, Jl. Tentara Pelajar No. 12 Bogor 16114, Indonesia.
- Chairil Anwar Siregar dan I Wayan Susi Dharmawan. 2007. Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. Makalah pada gelar teknologi "Pemanfaatan IPTEK untuk kesejahteraan masyarakat", Purworejo, 30-31 Oktober 2012. Prosiding Gelar Teknologi Pemanfaatan IPTEK Untuk Kesejahteraan Masyarakat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor: pp 25-31.
- Eddy Nurtjahya. 2008. Revegetasi Lahan Pasca Tambang Timah dengan Beragam Jenis Pohon Lokal di Pulau Bangka. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Darmaga, Bogor.
- Ismed Inonu (2012): Teknik Reklamsi (2). Revegetasi.
- Kaban, M.S.2009. Peraturan Menteri Kehutanan No. P.60/Menhut-II/2009 tentang Pedoman Penilaian Keberhasilan Reklamasi Hutan. Direktorat Bina Rehabilitasi Hutan dan Lahan, Direktorat Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial, Jakarta.
- Hermin Tikupadang dan Retno Prayudyaningsih. 2010. Pemanfaatan Biopotting Dalam Merehabilitasi Lahan Bekas Tambang. Makalah pada ekspose Hasil-Hasil Penelitian Balai Penelitian Kehutanan Makassar, 22 Juni 2010. Prosiding Hasil-Hasil Litbang Mendukung Rehabilitasi dan Konservasi Hutan Untuk Kesejahteraan Masyarakat. Pusat penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Bogor. Pp : 69-84.
- Maming Iriansyah. 2005. Penelitian Teknik Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Batubara. Laporan Tahunan Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kalimantan, Samarinda. Tahun 2005 Buku 2. Program Pengelolaan DAS dan Rehabilitasi Hutan/Lahan.
- Sabtanto Joko Suprapto. 2012. Tinjauan Reklamasi Lahan Bekas Tambang dan Aspek Konservasi Bahan Galian. Pusat Sumber Daya Geologi. Badan Geologi, Bandung.
- Siti Latifah. 2003. Kegiatan Reklamasi Lahan Pada Bekas Tambang. Program Ilmu Kehutanan, Jurusan Manajemen Hutan, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Susilo Bambang Yudhoyono.2008. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 76 Tahun 2008. tentang Rehabilitasi dan Reklamasi Hutan. Sekretariat Negara, Jakarta.

- Zulkifli Hasan.2011. Peraturan Menteri Kehutanan No. P.63/Menhut-II/2011 tentang Pedoman Penanaman bagi Pemegang Ijin Pinjam Pakai Kawasan hutan dalam Rangka Rehabilitasi Daerah Aliran Sungai. Kementerian Kehutanan, Jakarta.
- Zulkifli Hasan.2011. Peraturan Menteri Kehutanan No. P.64/Menhut-II/2011 tanggal 14 Januari 2011 tentang Pedoman Reklamasi Hutan. Direktorat Bina Rahabilitasi Hutan dan Lahan. Direktorat Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial, Jakarta.

3) インドネシア REDD+国家戦略報告書の概要

インドネシア REDD+制度準備タスクフォースが編纂した、REDD+国家戦略(2012 年)はインドネシアにおける REDD+の取り組みについて、その基本的考え方、進め方、およびいくつかの留意事項について述べたものであり、インドネシアにおける REDD+活動の憲法といえるものである。この要約では全体の流れに沿って、重要な部分のみを取り上げ説明する。

なお、本インドネシア REDD+国家戦略報告書の全訳を巻末の添付資料に記載する。

1. 第1章

第1章 は序論であり、インドネシアにおける REDD+の重要性に触れている。つまり、 国土の70%に当たる1億3千万 ha を森林が占めるインドネシアにおいては、REDD+を実施する大きなメリットがあり、インドネシア政府は2020年までに26%(自国資金のみの場合)あるいは41%(海外からの援助を受けた場合)の排出削減を達成すると公約している。

2. 第2章

第2章は本REDD+国家戦略のコアであり、REDD+国家戦略の詳細、つまり、REDD+のビジョン・任務・目的・原則、対象範囲、およびREDD+を進める上での5つの柱についての解説である。

まず、REDD+のビジョンは、国民の繁栄のために最大限に活用されうる国家財産としての持続可能な森林・泥炭地における天然資源管理であり、REDD+の任務は、森林・泥炭地の管理システムの機能強化、法令の整備、法令順守の強化等により達成される持続可能な森林・泥炭地管理の実現である。

REDD+の目標としては、以下の短期、中期および長期目標を設定している。

(1) 短期目標(2012-2014):

経済成長を保ちながら温室効果ガスを削減するインドネシアの公約が実現されるよう、 空間規則、投資環境、制度および管理システムの戦略的向上が図られる。

(2) 中期目標(2012-2020):

2020年までに26-41%の排出削減目標を達成するため、森林・泥炭地管理システムと、 それまでのステップですでに達成・開発された財政確保とメカニズムにおいて、構築された政策・プロセスに従いガバナンスが実現される。

(3) 長期目標(2012-2030):

森林の経済的機能および生態系サービス機能を持続させるための適切な政策実施の結果として、2030年までにインドネシアの森林・原野が最終的なカーボンシンクとなる。

REDD+の原則について、インドネシアにおけるREDD+は、有効性・効率性・公平性・透

明性・説明責任の5つの基準に基づき実施される。また、REDD+の対象範囲は、(1) 森林・泥炭地の減少・劣化に起因する排出の削減、(2)森林保全、持続可能な森林管理、および荒廃地の復旧・回復による炭素ストックの増大、(3)排出削減に伴う住民の福祉向上、生物多様性保全の向上、その他生態系サービス保護の向上など追加的便益の創出である。

つぎに、REDD+国家戦略の最重要部分である以下の5つの柱について詳しい解説がなされている。

(1) REDD+制度システムの構築

REDD+の制度については、国家レベルではREDD+の規制枠組み作りやREDD+プログラムの開発を担当するREDD+エージェンシー、REDD+プロジェクト等への資金投入を担当するREDD+基金および排出削減に係る計測、報告、検証を担当するMRV機関の3つの組織を設立するとし、それら3機関の任務、権限あるいは3組織の相互関係について述べている。

REDD+エージェンシーは法に則り設立され、大統領への直接報告義務を負い、その代表は政府大臣と同等の立場である。その主な任務はREDD+スキーム実施のための規制枠組みの立案、REDD+プログラム開発の促進、森林・泥炭地の管理規則システムの改善促進の規制、などREDD+制度や関係省庁間の調整である。

REDD+基金は REDD+エージェンシーにより設立される機関で、その任務は、世界的に認証されたセーフガードと説明責任の基準に基づき、政府の財政システムとは別に自主的、専門的かつ確実に REDD+基金を管理すること、制度的・計画的・専門的な資金調達を通じた国内外の公的および民間部門からのさまざまな REDD+資金の運用、などである。

MRV機関は、REDD+エージェンシーにより組織編成される機関で、その任務はREDD+の実施による温室効果ガスの排出削減および蓄積の維持・増加についての計測、報告および検証を定期的に行うものである。

また、サブ国家レベルとして州政府が国に準じた制度を設けるとしている。

(2) 政策・規則の見直しと強化

政策・規則の見直しと強化で注目されるのは、REDD+に最も関係の深い政策である空間規則(土地利用についての規則)と土地所有規則の見直しである。特に、土地所有規則については、REDD+実施が成功するために重要な必要条件のひとつであり、そのため政府から内務省および国土庁に対し、先住民やその他の地元コミュニティーの存在についての調査を行うよう指示が出される。また、法定外の紛争解決メカニズムを通じて実施可能な土地所有の紛争の解決を国土庁が行うよう支援する。

もう一つの注目すべき政策は、新規伐採許可の発行の**2**年間の停止措置である。さらに、 森林および泥炭地の組織的かつ持続可能な管理を実現するためには、地域の行政的管理の みではなく生態系のアプローチを取らなければならない、と強調している。

(3) 戦略プログラムの開始

戦略プログラムの開始は、森林・泥炭地の持続可能な管理、保全・復旧等REDD+の活動 内容に関することである。具体的には、持続可能な景観管理、持続可能な天然資源利用経 済システムの実施、および保全・復旧・回復がプログラムの内容として提示されており、 持続可能な景観管理の一手法として、森林・原野火災のコントロールと予防などが強調さ れている。

さらに復旧戦略プログラムは、効果的に復旧プログラムを進めるための現場における条件整備あるいは問題の解決に重点を置くとして、以下の3点を指摘している。

- a. 森林地域およびその他用途地における泥炭地の条件調査、それらの利用許可の調査、水利の復旧、ローカル樹種の植林および火災対策による泥炭地管理・復旧の強化。
- b. エンリッチメント植林、マングローブ林復旧、都市林の整備、および住民管理地域の拡大など、森林・泥炭地の造林/再造林活動のためのインセンティブ供与。
- c. REDD+と森林地域における生態系サービスのコベネフィットに貢献する高い可能性を持つ生態系の回復。

(4) パラダイムおよびワーキング文化の変革

パラダイムとワーキング文化の変革では、REDD+の取り組みにおけるジェンダー・バランス (男女の役割分担の明確化) やガバナンスの強化、情報公開と透明性の増大について述べている。具体的には、透明性を高め、参加者へ正確な情報を保証する 2008 年の情報公開法の実施プログラムを開発すること、法令制定プロセスや森林セクターにおける許可付与プロセスの透明性を高めること、貧困層や女性・子供など弱者グループの参加の拡大推進などである。

(5) ステークホルダーの参加

ステークホルダー(利害関係者)の参加については、REDD+への住民参加の拡大方策として、プライアー・コンセント(強制なしの事前同意)、セーフガード(危機回避手段)、および利益配分について詳細を述べている。

プライアー・コンセントとは、地元住民等関係者が REDD+プログラム/プロジェクト/活動を強制されることなく受け入れるかどうかという事前の確認プロセスであり、地元関係者の意向を最大限に重視する姿勢である。プライアー・コンセントのプロセスは、住民とRDD+の実施者との間で、継続的あるいは定期的に協議および対話の形で行われ、REDD+の様々な段階での拒否表明および紛争解決のメカニズム/プロトコールを含むものである。

また、セーフガードはREDD+を実施することにより、他の予期しないマイナスが生じないよう配慮すべきであるという考え方にもとづくもので、REDD+の実施により地元住民の福祉が阻害されたり、地域の生物多様性の保全に障害が出てはならないとする配慮である。

特に女性、子供、先住民等の弱者グループは様々な活動の影響を受けやすく、これらグループに対する配慮が優先されている。

社会分野のセーフガードは弱者住民グループにとって特に必要となる。このグループは、 生存を森林資源に依存している森林内部および周辺の先住民/地元住民や、家族の生計資源 の様々な変容の影響を頻繁にこうむる女性グループ、社会・経済・政治的な地位や権利の 維持について弱いポジションにある住民グループを含む。

また、環境分野のセーフガードにおいては森林・泥炭地における排出削減の取り組みと、 生物多様性やその他の生態系サービス機能の保全の取り組みの調和を確実にするための地 域の特性に応じた原則、基準、環境指標の策定を行う。また、REDD+が生物多様性の保全 の取り組みと持続的環境基準に反しないことの保証が求められる。

最後にREDD+から得られる報酬の配分について、個人としてあるいは集団として、資源 所有およびサービス提供の役割に応じた支払いを受ける、と参加住民のインセンティブを 強調している。

3. 第3章

第3章では、新設予定の3つの機関と制度(REDD+エージェンシー、REDD+基金、REDD+MRV機関)のREDD+戦略実施に対する方向性に言及する。表3.1.REDD+の効果的な実施への戦略ステップ、では上記の5つの柱について、第一段階(2011-2012年)、第二段階(2012-2014年)および第三段階(2014年以降)における実施スケジュールをまとめている。インドネシアでは2014年にREDD+完全実施が期待されているが、パイロット州におけるREDD+の実施について2014年から全インドネシアにおいて、よりシステマティックに展開されるとしている。

さらに州などサブ国家レベルの取り組みについての記述がある。つまり、サブ REDD+実施の第一段階として、どの取り組みおよび活動が国家ベルの活動に適用可能かを見極めるために REDD+をフルで実施するパイロット州を決定する。パイロット州の選定は、REDD+の実施を満足させる生物・物理的条件が整っていること、住民の森林資源への依存度、REDD+実施に関連するデータと人材の確保、REDD+に関するガバナンスならびに効果的、効率的かつ透明性のある行政機関などある。パイロット州においては、REDD+を実施するための州の戦略とアクションプランが、REDD+国家戦略を参考とし、地方中期開発計画と同調しつつ策定される。

4. 第4章

最終章である第4章では、REDD+実施の各段階におけるアプローチの必要性について強調している。REDD+は単に気候変動緩和や炭素排出削減からの便益を目的とするのではなく、さらに重要なのは生物多様性や水文システムなどの環境サービスの持続性が向上するという総体的な森林管理の向上である、と結んでいる。

第3章 森林回復技術開発モデル林造成実証活動

1) 「技術開発モデル林」造成実証活動の実施体制および概要

国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫

インドネシア国内第 3 位の石炭埋蔵量を誇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(図 3-1)。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村有地および私有地(ともにアルカリ性土壌)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。現地調査については、南カリマンタン州では地方大学(Lambung Mangkurat 国立大学)、東ヌサテンガラ州では林業省研究開発局クパン支所の協力を得た。

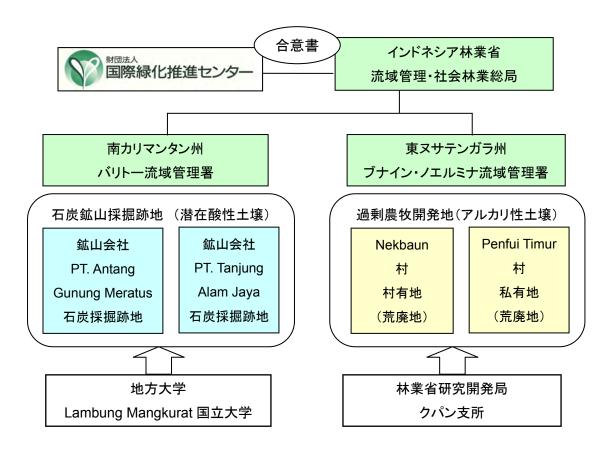


図 3-1. 南カリマンタン州及び東ヌサテンガラ州における造林試験の実施体制

平成 23 年度は、南カリマンタン州では、民間企業 2 社(AGM 社、TAJ 社)の石炭採掘

跡地において、対象地の環境条件(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8種リストアップし、客土・リッピング・施肥等を試験的に実施し、計8.5ha (AGM 社:5.0 ha (写真3-1)、TAJ 社3.5 ha (写真3-2)) の技術開発モデル林を造成した。

平成 24 年度は、南カリマンタン州では、民間企業 1 社 (AGM 社) の石炭採掘跡地において、新たに代表的な造林樹種を 11 種リストアップし、同様に、客土・リッピング・施肥等を試験的に実施し、5.0ha の技術開発モデル林を新規造成した。また、東ヌサテンガラ州では、クパン県の荒廃地において、対象地の環境条件(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 8 種リストアップし、有機質肥料、化成肥料および土壌改良材(木炭)施用等を試験的に実施し、計 8.5ha(Nekbaun 村の村有地: 4.0ha、Penfui Timur村の私有地: 4.0ha)の技術開発モデル林を造成した(表 3-1)。

表 3-1. 「森林回復技術開発モデル林」植栽実績(年度別植栽面積)

州(対象	>地)	平成 23 年度	平成 24 年度	計
南カリマンタン州		8.5 ha	5.0 ha	13.5 ha
	AGM 社		5.0 ha	10.0 ha
	TAJ 社	3.5 ha	1	3.5 ha
東ヌサテンガラ州	東ヌサテンガラ州		8.0 ha	8.0 ha
	Nekbaun 村	-	4.0 ha	4.0 ha
	Penfui Timur 村	-	4.0 ha	4.0 ha

2) 石炭鉱山開発跡地:インドネシア国 南カリマンタン州

国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫 インドネシア林業省 Barito 流域管理署 Mr. Nolianto Ananda, Mr. Hendry Ramadani

1. 背景·目的

近年、新興国での石炭需要の増加および日本への輸出増等により、インドネシアの石炭 生産量が急増している(2010年時点で1990年比約27倍)。

インドネシアの石炭鉱山は主に露天掘りで、採掘跡の埋戻し地や土捨場の盛土地は、政府の法令により森林・植生回復が義務付けられている。しかしながら、石炭採掘時に随伴して掘削された岩石層中にはパイライト(黄鉄鉱、FeS2)が含まれており、それが酸化することで酸性硫酸塩土壌が生成される。そのほかにも重機の踏圧による土壌の固結や貧栄養等、森林・植生回復の阻害要因が存在している。

そこで、本事業では、こうした石炭採掘跡の埋戻しおよび盛土地において、「森林回復技術開発モデル林」の造成を通して、適切な森林・植生回復技術(整地・地ごしらえ、客土、施肥、樹種選定等)を実証的に検討することを目的とした。

2. 対象地と方法

(1) 対象地の概要

南カリマンタン州では、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。造成対象地は、鉱山会社2社の石炭露天掘り後の埋戻し地(AGM社)および土捨場の盛土地(TAJ社)である(図 3-2)。埋め戻し用土および捨て土は、主に石炭採掘時に随伴して掘削された岩石層(海成堆積物)であることから、土壌の物理性、化学性ともに劣悪である。

土壌の物理性に関しては、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るので土壌が固く締め固められ、通気性・排水性ともに不良となる。また、化学性に関しては、腐植有機物のほとんどない貧栄養土壌である。また、パイライトが含まれているため、酸性硫酸塩土壌が局所的に発生している。



図 3-2. 南カリマンタン州におけるモデル林造成地

(2) 植栽樹種の選定

平成 23 年度は、南カリマンタン州の現地で一般的に用いられている造林樹種のうち、石炭採掘跡地の劣悪土壌に耐性があると考えられる樹種を 8 種選定し、計 8.5ha (AGM 社: 5.0ha、TAJ 社 3.5ha) に試験植栽した(表 3-2)。

表 3-2. 南カリマンタン州における平成 23 年度の造林樹種リスト

No.	学名	和名・商業名	用途	起源
1	Acacia mangium	アカシアマンギウム	用材	外来種
2	Anthocephalus cadamba	カランパヤン	用材	在来種
3	Enterolobium cyclocarpum	ゾウノミミ	用材	外来種
4	Fagraea fragrans	テンブス	用材	在来種
5	Hevea brasiliensis	ゴム	用材、樹液	外来種
6	Melaleuca cajuputi	カユプテ	用材、薬用油	外来種
7	Swietenia macrophylla	マホガニー	用材	外来種
8	Tectona grandis	チーク	用材	外来種

平成 24 年度は、同様に、新規樹種を中心に、11 種選定し AGM 社: 5.0ha に試験植栽した(表 3-3)。

表 3-3. 南カリマンタン州における平成 23 年度の造林樹種リスト

No.	学名	和名・商業名	用途	起源
1	Acasia mangium	アカシアマンギウム	用材	外来種
2	Aleurites moluccana	ククイノキ、クミリ	仁: 調理、油	在来種
3	Anthocephalus macrophyllus	サママ	用材	在来種
4	Azadirachta indica	インドセンダン	種子: 薬用	外来種
5	Dyera costulata	ジェルトン・ブキット	用材	在来種
6	Mangifera casturi	カスツリ・マンゴー	果実	在来種
7	Melaleuca leucadendron	メラルーカ	足場材	在来種
8	Paraserianthes falcataria	ファルカタ	用材	外来種
9	Peronema canescens	スンカイ	用材	在来種
10	Samanea saman	レインツリー	街路樹、用材	外来種
11	Terminalia catappa	モモタマナ	街路、被陰樹	外来種

(3) 植栽方法および試験処理

A-1. PT. Antang Gunung Meratus (AGM) 社石炭採掘跡地 (図 3-3)

A-1-1. 平成 23 年度: 5.0ha

石炭の露天掘り跡地を捨て土で埋戻した土地(写真 3-1)を対照区とし、そこに森林の表土を被覆(約50cm)した全面客土区、施肥区、マルチング区の3処理区を設定した。上記の8樹種(表3-2)を2012年3月に植栽し、植栽間隔は3m×3mで、試験プロットの最小単位は、同一樹種5本×5本とした。試験プロットは処理区順に規則的に配置し、それぞれ5回の繰り返し区を設けた(図3-4)。植栽木の生育(生存率、樹高および地際径)を経時的に測定した。今後も継続して測定を行う予定である。

A-1-2. 平成 24 年度: 5.0ha

平成 23 年度の隣接地 (写真 3-2) に、上記の 11 樹種 (表 3-2) を 2013 年 3 月に植栽し、平成 23 年度と同様の植栽方法、処理方法であるが、その組み合わせで合計 8 処理区を設定した (図 3-5)。植栽木の生育 (生存率、樹高および地際径) を経時的に測定を行う予定である。



写真 3-1. AGM 社平成 23 年度埋め戻し地



写真 3-2. AGM 社平成 24 年度埋め戻し地

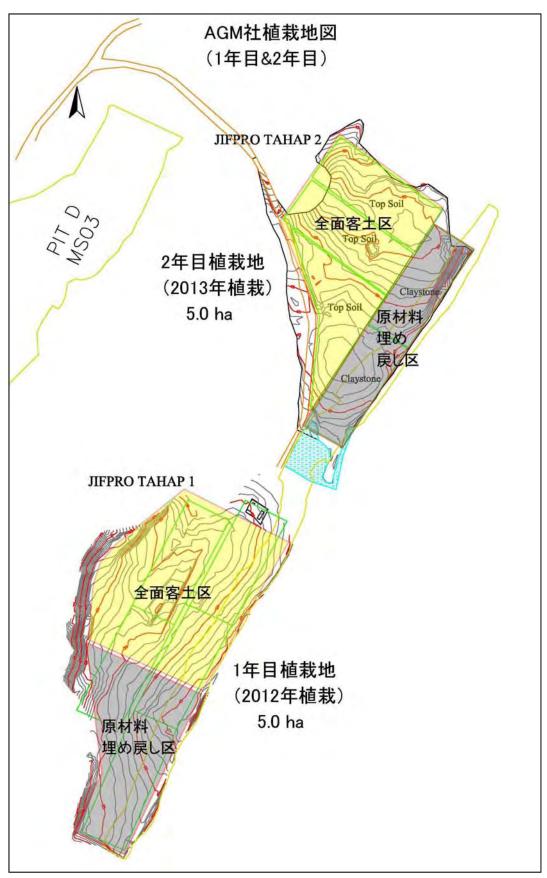
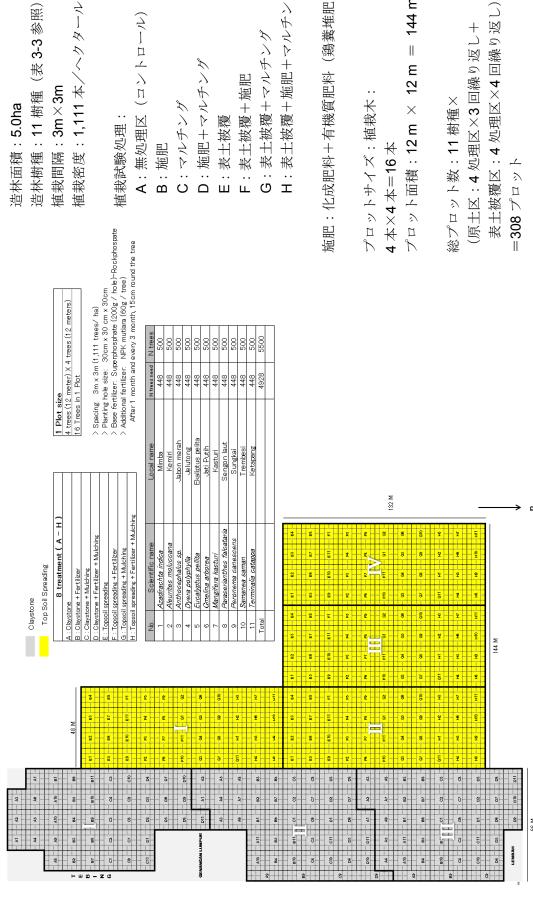


図 3-3. AGM 社石炭採掘跡地の植栽試験位置図(平成 23 年度(1 年目)、24 年度(2 年目))

		60) m			45 m	1			
	A1	A2	A 3	A4	A1	A2	A 3			造林面積:
	A 5	A6 -	A7	A8	A4	A 5	A6			5.0ha
	B2	В3-	B4	B5	A7 .	^9	B2			造林樹種:
	B6	В7	В8	B1	В3	BA	B5			超性 (表 3-2 参照)
165 m	A 3	A4	A 5	A6	В6	В7	B8			
	A7	A8	Δ1	A2	B1	ВΫ	Jati			植栽間隔:
	B4	B5	36	В7	A 3	A4	A 5			3m×3m
	B8	B1	B2	В3	A6	A7	A8	B5		植栽密度:
	A5	A6	A7	A8	A1	^2	B4	B4	-	1,111 本/ヘクタール
	A1	A.	^,3	A4	B5	В	B7	Ba		3, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3,
	B6	В,	^3	B1	B8	B1	B2	B2		植栽試験処理:
										A:無処理区(コントロール)
45 m										B: 施肥 C ましの数な計場
10111										C: 表土の敷き詰め D: 表土+施肥
	C7	C8	C1	C2	C5	C6	C7			E:表土+施肥+マルチング
	C3	C4	C5	C6	C8	C1	C2			
	D8		D2	D3	C3	C4	D6			施肥:
		D5		D7	D7		D0			化成肥料
	D4					D3	-			+有機質肥料(鶏糞堆肥)
	E1	E2	E3	E4	D2		D4			繰り返し:
	E5	E6	E7	E8	D5	E7	E8			5回 (I∼V)
240 m	C2	C3	C4	C5	E1	E2	E3			
	C6					E5	E6			プロットサイズ:
	D3	D4		D6	C8	C1	C2	E2		植栽木:5本×5本=25本
	D7		-51	D2	C3	C4	C5	E6		プロット面積:
	E4	E5	E6	E7	C6	C7	D1	E1		15m×15m=225m2
	E8	E1	E2	E3	D2	73	D4	E5 E8	Aſ	
	C5	C6	C7	C8	D5	D₫	D7	\vdash	9.5	総プロット数
	C1	Co	<u>C3</u>	C4	D8	E2	E3	E4		8 樹種×5 処理区×5 回繰り返し =200 プロット
	D6	D.	28	D1	E4	E5	E6	E7		-200 / L / r
	D2	D3	D4	D5	E7	E8	E1	E3		

図 3-4. AGM 社石炭採掘跡地(平成 23 年度:5.0 ha)の植栽試験位置図



AGM 社石炭採掘跡地(平成 24 年度: 5.0 ha)の植栽試験位置図 3-5. X

造林面積: 5.0ha

(表 3-3 参照) 造林樹種:11 樹種

植栽間隔:3m×3m

植栽密度:1,111 本/ヘクタール

植栽試験処理:

C:マルチング B:施肥

D: 施肥 + トラチング

E:表土被覆

F:表土被覆+施肥

G:表土被覆+マルチング

H:表土被覆+施肥+マルチング

施肥:化成肥料+有機質肥料(鶏糞堆肥)

プロットサイズ:植栽木

4 本×4 本=16 本

144 m² Ε 12 プロット面積:12m×

総プロット数:11 樹種×

(原土区:4 処理区×3 回繰り返し+

=308 プロット

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

石炭を露天掘りした際の捨て土の盛り土地を対照区とし、そこに重機で掻き起こしを行った「リッピング区」、植え穴に森林の表土を客土した「植え穴客土区」、植え穴に牛糞堆肥を施した「施肥区」およびそれらの組み合わせ処理区の 8 処理区を設定した。上記の 8 樹種(表 3-2)を 2012 年 3 月に植栽し、植栽間隔は $3m\times3m$ で、試験プロットの最小単位は、同一樹種 4 本 $\times4$ 本とした。試験プロットは処理区順に規則的に配置し、それぞれ 3 回の繰り返し区を設けた(図 3-6)。

植栽後に、植栽木の生育(生存率、樹高および地際径)を経時的に測定した。今後も継続して測定を行う予定である。



写真 3-3. TAJ 社石炭露天掘り捨て土地(1)



写真 3-4. TAJ 社石炭露天掘り捨て土地(2)



写真 3-5. TAJ 社植え穴 (1)



写真 3-6. TAJ 社植え穴 (2)

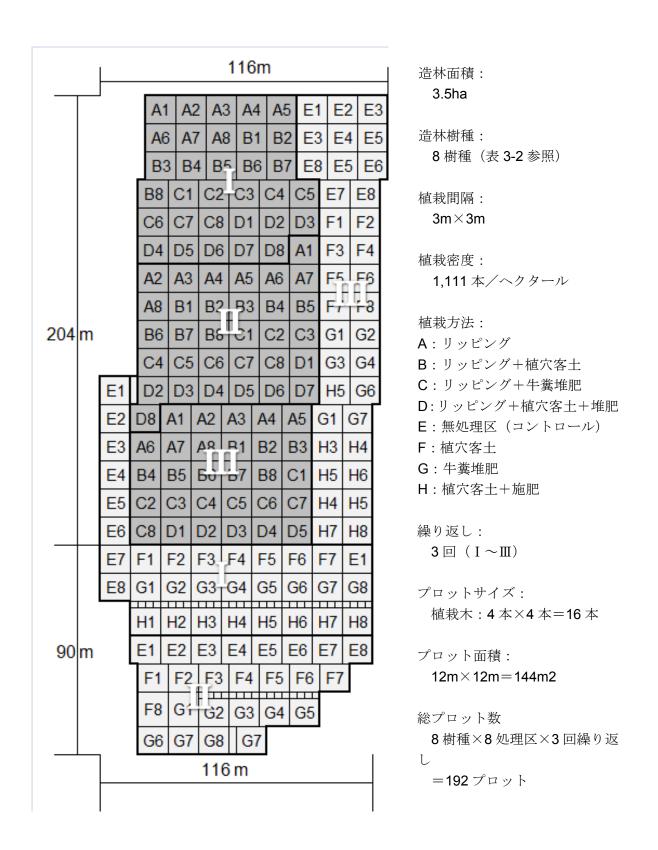


図 3-6. TAJ 社石炭採掘跡地 (3.5ha) の植栽試験位置図

3) 過剰農牧開発地:インドネシア国 東ヌサテンガラ州

国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫 インドネシア林業省 Benain Noelmina 流域管理署 Mr. Djoko, Mr. Widodo

1. 背景·目的

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一部に散在している。

そこで、本事業では、こうした過剰な農業および牧畜業の開発地において、「森林回復技 術開発モデル林」の造成を通して、適切な森林・植生回復技術(土壌改良、施肥、樹種選 定等)を実証的に検討することを目的とした。

2. 対象地と方法

(1) 対象地の概要

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 乾期である。また、造成対象地の土壌がバ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。

平成 **24** 年度は、**Nekbaun** 村の村有地(写真 **3-7**)および **Penfui Timur** 村(写真 **3-8**)の 私有地を対象とした(図 **3-7**)。



図 3-7. 東ヌサテンガラ州におけるモデル林造成地



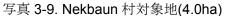




写真 3-10. Penfui Timur 村対象地(4.0ha)

(2) 植栽樹種の選定

平成 24 年度は、東ヌサテンガラ州の現地で一般的に用いられている造林樹種のうち、地域住民の意向を考慮して、乾燥ストレス耐性および粘土質土壌に耐性があると考えられる樹種をそれぞれ 8 種選定し、計 8.0ha(Nekbaun 村: 4.0ha(表 3-4)、Penfui Timur 村 4.0ha(表 3-5))に試験植栽した。

表 3-4. 東ヌサテンガラ州クパン県 Nekbaun 村における平成 24 年度の造林樹種リスト

No.	学名	和名・商業名	用途	起源
1	Swietenia macrophylla	マホガニー	用材	外来種
2	Gmelina arborea	メリナ	用材	外来種
3	Sterculia foetida	ヤツデアオギリ	用材	在来種
4	Toona sureni	スレン	用材	外来種
5	Pterocarpus indiscus	インドシタン	用材	在来種
6	Enterolobium cyclocarpum	ゾウノミミ	用材	外来種
7	Azadirachta indica	インドセンダン	種子: 薬用	外来種
8	Aleurites moluccana	ククイノキ、クミリ	仁: 調理、油	在来種

表 3-5. 東ヌサテンガラ州クパン県 Penfui Timur 村における平成 24 年度の造林樹種リスト

No.	学名	和名・商業名	用途	起源
1	Swietenia macrophylla	マホガニー	用材	外来種
2	Artocarpus heterophyllus	パラミツ	実生食、調理	外来種
3	Toona sureni	スレン	用材	外来種
4	Pterocarpus indiscus	インドシタン	用材	在来種

5	Casuarina junghuhniana	ヤマモクマオウ	用材	在来種
6	Syzygium cumini	フートー (グアバ)	実生食	在来種
7	Gmelina arborea	メリナ	用材	外来種
8	Tectona grandis	チーク	用材	外来種

(2) 試験造林の植栽方法

対象地の土壌は、Vertisols に分類され、膨潤性粘土に富み、雨期は停滞水(写真 3-9)、 乾季に深い亀裂(クラック)(写真 3-10)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)、粉砕木炭及びその組み合わせで 5 処理区 $\times 8$ 樹種=40 試験区、4 回繰り返しとした(図 3-8)。



写真 3-9. 雨期における土壌断面調査



写真 3-10. 乾期におけるひび割れ(クラック)

A1	A2	A3	A4	A 5	A6	A7	A8	
B1	B2	В3	B4	B5	В6	В7	B8	造林面積:各 4.0ha
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	造林樹種:各8樹種(表3-4,5参照)
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	植栽間隔:3m×3m
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	但权间面:SIII <siii< td=""></siii<>
A1	A2	A 3	A4	A 5	A6	A7	A8	植栽密度:1,111 本/へクタール
B1	B2	ВЗ	B4	B5	В6	В7	B8	植栽方法:
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	A:無処理区(コントロール) B:植え穴に牛糞堆肥
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	C:植え穴に化成肥料(NPK)
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	D:植え穴に粉砕木炭混入 E:堆肥+化成肥料+粉砕木炭
A1	A2	A3	A4	A 5	A6	A7	A8	
B1	B2	В3	B4	B5	В6	В7	B8	繰り返し:4回(I~IV)
C1	C2	C3	(4	C 5	C6	C7	C8	プロットサイズ:
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	植栽木:4 本×4 本=16 本
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	プロット面積:
A1	A2	A 3	A4	A 5	A6	A7	A8	12m×12m=144m2
B1	B2	В3	B4	B5	В6	В7	В8	総プロット数
C1	C2	СЗ	4	C 5	C6	C7	C8	8 樹種×5 処理区×4 回繰り返し =160 プロット
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	— IOU ノロット
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	

図 3-8. 東ヌサテンガラ州 Nekbaun 村および Penfui Timur 村の植栽試験位置図

第4章 現地調査の結果

1) モデル林植栽木の生育調査(生存率、樹高等)

国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究員 棚橋雄平 Lambubg Mangkrat 大学 Dr. Mahrus Aryadi, Mr. Hamdani Fauzi 林業省研究開発局 Kupang 支所 研究員 Mr. Dani pamungkas

- 1. 南カリマンタン州石炭採掘跡地のモデル林試験植栽結果
- A-1. PT. Antang Gunung Meratus (AGM) 社石炭採掘跡地

A-1-1. 平成 23 年度: 5.0ha

植栽約 1 年後に現地調査を実施したところ、対照区と全面客土区の間で、ほとんどの植栽木の生存率には明確な差が見られなかった。ただし、マホガニー(Swietenia macrophylla) については、全面客土処理により、対照区と比較して生存率が有意(p < 0.05)に向上した(図 1-1)。

対照区に比べて全面客土区では、植栽木の成長が明らかに良い。原材料区では葉の色が 悪く成長が停止(写真 1-1, 1-3)。全面客土では葉の色も良く成長中(写真 1-2, 1-4)。

平成 23 年度および 24 年度どちらのモデル林造成地も、対照区では草本等の侵入がほとんど見られない裸地が継続している(写真 1-5, 1-6)が、全面客土区では先駆樹種(Trema orientalis等)の天然更新が観察されており、植栽木と共存すれば早期の緑化に寄与すると考えられた。

施肥については、一部に肥料焼けによる枯死が確認された(写真 1-7, 1-8)が、生存している木については、施肥区の方が良い成長を示した。

マルチングについては、本章の4)マルチング試験を参照 植栽木の成長量については測定結果を分析中

A-1-2. 平成 24 年度: 5.0ha

植栽直後の現地調査時点で、局所的に枯損が観察された。枯損地の pH を調べたところ極めて強い酸性が確認された。これは、対象地の一部に切り土区が存在しており、その地層がパイライトを含んでいたため酸性硫酸塩土壌が形成されたためと考えれらる。

今後、植栽木の生育データ(生存率や成長)を定期的に測定する予定である。

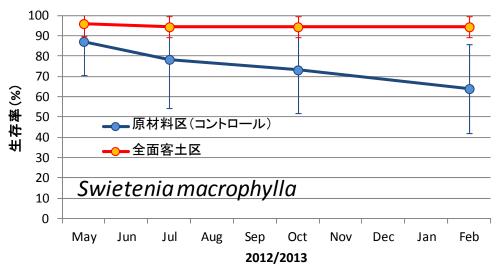


図 1-1. AGM 社におけるマホガニー植栽木の生存率の経時変化

(注:誤差範囲は信頼水準95%における信頼区間を示す)



写真 1-1. 対照区(表土被覆なし) (2012 年 9 月撮影)



写真 1-2. 全面客土 (表土被覆) 区 (2012 年 9 月撮影)



写真 1-3. 対照区(表土被覆なし) (2013 年 3 月撮影)



写真 1-4. 全面客土 (表土被覆) 区 (2013 年 3 月撮影)



写真 1-5. 対照区(一部表土被覆あり) (2012 年 9 月撮影) 表土被覆箇所のみ天然更新あり。



写真 1-6. 全面客土(表土被覆)区 (2012年11月撮影) 表土被覆箇所のみ天然更新あり。



(a) 無施肥区



(b) 施肥区

写真 1-7. チーク (Tectona grandis) 植栽木の過剰施肥による枯死 (2012 年 5 月撮影)



(a) 無施肥区



(b) 施肥区

写真 1-8. カランパヤン(Anthocephalus cadamba)植栽木の過剰施肥による枯死 (2012 年 9 月撮影)

A-2. PT. Tanjung Alam Jaya (TAJ) 社石炭採掘跡地:平成 23 年度: 3.5ha

植栽約 1 年後に現地調査を実施したところ、対照区と全面客土区の間で、ほとんどの植栽木の生存率には明確な差が見られなかった。ただし、アカシアマンギウム等一部の樹種については、リッピング処理(写真 1-9)により植栽木の生存率が向上した(図 1-2)。

強酸性土壌(pH3.0以下)が局所的に発生しており、その部分については、植栽木が集団 枯死していた(写真 1-10)。また、水溜りも同様に枯死していた(写真 1-12, 1-13)。

なお、植え穴客土、牛糞堆肥処理については、対照区と処理区とで明確な差がみられなかった。処理区の差よりも、極めて強い酸性や停滞水のような局所的な立地・土壌条件の差により、植栽木の生存率および成長が決定されていると考えられた。



(a) リッピングなし区



(b) リッピング処理区

写真 1-9. リッピング処理 (2012年5月撮影)

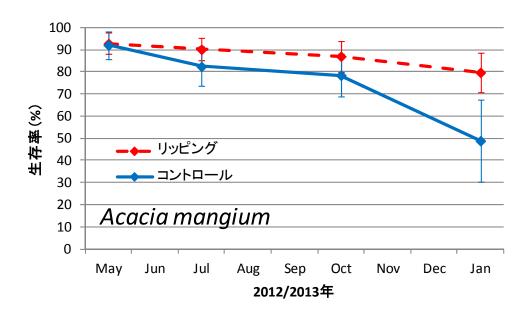


図 1-2. TAJ 社におけるアカシアマンギウム植栽木の生存率の経時変化

(注:誤差範囲は信頼水準95%における信頼区間を示す)





写真 1-10. 極めて強い酸性土壌 (pH2 台) が局所的に存在しそれに対応して植栽木が枯死 (2012 年 9 月撮影)



(a) 一部窪地における水たまり

(b) リッピングの溝における停滞水

写真1-11. 植栽地内における水たまりおよび停滞水により植栽木が枯死(2012年5月撮影)

A-3. 南カリマンタン州における適切な森林・植生回復技術(まとめ)

今後、AGM 社(写真 1-12) および TAJ 社(写真 1-13) ともに、時間の経過とともに土壌の酸化が進む可能性もある。土壌の酸性度や硬密度の変化、植栽木の成長経過、根系の発達状況等について調査を継続する予定である。

これまでのところ、森林の表土を被覆した全面客土の効果が顕著である。しかしながら、 森林の表土を大量に調達することが困難な地域もある。今後、強酸性、貧栄養や緻密な土 壌に耐性・適応能力を持つ樹種の導入を検討する予定である。

なお、マメ科の植栽木が生存率および成長ともに良い傾向が観察された。マメ科樹種は、 根の根粒菌が窒素を固定するので貧栄養地において耐性がある/適応している。今後、菌 根菌を含めた共生微生物の働きについても調査を進めたい。 植栽木の成長量については測定結果を分析中である。今後、これまで得られた結果の要因を分析し、石炭鉱山開発跡地における森林・植生回復技術には何が重要かを特定し、技術指針としてとりまとめたい。



写真 1-12. AGM 社モデル林埋め戻し地 (2013 年 3 月撮影)



写真 1-13. TAJ 社モデル林盛り土地 (2013 年 3 月撮影)

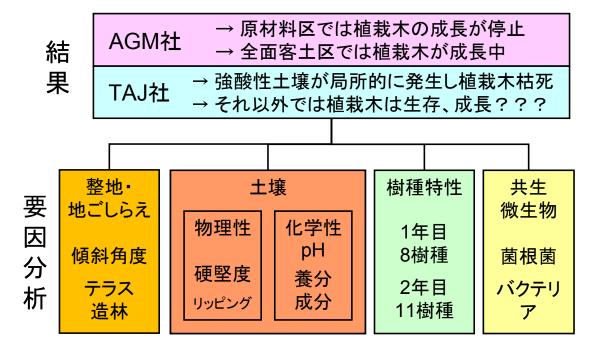


図 1-3. モデル林試験植栽の結果とその要因分析

2. 東ヌサテンガラ州 過剰農牧開発地

- B-1. Nekbaun 村 (平成 24 年度: 4.0ha) (写真 1-14)
- B-2. Penfui Timur 村 (平成 24 年度: 4.0ha) (写真 1-15)

2013年3月植栽後1~2週間以内に生育状況(生存率および樹高)について第1回目の調査を実施した。結果は現在解析中である。この時点では、ほぼ9割以上が生存していたことから、植え付けは上手く行ったものと考えられる。

今後、4月から乾期に入るため、今後も定期的に生育状況を調査する予定である。



写真 1-14. Nekbaun 村植栽地 (2013 年 3 月撮影)



写真 1-15. Penfui Timur 村植栽地 (2013 年 3 月撮影)

表 1-1. 東ヌサテンガラ州 Nekbaun 村における植栽後 1~2 週間の生存率 (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8
植栽樹種	Swietenia macrophylla	Gmelina arborea	Sterculia foetida		Pterocarpus indiscus	Enterolobium cyclocarpum	Azadirachta indica	Aleurites moluccana
A:対照区(コントロール)	86	100	97	90	93	96	80	97
B:牛糞堆肥区	83	96	98	94	98	93	70	97
C: 化成肥料区(NPK)	94	100	94	99	94	91	56	98
D:植え穴に粉砕木炭を混入区	84	100	88	92	100	87	70	98
E:堆肥+化成肥料+粉砕木炭区	97	98	92	95	97	77	69	100

表 1-2. 東ヌサテンガラ州 Penfui Timur 村における植栽後 1~2 週間の生存率 (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8
植栽樹種 処理区	Swietenia macrophylla	Artocarpus heterophyllus		Pterocarpus indiscus		-, ,,,	Gmelina arborea	Tectona grandis
A:対照区(コントロール)	94	84	87	86	94	93	89	100
B:牛糞堆肥区	90	73	92	83	95	94	81	93
C: 化成肥料区(NPK)	88	87	94	94	93	95	87	92
D:植え穴に粉砕木炭を混入区	87	81	93	90	93	95	92	86
E:堆肥+化成肥料+粉砕木炭区	93	79	95	88	88	95	90	100

2) 土壌モニタリング調査 (pH)

国際緑化推進センター 研究顧問 大角泰夫、主任研究員 仲摩栄一郎 京都大学大学院 農学研究科 教授 太田誠一

Lambubg Mangkrat 大学 講師 Dr. Fakhrur Razie

1. 今年度のモニタリングの概要

pH モニタリングは酸性化が最も進行する土壌表層 0-30cm 深を対象として、10cm 刻みで行う。土壌 pH に加えて水 pH もモニターすることとした。モニタリングは Antang Gunung Meratus 試験地 (AGM) と Tanjung Alam Jaya 試験地(TAJ)で行った。

AGM ではマニュアルに従って原土による埋め戻し区 (Original Refilling Material) と埋め 戻し後旧森林土壌の被覆区 (Top Soil Dressing) に土壌モニタリングプロットを設定してモニタリングを行った。前者は 10 プロット、後者は 10 プロットである。他に水 pH を 3 カ 所の池に設けたモニタリングポイントで行った。

TAJでは原土埋め戻し地のみで被覆区は設定しなかったが、マニュアル通りの原土埋め戻しの場所 (Original Material) に加えてリッピングを行った試験区 (Ripping)を設け、更に、植え穴に旧森林土壌表土を混和した植え穴 (Top Soil Mixed Pit) と原材料のみからなる植え穴 (Original Material Pit) で土壌 pH をモニターした。プロット数はそれぞれ、5 プロット、5 プロット、6 プロット及び 8 プロットである。他に水 pH を近傍の池 2 カ所でモニターした。

モニタリングはマニュアルに従って、5月、9月、2月とおおよそ4ヶ月毎に行った。また、水のpHは定期測定に加えて7月にも実施した。

モニタリングは **5** 月に大角、仲摩が実施し、**9** 月は大角、仲摩に加えて Lambung Mangkrat 大学の Dr. Fakhrur の協力を得て実施し、**2** 月は Dr. Fakhrur が実施した。

2. モニタリングポイント及びモニタリング方法の見直し

AGM の土壌 pH モニタリングプロットについては、マニュアル通りでは原土埋め戻し区の中に旧森林土壌が意図せずに混和した地点が 2 プロット存在したが、委員会の助言もあり、そのまま継続とした。水 pH モニタリングポイントは、流域全体からの水が流入する池、一時的に地表流が現れた個所、さらに 2 年次植栽予定地に一時的にできた池の 3 カ所で行う計画であったが、一時的な地表流や池などは浸食土壌の堆積に伴い水 pH の継続調査が危ぶまれたが、委員会の助言で欠測はやむ負えないものとして継続することとした。

TAJの土壌 pH モニタリングについてはマニュアル通り進めることに支障はなかった。ただ、植え穴プロットについては、肥料や旧森林土壌の混和が作業指示通りに行われていないプロットが見られたため植え穴プロットの廃止も検討したが、委員会の助言もありマニュアル通り継続することとした。水 pH モニタリングポイントはいずれも一時的できる池を対象としているが、これも委員会の助言通り継続することとした。

モニタリング方法については pH 測定についてはほぼマニュアル通りに行った。ただし、 当初マニュアルでは pH 測定は現地で採取直後に行うこととし、第 1 回目の測定はこれに準拠したが、第 2 回目以降は採取したすべての試料を実験室に持ち帰った後に測定する方法に変更し、改訂版のマニュアルには変更後の方法を記載した。更に、一部の委員から pH と土色が関連する可能性が指摘され、今年度の現地観察でもその可能性が示唆されたことから、土色の計測をマニュアルに加えることとした。 pH 測定用に採取した試料を用い、マンセル土色帖を用いて湿潤時土色を記載することとした。

3. 今年度の測定結果

土壌 pH と水 pH 及び土色の基本データはマニュアルに示したとおり別添資料ー のように保存されている。以下に今年度のモニタリング結果について概要を記す。

(土壌 pH)

前述のように土壌 pH は 2012 年 5 月、11 月及び 2013 年 2 月に実施した。AGM 試験地のデータは図-1 と図-2、TAJ 試験地のデータは図-3 と図-4 に示した。

①AGM 試験地の土壌 pH モニタリング

●原土埋め戻し区

AGM 試験地の埋め戻し原土は 2010 年に掘削された炭層上部の材料である。

図ー1 AGMの原土埋め戻し区の土壌pH - <mark>系列2</mark>は5月、系列3は9月、系列1は2月-

図-1 は原土による埋め戻し地の土壌 pHであるが、A6 及び A7 を除いて、全体的に埋め戻し原土である海成堆積物の起源を反映して pH は 7 以上で推移している。A6 と A7 は元々尾根だった部分を切り取った場所であったため、旧森林土壌の C 層に相当し、従って pH は旧森林土壌の値に近く今後もこの程度の酸性度で推移すると考えられた。

A6 と A7 以外のプロットでは、一部地点で一時期(A2 の 9 月)非常に低い p H 値が観測されたが、これはサンプリングポイントが毎回異なることで、たまたま酸性の強い部分がサンプルされたことが原因と考えられる。同様の現象が A3 表層の 2 月、A5 全層の 5 月に認められている。A3 においては若干酸性化の兆候があるように見えるが、現状では不明瞭であり、今後のモニタリングの結果を注視する必要がある。

Antang top soil dressing

***Antang top soil

図-2 AGMの旧森林土壌被覆区の土壌pH -<u>系列2</u>は5月、<u>系列3</u>は9月、<u>系列1</u>は2月-

●旧森林土壌被覆区

一方、採炭前に剥離、貯蔵されていた採炭地の旧森林土壌 (通常型-及び鉄型-Acrisol) を 30~50cm の厚さで被覆した区では原材料埋め戻し区とは異なり、全体的に Acrisol の通常の pH である 4~6 の範囲に収まっている。ただ、一部については pH7 以上で、埋め戻し原土が混入した可能性が示唆された。

この地域は降雨量が多く多雨期の降雨強度が大きいのできわめて短い時間に表土流亡やガリー浸食が頻発することが明らかとなった(写真1、2)。pH7 以上が観測された A14、A15 と A19 ではこのようなエロージョンの影響を受けた結果、pH の高い原材料が地表近くに露出した可能性が高い。この被覆区はこれらの埋め戻し原土の混入の可能性が予想されるプロットを除き、今後も pH4~6 の範囲で pH が推移するものと予想され、したがって、

今後も植栽木の良好な成長が予想される。いずれにせよ、今後、継続的な観察が必要であることは言をまたない。





写真-2 浸食で作られた深いガリー 写真1の近傍での事例で、60cm程度まで掘削。

写真-1 AGM試験地のエロージョン

旧森林土壌被覆区のガリーエロージョンとシートエロージョン(右下部分で顕著)の状況で、傾斜がある場合はこのような土壌流亡が多発。埋め戻しの際に傾斜をつけず、テラスにした方がよいかもしれない。 5月の撮影であるので、2月の整地後わずか3ヶ月でこの様になることは驚きである。

②TAJ 試験地の土壌 pH モニタリング

TAJ 試験地では旧森林土壌が入手困難であったため、AGM のように表土被覆区はないかわり植え孔に旧森林土壌を混和したプロットと対照プロットが設定されている。なお、AGM 試験地と異なり、TAJ 試験地の埋め戻し原土は 2003 年に掘削された材料で、それを 2010年の埋め戻し・整地に用いたものとされている。したがって、整地の際に 2003 年~2010年まで地表に暴露されていた材料と空気に曝されることなく保存された、二種のことなる材料がモザイク状に分布すると考えられる。

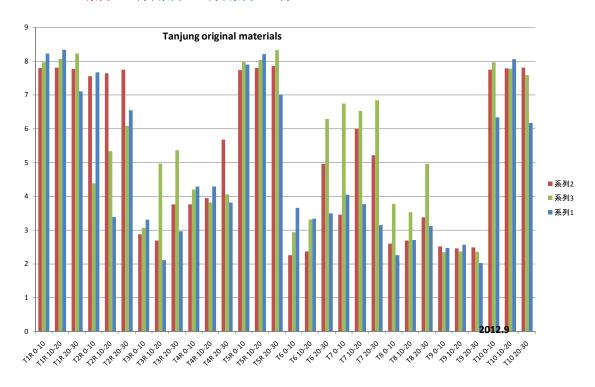
●原土埋め戻し区(植え穴外の試料について測定)

TAJ の原土埋め戻し区の土壌 pH を図-3 に示した。TAJ の原土埋め戻し区は二つに分けられ、一つはリッピング処理区、もう一つはリッピング処理を行わなかった対照区である。図中で T-1~T-5 が対照区で、T-6~T-10 がリッピング処理区である。

全体に pH が極めて低い場所と強アルカリ性の場所とが混在する状態であり、、いずれも 埋め戻し・整地に用いられた原材料の履歴を反映していると考えられる。、。対照区とリッ ピング処理区との間では後者の方が低い pH を示すプロットが多い傾向があるが、これが処 理に伴うものかあるいは埋め戻し材料の種類によるかはは不明だが、現時点では後者の可 能性が高いと判断される。全体で見ると半数より多い 7 プロットで p H4 以下の土層が確認され、そのうち 4 プロットは pH2 台であった。この pH2~3 という極めて強い酸性は、Ca や Mg のような金属養分がきわめて少ない一方で、高濃度のアルミニウムイオンが土壌水中に溶存している環境で、植栽木の根の生存は極めて困難なものと考えられる。

層別のpH分布については特に一貫した傾向は見られないが、やや地表部分のpHが低い傾向が見て取れる。また、Pyrite などイオウ化合物の酸化によって硫酸が形成されpH低下が始まっているかどうかについては12年5月より13年2月の方がやや低い傾向が見られる場合とそうでない場合があるため現時点では明確ではない。今後の観測の継続によって酸性化の開始時点をさかのぼって確認できるものと考えられる。

図-3 TAJの原土埋め戻し区の土壌pH (T1~T5:ripping, T6~T10:non-ripping) - 系列2は5月、系列3は9月、系列1は2月 -



●植え穴客土区(植え穴中の試料について測定)

図-4の左半分に植え穴に旧森林土壌を混和した区を、右側に埋め戻し原土のみの区、のpHを示した。なお、いずれの区にあっても植え穴に堆肥を混和した場合を含んでいる。

植え穴客土区においても原土埋め戻し区と同様、一部に pH3 以下の酸性化がきわめて進んだ土壌が認められ、中には pH2.03 という著しく強い酸性を示す土壌層が存在した。まだアルカリ性を示すの植え穴土壌も存在するが AGM 試験地に比べて全体的に酸性が強い。これは植え穴に客土された材料の違いに起因すると考えられ、本来であれば旧森林土壌を客土材料として用いるべきところを、酸化されて強酸性を呈する硫黄化合物を含む材料や未だ酸化が進んでいない材料が客土材料として誤って用いられたことが主な原因と考えられ

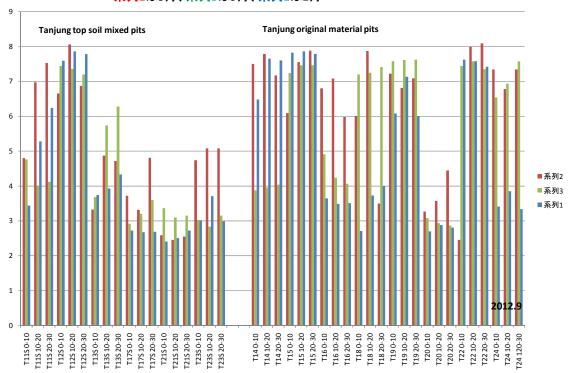
る。

旧土壌混和プロットについて、この地域の森林土壌は AGM の場合と同じ通常型あるいは 鉄型 Acrisol とされているので、混和された旧土壌も土壌反応的にはほとんど同じ pH4~6 と考えられる。従って植え孔の土壌 pH は pH4~6 を大幅に逸脱することはないものと当初 推定した。しかし、強酸性とアルカリ性の両極端の p H が観測されたことから、多くの客土 試験区で旧森林土壌ではなく、石炭採掘時の随伴堆積物が用いられた可能性が示唆してい された。

堆肥施用等の処理区については、土壌モニタリングマニュアルに添付した植栽処理区と植栽植え孔土壌モニタリングプロットとを照合していただきたい。たとえば T12 プロットは土壌混和・堆肥区、T14 プロットは堆肥区、T16 プロットは無処理区、プロットというように読み取りが可能となっている。

図-4 TAJの植え穴客土区と原土植え孔区の土壌pH

(左側は植え穴客土区・右側は原土植え穴区) -系列2は5月、系列3は9月、系列1は2月-



更に、全体として植え孔土壌の pH は測定時期によって大きく異なることが明らかとなった。 T-14 のように 5 月には pH が 7 以上であったが 11 月には 4 以下、2 月にはまた 7 以上と、大きなばらつきがあることが比較的多い。この点については、植え穴に客土に用いられた材料が不均質であったことが主な原因と考えられ、用いられた客土材料が地質的特徴やや酸化履歴の長さなどをを異にするものの混合物であったことが推定される。

植え孔処理の違いと土壌 pH との関係についても特に酸性の強いプロットの比較が重要

と考えられる。

客土区では T-17 と T21 で特に酸性が強く、通常の Acrisol の p H 範囲を逸脱しており、 不適当な客土材料の混和によって植栽木の生存が難しいことを意味するかもしれない。た だ、植え孔を調べたところ、赤色の土壌材料の存在を確認できなかったことから、実際に は土壌客土が行われなかった可能性も否定できない。

図-4の右側にはその他の処理区の pH を示したが、ここでも T-18(堆肥区)と T-20 (無処理区) の両プロットで pH3 以下というきわめて低い pH を示した。堆肥は一般に中性~微アルカリ性であり酸性矯正も期待されたが効果は認められなかった。このことからも果たして堆肥が植え孔に投入されたのか確認が出来なかった場合があったため今後の評価には注意を要する。

●植栽処理区の生存率と土壌 pH の関係解析

植栽処理区の観察から植栽木の生存と土壌 pH との間にはかなり明瞭な関係があるように見える。たとえば植栽後 1,2 ヶ月はきわめて活発な成長を示していたが、ある時期に突然枯死するような場合もかなり見られる。簡易観測の結果、この様な場所は pH が非常に低いことが多い。

そこで各植栽処理区の枯損率と処理区のセンターの表層土壌 pH を比較した。現在データを解析中であるので、詳細については次年度報告する。

(水 pH モニタリング)

水 pH はマニュアルに示したように両試験地内あるいは隣接地の、一時的水面を含む水面に設定したプロットでモニタリングを実施している(写真-5 と 6)。 なお、Aw3 については土壌モニタリングプロットが設定してある AGM の 2011 年度植栽地ではなく約 100m 離れた 2012 年度植栽地内に設定してある。

モニター頻度は pH 測定が容易であるため、年 3 回にこだわらず測定可能時に測定することとしており、今年度は土壌 pH 測定時期に加え 7 月にも測定を行った。なお、7~9 月は少雨期であるためこの時期の pH は通常は低いと考えられる。

結果は図-5 に示したとおりで、AGM 試験地ではまだ pH の低下はそれほど進んではいない。ただし、同じ年次の材料である 2012 年度植栽予定地の集水池では非常に低い pH が観測される時期があり、暗赤褐色を呈していた(写真-6)ことから、今後酸性化が進行することが予想される。

一方、TAJ 試験地の水 p H は AGM に比べて全体的に低く、特に試験地内の一時的水面である Tw1 が低い値を示した。この池も褐色を呈していることから、硫酸による鉄や有機物の溶出が進行しているものと推定した。

以上の水pHの観測結果に基づけば、TAJにおいては現在全体的な硫酸酸性化が進行しているが、さらなる進行の可能性も推測される。なかでも硫酸酸性化には地域的なホットスポットが存在する様子で、そこから鉄を含んだ流れが形成されている。その流れに沿って

硫酸が流出している模様で、下流の Tw1 の pH が低い原因であろう(写真-7)。この硫酸の川に沿って白化した岩石が散見されることから硫酸によって金属化合物が流出し、白化した可能性も考えられる。

図-5 水pHモニタリング

凡例: <u>系列2は2012.5、系列3は2012.7、系列4は2012.11、系列1は2013.2</u> なお、系列1のAw3とTw1はプロットの池が干上がっていたため、欠測

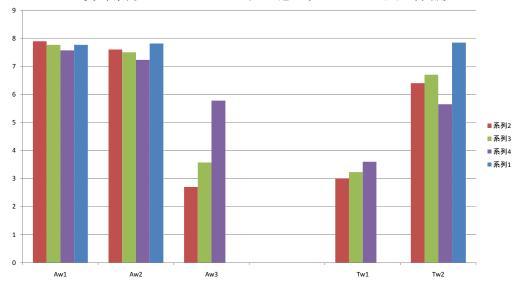




写真 5 Antang試験地入口手前の 堰止め湖 (Aw2)

左側の樹林地と右側の採炭跡地の集水地点の人工池。Aw1の下流。 試験地の管理小屋(写真上部)に上がる直前の道(写真右側)の最下点。 5月時点のpHは7.6

写真 6 Antang試験地 2012年度 予定地の辺縁部 (Aw3)

2012年度開始の試験予定地の辺縁部。 5月時点のpHは2.7 材料が2010年頃の採炭時のものと考 えられるので、条件が整えば酸性化が きわめて迅速である可能性がある。



写真-7 含硫酸水の流れた跡? (硫酸川?)

試験地内の凹地に酸化鉄が沈着した列が観測された。高いところから低いところに連続しているので、雨水によって形成されたものと推定した。

酸化鉄が形成される条件として、強い酸性によると考え、硫酸が形成された結果、硫酸鉄として流されたものと想定した。



写真-8 硫酸川内の白化岩石

中央及び両側の鉄さび色の窪み(硫酸川?)底部と両側には表面がざらざらの真っ白な岩石が見られる。珪酸結晶であろうと推測されるが、詳細な検定が必要。

(土色と土壌 pH の関係)

現在土色と土壌 pH との関係についてのデータを土壌モニタリングの時期に合わせて収集しており、今後順次解析が行われる予定である。なお、データが膨大であるので本報告書に添付することはしなかった。

4. 今後の計画

マニュアルに示したとおり、計画に従って土壌 pH、水 pH 及び土壌硬度、土壌容積重のモニタリングを進める。

また、今年度収集した植栽処理区別の生存率と表層土壌 pH との関係解析については必要データを補充しつつ、解析を進める。さらに今年度解析しなかった土色と土壌 pH との関連についても解析を進める必要がある。

潜在的酸性硫酸塩土壌の識別方法について土色の活用が可能かどうかも含めて検討を始める必要がある。潜在酸性の定量的評価は過酸化水素による強制酸化の手法を検討することとなるものと思われるが、埋め戻し地が酸性化するのか、どの程度酸性化する可能性があるのかを、土色など簡易に測定可能なな指標を用いて定性的に判定、予備判定を行う方法が明らかになれば、植栽時にとどまらず埋め戻し作業に用いるべき材料の選択にも貢献することが期待できる。

3) 土壌モニタリング調査(土壌硬堅・圧密度等)

国際緑化推進センター 研究顧問 大角泰夫、主任研究員 仲摩栄一郎 京都大学大学院 農学研究科 教授 太田誠一

Lambung Mangkrat 大学 講師 Dr. Fakhrur Razie

1. はじめに

露天掘りで採炭されるインドネシアの炭坑は採炭後速やかに埋め戻し、再緑化することが義務づけられている。埋め戻し材料には炭層と共に産出することが多いイオウ化合物が混入することが多く、酸性化するために緑化が順調に進まないことが少なくない。そのため、石炭採掘跡に埋め戻しによって造成された植栽試験区において土壌酸性化モニタリングを行うこととし、別項で今年度の結果について報告した。

一方で、埋め戻し時の重機導入による土壌の硬堅・圧密化も、物理的な根の伸張停滞や植え孔のバケツ化による過湿環境の形成という側面から、植栽木の成長・生存に大きく関わってくると予想される。そこで、土壌の硬度・緻密度についてもマニュアルを作成してモニタリングを行い、植栽木の生存・成長への影響を評価するすることとなった。なお、方法等の詳細については添付した「Soil Monitoring Manual for Coal Mining Areas」に記載した。

本報告では今後のモニタリングの基本情報について報告する。

2. モニタリング態勢と方法

硬度・密度の変化は急速には進まないと予想されることからモニタリングは年1回とすることとなった。このモニタリングについては研究的要素も多いため、南カリマンタン州の国立大学 Lambung Mangkrat 大学農学部土壌学研究室に協力を仰ぐこととなり、pH モニタリングと同様、Dr. Fakhrur Razie と協働でモニターする態勢をとった。

モニタリングは基本的には 11 月に、試料採取と現地観察を可能な限り大学と JIFPRO の 共同で行うこととした。採取した試料の処理・分析には時間がかかることから大学が行うこ ととした。結果については両者が共有することとした。

分析事項は、①土壌硬度(山中式硬度計ー現地)、②容積重、③孔隙率で、後2者については現地で採取した試料を用い、マニュアルに従って実験室で分析を行った。詳細は土壌モニタリングマニュアルに示した。

3. モニタリング地点

土壌モニタリングマニュアルに示したように、モニタリングプロットは AGM と TAJ の両地区にそれぞれ 10 プロットずつ配置した。

AGM では「埋め戻し区」に5プロット、「旧森林土壌被覆区」に5プロットを(Soil Monitoring Manual – Fig.5参照)、TAJ では「埋め戻し区」に5プロット、「リッピング区」に5プロットを配置した(Soil Monitoring Manual – Fig.6参照)。これらのプロットは対応する土壌 pH

モニタリングプロットに隣接する地点を選んだ。ただし、モニタリングマニュアルに示したように、本試験の試料採取は破壊調査であるので、継続的な pH モニタリングに影響を及ぼさないように隣接地で試料を採取することとした。

4. 測定結果

今回のモニタリングは今後の変化の基本となるデータであるので、特にコメントすることは多くはないが、予想したとおり試験地の土壌は極めて硬く、緻密であることが明らかであった。以下順次項目毎に結果を示す。なお、土壌硬度を除く土壌水分に関連する数値と容積重は別添した資料に記載されているので、詳細を検索したい場合は資料の表を参照のこと(資料-)。

(1) 土壤硬度

マニュアルに示したように、山中式土壌硬度計を用いて各層位で 5 点の測定を行い、最大値と最小値を除いた後 3 点の平均をその層位の土壌硬度とした。

図-1、2に示したように TAJ のリッピング施業地を除いていずれも土壌硬度は 20 以上であった。一般に硬度 20 を越えると根の侵入が困難となるとされることから、その意味では埋め戻しの際の土壌の堅堅化はきわめて激しいことが明らかで、測定値の中には 27~28 という著しく硬堅な個所もあり、この様な層位では根の侵入・伸張はきわめて困難であると予想される。その一方でリッピング処理によって土壌の膨軟化が劇的に進むことが明らかとなった。

いずれにせよここで示したデータは今後の基礎となるデータで、時間経過ならびに植生定着後の推移が期待される。

土壤硬度-AGM

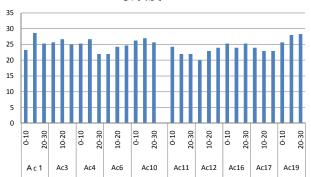


図-1 Angtang Gunung Meratus (AGM)試験地の土壌硬度

Ac1~Ac10は元々の埋め戻しに使った材料で形成されているが、 Ac11~Ac19は埋め戻されたところに 旧来の森林土壌が被覆された表層 となっている。圧密は両者とも激しく 行われていることが理解できる。

図-2 Tanjung Alam Jaya(TAJ) 試験地の土壌硬度

Tc1~Tc5は元々の原材料による埋め戻し地ではあるが、植栽直前にリッピング処理を行ったもので、表層15cm程度は膨軟化されている。

Tc-6~Tc-10は元々の原材料による埋め 戻し地で、重機による圧密は激しい。



Tc5

Tc6

Tc7

Tc8

(2) 容積重

測定方法は Soil Monitoring Manual に示した。

日本の森林土壌の平均的な容積重の値は、土壌の種類によって異なるが、火山灰からなる黒色土の場合は 0.30~0.45、普通に見られる褐色森林土では 0.5~0.7 程度とされる(森林土壌の調べ方とその性質、1993)。未熟土や脊悪地の下層では 1.0 程度になるものもあるとされる。南西諸島などに分布する赤黄色土の下層も高いと考えられるが、おそらく 1.0 前後であろうと推定される。すなわち日本の土壌では 1.0 程度が容積重の上限と考えられている。また湿潤熱帯アジアの台地を広く覆う Acrisol からなる森林土壌の場合、粘土含量が高い一方有機物含量は低く抑えられるために一般に緻密な土層が形成され、その容積重は我が国の森林土壌と比較すれば明らかに高いが、表層では 0.7-1.0 程度、下層土でも 1.4 を超えることは稀である。

Tc2

Tc3

AGM 試験地においては原土の埋め戻し区と埋め戻し後旧森林土壌が被覆された区にプロットが設定されており、Ac-1~Ac-10 が原土埋め戻し区、Ac-11~Ac-19 が被覆区である。なお、Ac-20 は Tc-10 の間違いと予想されるが、原簿はインドネシアにあるため、この報告ではこのまま掲載し、次回の測定までに帰属を明らかにすることとする。

どちらの区の試料も、我が国森林土壌は無論、アジア湿潤熱帯の森林土壌である Acrisols では通常観測されない程高い容積重を示したる(図-3)。特に図の左側の Ac-1~Ac-10 の容積重は極めて高く、容積重が高い土壌では植栽木の根の侵入や伸張が制限されることから植

栽木の活着・生育が著しく阻害されることが懸念される。また、高い堅密度は植え孔の排水不良による過湿害に加え、孔隙量(水分保持量)の少なさに起因する乾燥害も植栽木の生存・成長に対する大きな障害となると考えられる。一方、被覆区では 1.0 以下の低い容積重を持つ層位も観察されるがきわめてまれで、一般的には埋め戻し区より若干低い程度であり、重機を用いた埋め戻し作業の際に土壌の圧密化が進んだことが明らかである。このような高い容積重は今後の植栽木の成長に影響が出ることは必至である。

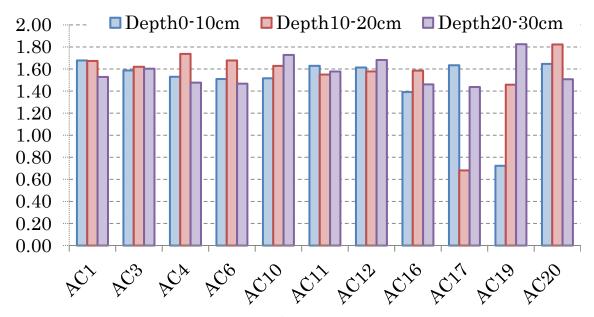
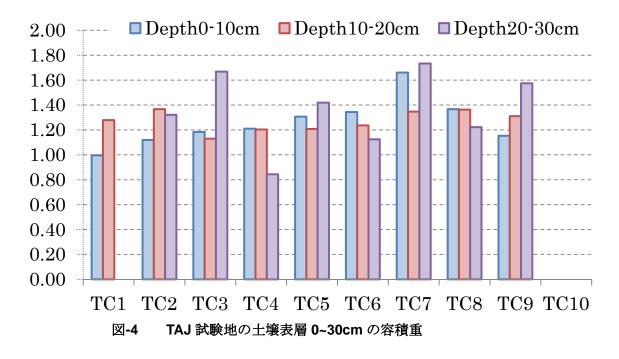


図-3 AGM 試験地の土壌表層 0~30cm の容積重

TAJ 試験地においては原土の埋め戻し区と埋め戻しの後にリッピングを行った区が設定されており、Tc-1~Tc-5 がリッピング区、Tc-6~Tc-10 が原土埋め戻し区である。なお、AGM 試験地で述べたように Ac-20 は Tc-10 の間違いと予想されるが、インドネシアにある原簿との整合後に帰属を決めることとする。

AGM 試験地に比べれば土壌の硬堅・圧密度は平均的に見て若干低いが、これは元々の材料が異なることと導入された重機の種類と走行回数に起因すると考えられる。いずれにせよほとんどの層位で 1.0 を越え、植栽木への影響は大きいと推察される。

リッピングの土壌の理学性に与える影響は一部についてはかなり大きく、植栽木の成長 モニタリングが進むことによって効果が明らかになるものと期待される。



今回測定したデータはいずれも今後の基本となるデータであるので、本報告では事実を 紹介するにとどめる。

(3) 孔隙率 (Vp%)

土壌孔隙は土壌の植物培地としての機能において致命的に重要な役割を果たし、粗大な 孔隙は通気・透水をつかさどり植物根や土壌微生物の呼吸によって生産された二酸化炭素 を拡散によって大気へ放出し酸素を取り入れる役割を、微細な孔隙は毛管力によって重力 に抗して水を保持し植物へ供給する役割をそれぞれは果たしている。一般に我が国の森林 土壌の孔隙率は70%を超えることも少なくなく、また50%を下回ることは極めて稀で、造 成地などで40%を下回ると樹木の生育環境としては極めて劣悪とされる。一方、湿潤熱帯 アジアの代表的土壌でほとんどの森林分布域を覆うAcrisol の場合は粘土含量が高く緻密な 土層を形成するため、我が国など温帯地域の森林土壌と比較すればその孔隙率は明瞭に低 く40-60%程度の範囲となるが、40%を下回ることはほとんどないといえる。

本調査では土壌孔隙そのものの測定は行っていないが、容積重と比重から固体部分の体積を求め、これを全体積から差し引くことで孔隙率を算出し、AGM 試験地ならびに TAJ 試験地土壌の孔隙率を表-1 および表-2 に示した。

表-1 AGM 試験地土壌の孔隙率(Vp %)

Depth	Vp % (平均%)	Depth	Mc % (平均)	備
				考
埋戻区 0~10cm	24.3~34.9 (28.7)	被覆区 0~10cm	28.5~34.5(30.8)	
埋戻区 10~20cm	25.0~37.5(29.7)	被覆区 0~10cm	22.3~33.4(29.8)	
埋戻区 20~30cm	15.1~36.4(27.8)	被覆区 0~10cm	18.6~31.9(27.3)	

AGM 試験地土壌の孔隙率はいずれの区、深さでも、おおむね 30%未満であった。上記のように孔隙率が 40%を下回ることは自然土壌では稀であり、植栽された苗木は極めて堅密で孔隙に乏しい土壌環境に置かれていると考えられる。また、AGM 試験地に設けた旧森林土壌を用いた被覆区の孔隙率も原材料埋戻区と大差なく、おそらく、埋め戻しの際の重機による填圧によって著しい孔隙量の減少が進行したものと考えられた。

表-2 TAJ 試験地土壌の孔隙率(Vp %)

Dep	th		Mc % (平均)	Depth	Mc % (平均)	備
						考
埋	戻	区	24.5~37.8(31.2)	リッヒ゜ンク゛区	24.8~33.7(33.7)	
0~10)cm			0~10cm		
埋	戻	X	23.5~34.6(29.6)	リッヒ゜ンク゛区	24.0~33.7(29.4)	
10~20cm				10~20cm		
埋	戻	区	15.2~34.7(24.1)	リッヒ゜ンク゛区	24.4~29.9(28.4)	
20~3	30cm			20~30cm		

一方 TAJ 試験地土壌の孔隙率も多くが 35%未満であり、AGM 同様に埋め戻し作業によってきわめて緻密な土層が形成されていた。また、堅密な土壌の物理性を改善する目的で行われたリッピング処理は堅密な土層を筋状に破砕することで孔隙率を上昇させる効果が期待されたが、実際には孔隙率の変化はほとんど認められなかった。このことから、リッピング処理は、広い範囲の通気・排水を促進する効果は期待できるものの、100cc の採土円筒を用いて採取した小容積の土塊中の孔隙量の増加には結びつかない可能性が示唆された。

以上の様に、重機による埋め戻しは、埋め戻しに用いる材料の種類を問わず、きわめて 堅密で孔隙量の少ない土層を形作り、多雨期には過湿害、少雨期には乾燥害が植栽木の生存・成育を著しく阻害する可能性が高いことが指摘された。こうした堅く緻密な土層は、乾燥と湿潤の繰り返しによって次第に破砕され、また、植栽木の成長に伴う根系の発達や、リターを経由した有機物の供給とそれを資源とする土壌生物相の発達と共に、次第に膨軟な土層へと変化し、植生のさらなる発達を支持することとなると予想される。しかし本調査の試験地のように極端に圧密化された堆積物がどの程度の時間でどのように変化するか は全くの未知であり今後の継続モニタリングが必須といえる。

5. 今後の計画

今年度、上述したようなきわめて興味ある土壌理学性のデータが得られた。この埋め戻し地に特異的とも考えられる数値が時間経過と植栽木の成長と共にどの様に変化するかを知ることは、石炭跡地における緑化工の在り方を考える上できわめて重要な情報を提供することと考えられる。次年度も全体計画に則って土壌の硬度・容積重のモニタリングを行うことになるが、可能であれば今年度と同じ雨期の 10~12 月の間に行うことが望ましい。また、植栽木の生存・成長が徐々に明らかになると考えられるので、本プロジェクトの最終目標である「技術マニュアル」を想定しながら、土壌の理学性がどの様に影響を与えるかを解明に向けての検討が求められる。

4) マルチング試験

早稲田大学 助手 田中一生 国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫

4-1. 背景

熱帯地域における石炭採掘跡地及び採掘時の廃土地は、植物の生育に不適な様々な要素を有している。一つ目に、強烈な直射日光による地温の上昇がある。高等植物の多くは根の急激な温度上昇に耐えることが困難であり、熱帯植物においても高温にさらされた場合、枯死するという報告がある。二つ目に、土壌の固結による根の貫入の物理的困難さがある。土壌の固結は、裸地において多量の降雨と蒸発が繰り返され乾燥と表層土の流亡で生じる。石炭採掘跡地における特異的な土壌固結要因の一つは、廃土と整地の際の大型車両・重機の通行によるものである。固結した土壌は、植栽した苗木の根成長と呼吸を妨げる可能性が高く、生育を大きく阻害する可能性がある。

これらのストレスを緩和しうる追加的な植栽処理としてマルチングがある。マルチングは高温・低温の緩和、土壌固結の緩和、水分の保持効果があることが報告されている (Linda et al. 2007)。マルチ材には、プラスチックシート、石、草、藁、樹木チップ等様々な素材が用いられる (Linda et al. 2007)。

本事業において利用可能なマルチング材料として、南カリマンタンに自生する Melaleuca cajuputi (以下メラルーカ) の樹皮が利用可能と考えられる。メラルーカは、北オーストラリアからマレーシア、ベトナム、インドに至る熱帯から亜熱帯の広い地域に分布しているフトモモ科に属する常緑の木本植物であり、南カリマンタンでは主にバンジャルマシンとバリト・クアラを中心とした泥炭湿地帯に生育しているが、粗放な利用や土地利用の転換により破壊が進んでいる。南カリマンタンでは、メラルーカは重要な林産物であり、様々な用途に利用されている(図 4-1)。12cm 以上の大径材は製材され(図 4-1B, D)、それ以下の小径材については、そのまま建築の支柱や足場として利用される(図 4-1E, F)。材以外にも葉は芳香性オイル、果実はジャムーとよばれる生薬として利用されている。このように、M. cajuputi は様々な用途に利用されるが、製材時に剥がされる樹皮は殆ど利用されることがない(図 4-1C)。この樹皮の利用開発は、M. cajuputi にかかわる地域住民の収入増加に繋がり、地域経済への貢献が期待できる。

これらのことから、本調査研究は、インドネシア共和国、南カリマンタン州の石炭採掘 跡地に設定した植栽地である P.T. Tanjung Alam Jaya (TAJ) ならびに P.T. Antang Gunung Meratus (AGM) において、南カリマンタンで容易に手に入るメラルーカの樹皮を用いたマ ルチングの効果について検討することを目的とする。



図 4-1. 南カリマンタンにおける *M. cajuputi* の利用。*M. cajuputi* の集材の様子。小舟に乗って行われる。 (A) 集材された *M. cajuputi*。板材として利用される。(B) 足場材として利用される *M. cajuputi* の樹皮をはいでいる様子。後ろに高く積まれた樹皮は利用されていない。(C) 角材として製材された *M. cajuputi* の様子。(D) 建築物の構造材として利用される *M. cajuputi* 材。(E) 橋の構造材として利用される *M. cajuputi*。(F)

4-2. 方法

[地温測定]

TAJ ならびに AGM において、2012 年 5 月 13 日、14 日、18 日に土壌の深さと地温の関

係を調べた。調査時の天候は、5 月 13 日、14 日は快晴、18 日は前日に降雨があった。調査時は曇天であり、測定はそれぞれ 11 時から 16 時の間に行った。調査地および計測地点は、ハンディ GPS(GPSmap60CSx, Garmin co. ltd., Kansas city, USA)を用いて記録し、Google map 上にプロットした。地温は、非接触ハンディ温度計(IT20-80, Keyence co. ltd., Tokyo, Japan)を用いて計測した。地温計測の土壌サンプルは、ソイル・オーガーによって0-10cm、10-20cm、20-30cm の深さで採取し、直ちに土壌サンプを紙の上に広げた直後に温度を計測した。地表面(0cm)は、サンプル採取地点付近の地表面を計測した。

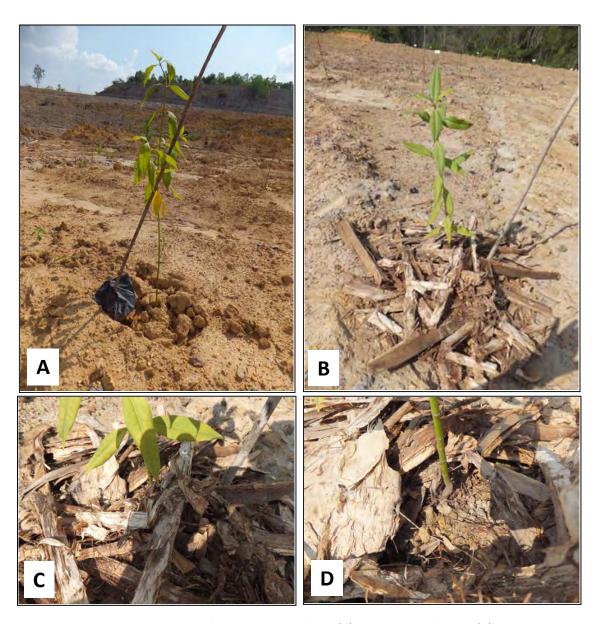


図 4-2. 対照区とマルチ区の様子。対照区の様子。(A) マルチ区の様子。 (B) マルチ区における *M. cajuputi* 樹皮を用いたマルチの様子(C)。マルチ区において、マルチの下の土壌の様子 (D)。

[植栽直後の生残]

AGM において、メラルーカの樹皮によるマルチのそれぞれの植栽木の生存率与える影響を調べた。マルチ材は、建築材として使われるメラルーカ材の製材時に出る樹皮を利用した。マルチングを行った区をマルチ区とし、マルチングを行っていない区を対照区とした (図 4-2A, B)。どちらの区においても、植え穴は、 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm}$ であり、植栽時にコンポストならびに化成肥料が施用されていた。調査は、2012 年 5 月 17 日の 11 時から 13 時の間に行い、天候は快晴であった。調査地ならびに計測地点は上記のハンディ GPS を用いて記録し、Google Earth (Free software, Google, California, USA)上にプロットした。生存率は、完全に褐変したものを枯死として計測した。生存率は、 $Acacia\ mangium$ 、 $Anthcephalus\ cadamba$ 、 $Enterolobium\ cyclocarpum$ 、 $Fagraea\ fragrans$ 、 $Hevea\ brasiliensis$ 、 $Melaleuca\ cajuputi$ 、 $Sweitenia\ macrophylla$ 、 $Tectona\ grandis\$ について、それぞれ 25 個体を計測した。マルチの表面ならびに地温は、上記の非接触ハンディ温度計で計測した。

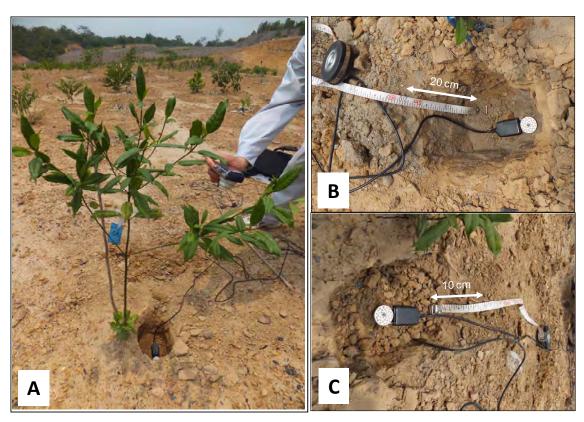


図 4-3. 水分センサー設置中の様子。F. fragrans 苗の植え穴付近に 20cm の深さの穴を掘り、センサーを設置している様子 (A)。20cm の深さにセンサーを設置した (B)後に 10cm まで埋め戻し、センサーを設置する様子 (C)。

[地温ならびに土壌水ポテンシャルの経時的変化]

TAJ において、メラルーカ樹皮を用いたマルチングによる地温ならびに土壌水ポテンシャルの影響を調べた。2012 年 9 月 26 日に AGM に、マルチ処理により地温と水分のどのよう

に変化するのかを明らかにするために、水ポテンシャル・温度センサーを設置した。水ポテンシャル・温度センサーは MPS-1 (Decagon Devices, Inc., Washington, USA)を使用し、データロガーは、EM50 (Decagon Devices, Inc., Washington, USA)を使用した (図 4-3)。センサーは、Fagraea fragrans 苗の植え穴を再度掘り返し設置した (図 4-3A, B)。センサー設置の深さは、マルチ区、対照区ともに深さ 20cm (図 4-3B)、10cm (図 4-3C)とした。センサーの設置は処理区、対照区ともに 1 個体とした。データロガーはビニール袋に包み(図 4-4B, C)、その上に周囲にある石を積んで隠した(図 4-5)。また、センサーのコードは地中に埋めた(図 4-5)。

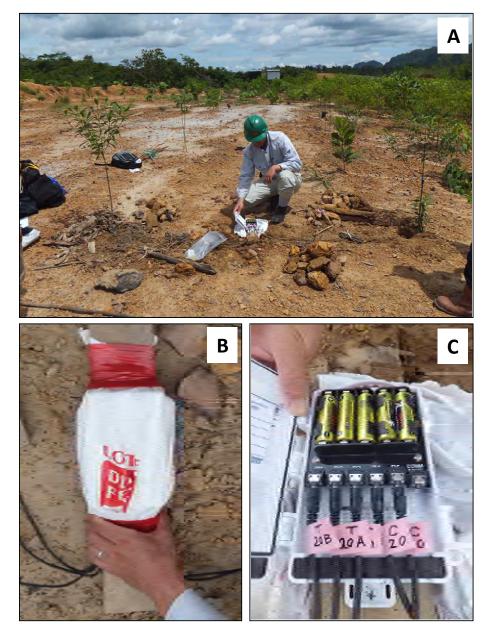


図 4-4. 水分センサーデータ回収中の様子。(A) 埋設時の防水加工の様子 (B)。 回収時のデータロガー内部の様子 (C)



図 4-5. 水分センサー設置後の様子。赤色の矢印が示す石を積んだ場所の下にデータロガーを設置した。青色のラインに穴を掘りセンサーのラインを埋設した。

4-3. 結果と考察

TAJ における地表面の平均温度は、47.8℃であったが、0-10cm の平均温度は 11.7℃低下し 36.4℃であった(図 4-6)。 さらに、10-20cm の平均温度は 3.6℃下がり 32.8℃であり、 20-30cm の平均温度も 10-20cm とほぼ同じ 33.5℃であった(図 4-6)。この土壌の深さに伴う温度の変化傾向は AGM でも同様であったが、TAJ と比較して AGM の方が地表面の平均温度が有意に低かった(図 4-7)。0-10cm、10-20cm、20-30cm の深さにおける温度は TAJ と AGM に差はなかった。いずれにしても、TAJ、AGM ともに地表面の温度は非常に高く、植物の生育にとって高温ストレスとなる可能性が指摘された。TAJ において、前日に降雨のあった曇天時に測った場合の地表面の温度は 28.4℃であり(図 4-6)、晴天時と比較して

19.4℃も低く有意 な差が見られた。 0-10cm、10-20cm でも晴天時と雨天 時で有意差が認め られたが、 20-30cmでは差が なかった。TAJ、 AGM の土壌は固 く、特に晴天時に 堅かったことから、 土壌サンプル採取

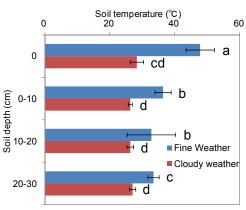




図 4-6. 晴天時と曇天時の TAJ における深さ別の地温。異なるアルファベットは有意差あり (Tukey HSD)。

時のソイル・オーガーと土壌の摩擦による熱がサンプル土壌の温度をいくらか上昇させた 可能性も考えられた。

Acacia mangium、Fagraea fragrans、Hevea brasiliensis、Tectona grandis の生存率は対 照区に比較してマルチ区において高かった。Fagraea fragrans 植栽地の対照区ではマルチ区 と比べて生育阻害が観測されたが、阻害の具体的内容を目視では判定できなかった (図 4-8, 9)。マルチ区のマルチ表面が 53.9℃であり、その下の地表の温度は 21.9℃も低い 32.0℃で

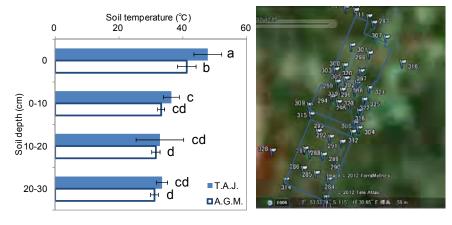


図 4-7. TAJ と AGM における深さ別の地温。どちらも計測は、晴天時に行った。異なるアルファベットは有意差あり (Tukey HSD)。

マルチ表面と比較して対照区の地表面は 44.4℃と低かった (図 4-10)が、この原因として水分蒸発による降温効果が考えられた。マルチに利用したメラルーカの樹皮は既にかなり乾燥し、水分を保持していなかったのに対し、対照区の土壌はある程度水分を保持していたためと推測される。樹皮マルチの表層が高温であっても、マルチ下の土壌表面温度が低下することから、マルチによる効果は十分にあるといえる。また、先行研究でマルチによる土壌の固結緩和効果が報告されている (Oliveria & Merwin, 2001)が、本試験地でもマルチ区の地表面は対照区と比較して柔らかい様子が観察され、地表面の温度上昇抑制効果により土壌の固結がマルチ区で緩和された可能性がある。一方、対照区では、地表に直接落下した降雨の衝撃により飛散し雨水に分散した土壌粒子が土壌空隙を塞いでしまった可能性も考えられ、マルチングは、土壌を表層土壌を膨軟に維持し植栽木根系の酸素欠乏ストレスを緩和効果も期待できると考えられた。

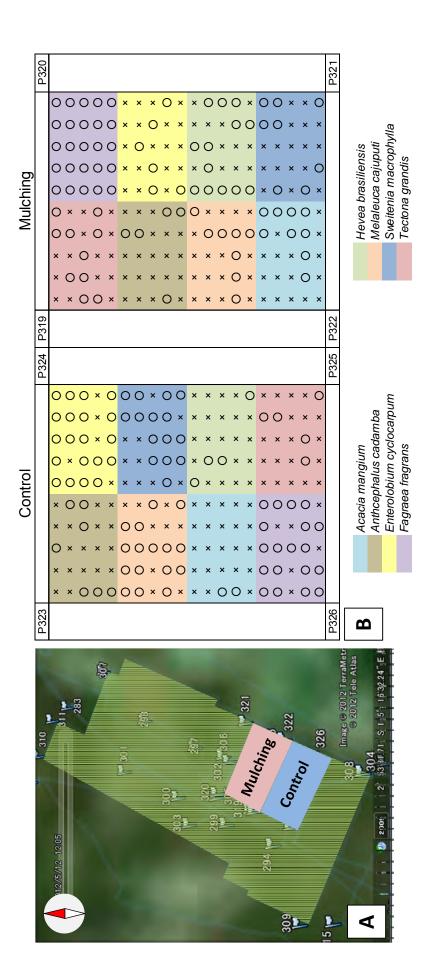


図 4-8 水分センサー設置中の様子。F.fragrans苗の植え穴付近に20cmの深さの穴を掘り、センサーを設置している様子(A)。 20cmの深さにセンサーを設置した (B)後に10cmまで埋め戻し、センサーを設置する様子 (C)。

図 4-11にTAJ付近 (Curah Hujan Di Blok III) にて計測された 2012 年の年間雨量の変化を示す。7月中旬から乾期に入り、10月の中旬まで非常に降雨が少なく (図 4-11)、一方、最も雨量が多いのは3、4月であった。対照区の地表から10cmと20cmの最高・最低地温は、20cmと比較して10cmでは最高温度は高く、最低温度は低かった (図 4-12)。一方、マルチ区の10cmと20cm深の最高・最低地温は20cmと比較して10cmでは最高温度はほぼ変わらず、最低温度のみ低かった(図 4-12)。さらに10月1日から10月10日までを見ると、降雨後に対照区では

10cm 深の地温が急激に低下し、20cm よりも低下した (図 4-13A, B)。一方マルチ区では降雨による地温の急変は観測されなかった (図 4-13A, C)。マルチによって土壌が適した温度に保たれることは、高温時 (Fraedrich et al. 2002, Long et al. 2001)、低温時 (Tisserat and Kuntz 1984)の両方で報告されている。Martin (1992)らは、夏季の地表面では、マルチにより約 10° Cの温度低下が確認された事を確認している。石炭採掘地においても、マルチを用いることで地温の急激な上昇・低下を緩和することが明らかになった。

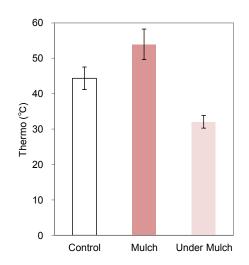


図 4-9. 対照区とマルチ区におけるマルチ の表面とマルチ下の土壌の温度。

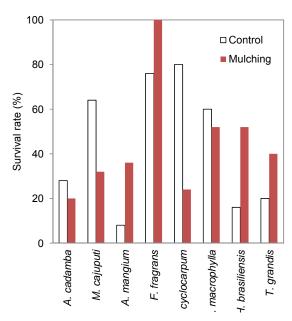


図 4-10. 樹種毎のマルチ区と対照区の生存率

10cm 深水ポテンシャルは 10 月 8 日

に対照区では-350kPa まで低下したのに対して、マルチ区では-235kPa 程度までしかなかった (図 4-14)。また 20cm 深の水ポテンシャルは 10 月 21 日に対照区では-150kPa まで落ち込んだのに対して、マルチ区では同日に-60kPa 程度までしか低下しなかった (図 4-14)。 Russell (1987)は、わずか厚さ 3.8cm の藁マルチにより、土壌からの水分蒸発を約 35%減らす事を報告している。これらことから石炭採掘跡地においても、特に乾期にはマルチにより土壌水分が保持されることが明らかになった。

以上のように、メラルーカ樹皮を用いたマルチングは、土壌が高温になることを防ぎ、 土壌水分の損失を抑制するのに加えて、表層土壌の物理性を改善・維持する効果が期待される 精悪地の緑化に有効と考えられる。しかしながら、石炭採掘跡地では晴天時に地表面 温度が著しく高くなることが明らかになり、メラルーカ樹皮を用いたマルチングの植栽木 の生存・成長への寄与が今後も継続するかにつき経過観察を続ける必要があろう。

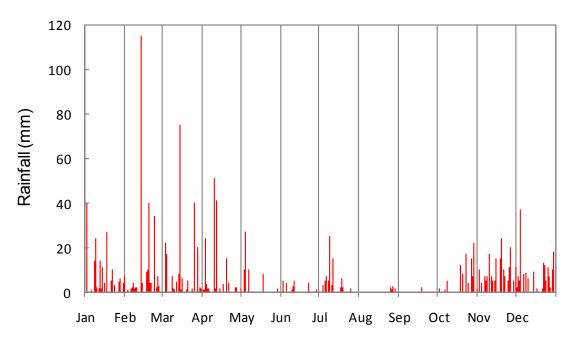


図 4-11. AGM 周辺(Curah Hujan Di Blok III)における 2012 年の年間降水量。

4-4. 引用文献

- Linda C.S. (2007) Impact of Mulches on landscape plants and the environment a review. J Environ. Hort., 25(4), 239-249.
- Long, C.E., B.L. Thorne, N.L. Breisch, and L.W. Douglass (2001) Effect of organic and inorganic landscape mulches on subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) foraging activity, Environ. Ento., 30, 832–836.
- Oliveira, M.T. and I.A. Merwin (2001) Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. Plant and Soil 234, 233–237.
- Russell, J.C. (1939) The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 4, 65–70.
- Tisserat, N. and J.E. Kuntz (1984) Root deterioration of black walnut seedlings during overwinter storage in Wisconsin. Tree Planters' Notes 35:31–35.

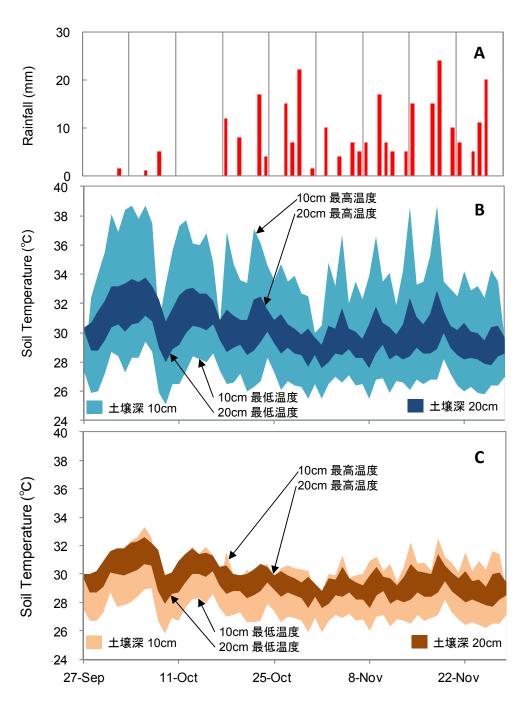


図 4-12. AGM における測定中の降水量と地温の変化。測定期間中の降水量 (A)。対照区(B)。マルチ区(C)。

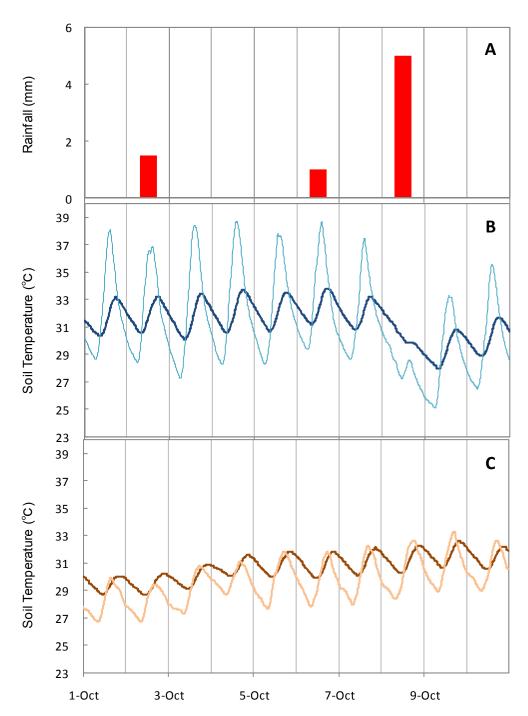


図 4-13. AGM における 10月1日から10月10日までの降水量と地温の変化。降雨量(A)。対照区(B)。マルチ区(C)。

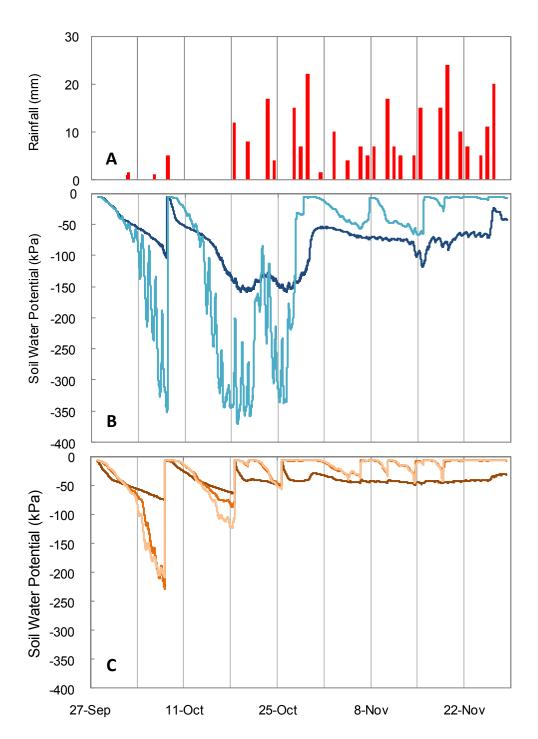


図 4-14. AGM における測定期間中の降水量と土壌水ポテンシャルの変化。 降水量(A)。対照区(B)。マルチ区(C)。

5) 土囊造林試験

早稲田大学 助手 田中一生 国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫

5-1. はじめに

石炭採掘の廃土地における造林にとって、廃土対象地の埋め戻しの「丁寧さ」が植栽木の生存・成長の大きな問題となる。つまり、採掘時に原植生下の表層土壌(A層)が取り分けられ、廃土対象地に A層が最上層になるよう埋め戻されるか否かで土壌の無機養分や有機物に大きな差が生じる。また、それのみならず、採掘土の下層に含まれる重金属、とりわけここではパイライトを多く含むことによる酸性硫酸塩土壌が生成され植栽木の健全な成長を妨げることがある。

こうした生育障害を緩和する有効な手段として、土嚢内に苗や種子を埋め込み、生存率を高める土嚢造林があげられる。土嚢造林は日本の足尾鉱山の跡地の緑化に利用され(図 4-1; Akiyama 1992)、植生が回復したという実績がある(関東森林管理局 2007)。

この土嚢造林の利点としては、有機物や無機養分が高い土壌を用いることが可能であること、急斜面でも設置が可能であること、地面のわずかな高低により湛水する箇所では、マウンドとしての機能が付加されることなどがあげられる。一方、留意点としては、土嚢から根が出ない、いわゆる寝巻きが生じる可能性があることや根が外に出てからの成長維持が困難であるということが挙げられる。

これらのことから、石炭採掘の廃土地において、土嚢造林は活着率ならびに生育を促進 する可能性があるが、まだその効果などは明らかになっていない。

5-2. 方法

2012 年 11 月 28 日に土嚢袋に表土とコンポストを混ぜ、中央部に約 15cm×15cm の穴を開け、下部に水分過剰になることを防ぐために数箇所小さな穴を開けた (図 5-2D)(土嚢区)。対照区として、同量の表土とコンポストを混ぜ通常の植え穴に満たした区(客土区)、通常の植え穴の区(対照区)を設けた (図 5-2C)。これらにそれぞれ、マホガニー(Swietenia macrophylla)とアカシア(Acacia mangium)実生苗を 1 個体ずつ植えた。それぞれの植栽木の配置図を図 5-1 に示す。

植栽後、植栽木の樹高とクロロフィル濃度 (葉緑素計(SPAD)による相対値)計測した。 また、2回目は2013年3月18日に行った。それぞれの処理区の植栽木の樹高とSPAD値はTukey HSD 法で検定を行った。

			П	A1C		A1S					A9C		A9S					A17C		A17S
			Ħ		A1P							A9P							A17P	
			Ħ																	
M1C		M1S					_	М9С		M9S				M17C		M17S				
	M1P								M9P						M17P					
			H	A2C		A2S					A10C		A10S					A18C		A18S
			T		A2P							A10P							A18P	
M2C		M2S	H					M10C		M10S				M18C		M18S				
IVIZC	M2P	IVIZO	H				_	WITOC	M10P					WITOC	M18P	WITOS				
	IVIZI								IVITOI						WITOI					
				A3C		A3S					A11C		A11S					A19C		A19S
					A3P							A11P							A19P	
МЗС		M3S						M11C		M11S				M19C		M19S				
	M3P		H				\dashv		M11P						M19P		H			
			Ħ																	
			Ц	A4C		A4S					A12C		A12S					A20C		A20S
			Ц		A4P							A12P							A20P	
M4C		M4S	H					M12C		M12S				M20C		M20S				
	M4P		H						M12P						M20P					
			Ħ																	
			Ц	A5C		A5S					A13C		A13S					A21C		A21S
			Ц		A5P							A13P							A21P	
M5C		M5S						M13C		M13S				M21C		M21S				
	M5P								M13P						M21P					
			Ħ																	
			Н	A6C	100	A6S					A14C		A14S					A22C	1000	A22S
			Ц		A6P							A14P							A22P	
М6С		M6S						M14C		M14S				M22C		M22S				
	M6P								M14P						M22P					
				A7C		A7S					A15C		A15S					A23C		A23S
			H	710	A7P	AIG	\dashv				7130	A15P	Aidd				H	7230	A23P	7200
			Н														L		- 201	
М7С		M7S	Ш					M15C		M15S				M23C		M23S	L			
	M7P		Ц						M15P						M23P					
			H	A8C		A8S	_				A16C		A16S				H	A24C		A24S
			H		A8P		\dashv					A16P					-		A24P	
			Ħ				_										H			
M8C		M8S	Ц				_	M16C		M16S				M24C		M24S				
	M8P								M16P						M24P					

M: Mahogani, A: Acacia C: Control, P: Potting, S: Soil Bag

図 5-1. それぞれの植栽木の配置図。

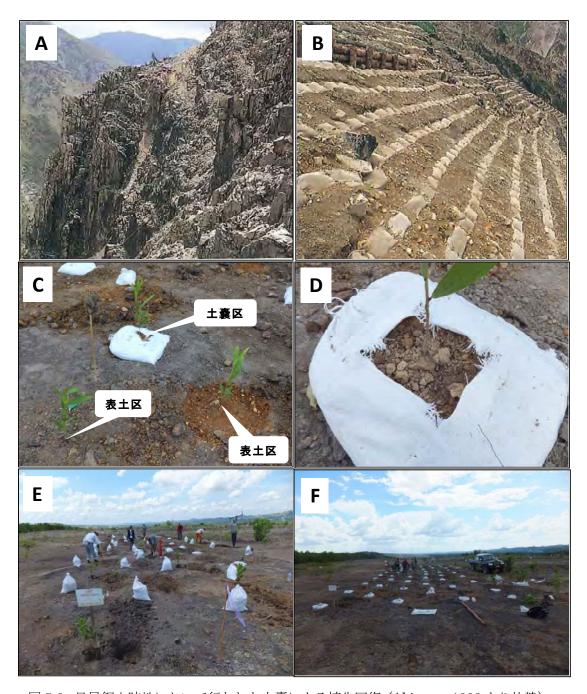


図 5-2. 足尾銅山跡地において行われた土嚢による植生回復 (Akiyama 1992 より抜粋)。 足尾銅山跡地(A)と土嚢による植生回復処理の様子(B)。1 区画のそれぞれの処理 区の様子(C)。土嚢区において土嚢に穴をあけ苗を植えている様子(D)。土嚢造林 施行中の様子(E)。土嚢造林施工収納時の様子(F)。

5-3. 結果と考察

図 5-3 に土嚢造林施工後、約 3 ヶ月経過した A. mangium と S. macrophylla の生存率、樹

高、SPAD 値を示す。*A. mangium* では、土嚢ではすべての個体が生存し、客土区では 84%、 対照区では、65%の個体が生存した (図 5-3A)。*S. macrophylla* では、すべての区で生存率 が低下し、土嚢区で 61%、客土区で 23%、対照区で 17%の個体が生存した。(図 5-3D)。 このことから、*A. mangium、S. macrophylla* ともに土嚢造林の有効性が確認された。

A. Mangium の樹高は、客土区と土嚢区で有意に高く、対照は差がなかった。S. macrophylla の樹高は、すべての処理区で差がなかった。

A. Mangium の SPAD 値は、すべての処理区で差がなかった。S. macrophylla の SPAD 値は、客土区で有意に低下し、対照と土嚢区は差がなかった。

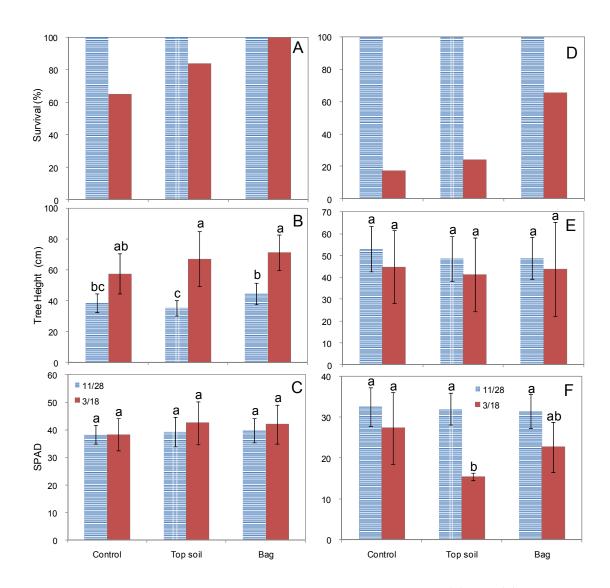


図 5-3 土嚢造林施工後、約 3 ヶ月経過した *Acasia mangium* の生存率(A)、樹高(B)、SPAD 値(C)。 *Swietenia mahogani* の生存率(D)、樹高(E)、SPAD 値(F)。青;2012 年 11 月 28 日、赤;2013 年 3 月 18 日。

A. mangium、S. macrophylla ともに土嚢造林によって活着・成長に好影響が確認された。対照において、S. macrophylla の生存率は A. mangium と比較して低かった。このことから、S. macrophylla は、A. mangium と比較して、石炭採掘跡地の土壌環境に対する適応性が低いと考えられる。また、A. mangium では客土区でも好影響が確認されたが、S. macrophylla では確認されなかった。つまり、S. macrophylla の生存率が低下する原因は、客土に含まれる土壌養分や土壌の物理的性質によるもののではないと考えられる。生存率低下の原因の一つとしては、雨季の降雨により雨水が土嚢内に湛水してしまい、根が酸欠状態に陥った可能性が推測される。

5-4. 引用文献

Tomohide Akiyama (1992) A forest again: lessons from the Ashio Copper Mine and reforestation operations, Food and Agriculture Policy Research Center.

関東森林管理局 (2007) 足尾治山事業, 関東の森林から, 特別号, Feb., 3

6) 傾斜地用ひも造林試験

早稲田大学 助手 田中一生 国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫

6-1. はじめに

石炭採掘の廃土地では、整地を行う際に急傾斜地が必ず形成される。この急傾斜地では 降雨により激しい浸食が起こることが観察されている。こうした急傾斜地の緑化は種子散 布工法により行われることが多いが、コストが高く多くの事業者が一般的に利用できる方 法ではなく、代替となる安価な工法の開発が急務である。そこで、我々はひもに不織布袋 をつるした急傾斜地造林法の試験を行った。

6-2. 方法

不織布製の土嚢にそれぞれ土壌、Acacia mangium 種子、保水材を組み合わせて入れた。 Acacia mangium 種子は、それぞれ 5 粒ずつ入れた(図 6-2A, B)。保水材処理区は、保水剤 (Skygel, (株)メビオール、神奈川、日本)を約 1g (ペットボトルキャップ半分程度)を混入させた。対照区として保水剤を入れない区を設けた。不織布袋を 1m 毎にスズランテープにホッチキスで留め、斜面上部から斜面下部に向かって設置した(図 6-2C, D, 6-2)。このとき、

すべての不織布袋が斜面壁面に設置するように留意した (図 6-2, 6-1D, E)。スズランテープは、上部、下部を杭によって固定した (図 6-2)。スズランテープとスズランテープの間は、2m の間隔をあけた (図 6-2, 5-1D, E)。

6-3. 今後の予定

次回の現地調査時に、 写真撮影による様子の 観察、生存・成長の計測 を行う予定である。

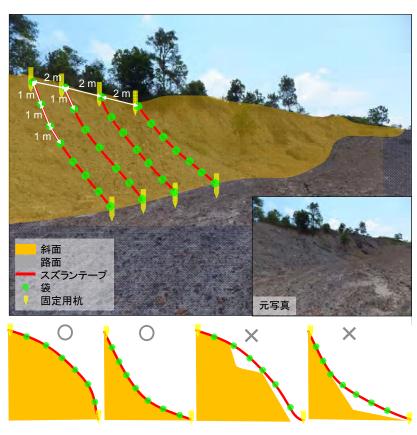


図 6-1. 試験設定の概要図

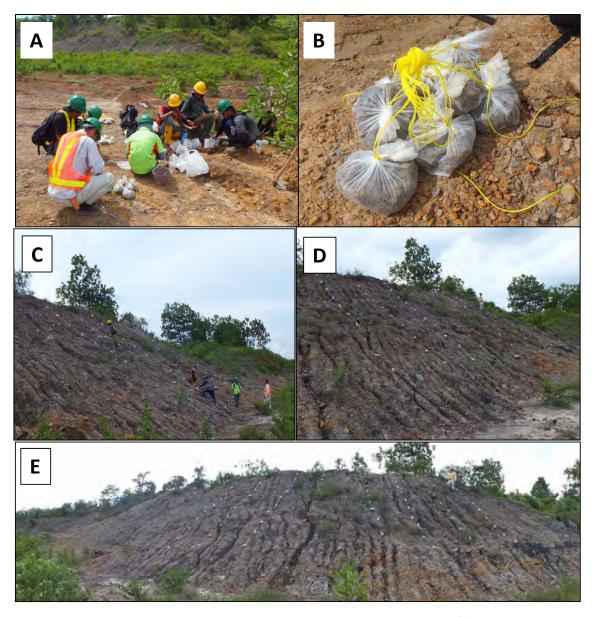


図 6-2. ひも造林試験試験の様子。不敷布に土壌と種子を入れている様子(A)。完成した1列の土壌と種子入りの不敷布(B)。設置中の様子(C)。完成した様子(D, E)。

7) Acacia mangium を用いた直播造林法

早稲田大学 助手 田中一生 国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎、研究顧問 大角泰夫

7-1. はじめに

石炭採掘の廃土地造林を困難にしている要因として、良質な苗木の生産と植栽本数の調達の困難さや、適正な植え穴サイズの確保と施肥などの不安定さという人為的な影響があげられる。この問題に対して、苗木生産における問題を無視することができ、植栽の手間を省くことが可能な方法として直播造林が挙げられる。

石炭採掘の廃土地における直播造林の候補樹種として、A. mangium が考えられる。A. mangium は東南アジアにおいて、既に様々な地域で造林木として植栽されており、さらに植栽地周辺において天然更新が確認されている。図-1 は、AGM の造林地の端において天然更新した A. mangium であるが、約5カ月で樹高約50cm 程度から180cm を越える程度まで成長していた。A. mangium は既に様々なストレスに対して抵抗性があることがわかっており、様々な用途において材の利用が可能である(岩崎ほか、2012)。

熱帯荒廃地造林において、直播き造林はほとんど行われることがないが、この要因の一つは荒廃地の多くがチガヤ草原となっているため、樹木実生が被陰され成長が困難であるためである。石炭採掘の廃土地では、整地後しばらくの期間は草本の侵入は少ないため、直播き造林に適していると考えられる。

加えて、*A. mangium* は本来インドネシアに自生していないため、成林後、*A. mangium* を被陰木として利用し、現地産の樹種に転換していくことも考えられる。

これらのことから本研究では、A. mangium の直播造林手法について、検討を行う。

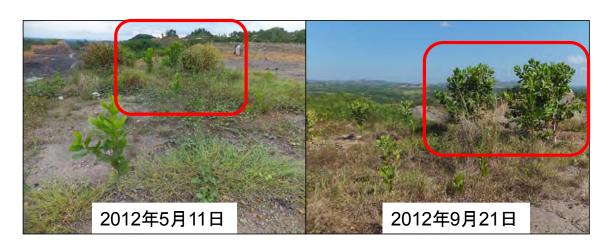


図 7-1 石炭採掘跡地(PT. TAG)において天然更新をしている A. mangium の様子。

7-2. 方法

A. mangium の直播試験を行った。A. mangium の種子は熱湯処理を事前に施した (林木育種センター 2006)。 100×100 (cm)の格子角で播種試験を行った。播種後は、周囲をスズランテープで囲むか四方にスズランテープを巻いた標識杭をたて、作業員による踏圧等の攪乱を防いだ(図 7-1C, D)。

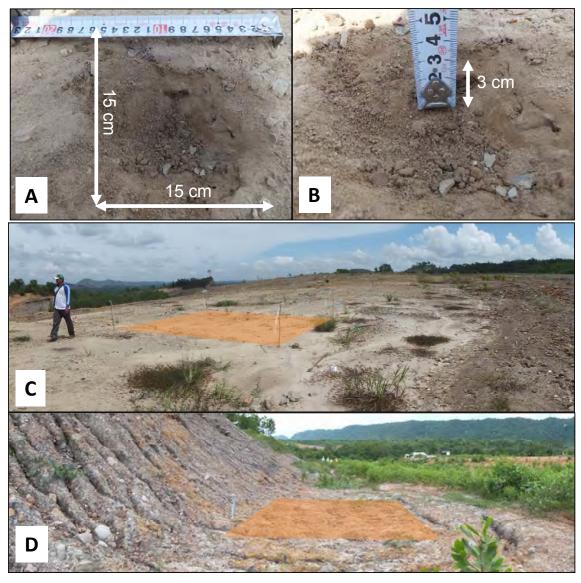


図 7-1 石炭採掘跡地における *A. mangium* の直播造林実験の様子。植え穴の様子(縦×横)(A)。植え穴の様子(深さ)(B)。TAJ における実験地(オレンジ色の箇所に播種)(C)。 AGM における実験地(オレンジ色の箇所に播種)(D)。

7-3. 今後の予定

次回の現地調査時に、生存率、成長量、写真撮影を行う予定である。

7-4. 引用文献

- 岩崎 誠・坂 史朗・藤間 剛・林 隆久・松村順司・村田功二 2012. 早生樹一産業植 林とその利用、259pp、海青社
- 熱帯産等早生樹種の育種マニュアル, 2006, 林木育種センター 海外協力部, 林木育種センター, p9.

8) 共生微生物調査

日本大学生物資源科学部応用生物科学科教授 砂入道夫、研究員 相澤朋子

8-1. まとめ

平成24年9月21日より平成24年9月24日の4日間、インドネシア共和国南カリマンタン州の石炭採掘跡地の植生回復モデル事業地などを巡検し、植林した樹木の生育に問題を抱えている箇所を中心に調査を行った。その結果、樹木が生育不良あるいは枯死している箇所の多くは土壌 pH が低下しており、pH 2.5 以下の極めて強い酸性を示す箇所もあり、これら土壌の酸性化は埋め戻しの際に大気に晒され鉄(イオウ)酸化菌の働きによる潜在酸性硫酸塩土壌の酸化に起因すると考えられた。土壌酸性化に関与する微生物群や酸性土壌への樹木の適応を促進する微生物群の解析・応用のための準備として Indonesian Institute of Sciences, Biological Research Center の Arif Nurkanto 研究員も巡検に同行した。

8-2. 現地調査報告

平成24年9月21日より平成24年9月24日の4日間、インドネシア共和国南カリマンタン州の石炭採掘跡地の植生回復モデル事業地(写真8-1)などを巡検し、植林した樹木の生育に問題を抱えている箇所を中心に調査を行った。土壌酸性化に関与する微生物群や酸性土壌への植物の適応を助ける微生物群の解析応用には遺伝子資源の保護と利用の国際協力の観点から、資源提供国が有する遺伝資源へのアクセスが円滑に行われるとともに、その利用から生じる利益の公正かつ衡平な配分が適切に実施されることにより、提供者と利用者の双方が利益を享受できる環境をまず確立する必要がある(バイオインダストリー協会, 2012)。そのため今回の現地調査では、インドネシアの微生物研究の中心的組織Indonesian Institute of Sciences (LIPI), Biological Research Centerとの協力体制を検討するために同センターのArif Nurkanto研究員とともに現地巡検を行った(写真2)。

植生回復モデル事業地では、多くの植物は順調に生育していたが(写真8-1)、所々に枯死した植物(写真8-2、8-3)が見られた。そのような個所の土壌pHを測定するとpH2-3の強酸性を示した(写真8-4)。また強い酸性を示した場所から雨水などの水の流れによると見られる方向に酸性域が広がっていることが認められた。今回酸性を示した個所は事業開始時には酸性を示していなかったとのことから事業開始後に(潜在)酸性硫酸塩土壌が酸化され酸性化したと考えられた。(潜在)酸性硫酸塩土壌中のパイライトの硫酸への酸化は触媒無しには極めて遅い反応であるので、下記酸性土壌の説明にあるように鉄(イオウ)酸化細菌などが関与して進むと考えられている。本事業地での酸性化の機構に検討を加えるため酸性化した表面土壌のサンプル(写真8-5)多数を採取するとともに、土壌垂直方向についても酸性化の進行と関与する微生物の検討のためにサンプル採取を行った(写真8-6)。これらのサンプルはIndonesian Institute of Sciences, Biological Research CenterのArif Nurkanto

研究員が国際緑化推進センターとの協力関係が確立するまで保管することとなった。これらのサンプルの解析から、酸性化に関与する微生物群や酸性化土壌に樹木が適応する助けとなる微生物群の解析応用が進み、本モデル事業地をはじめ石炭採掘跡地の植生回復に役立つ知識、技術に発展することが期待される。

巡検した植生回復モデル事業地)の環境、土壌については事業開始時は昨年度報告書(国際緑化推進センター, 2012)の大角泰夫らによる報告に、今回現地調査での土壌や植物の生育については本年度報告書の他の章に詳しく報告されている。

植生回復モデル事業地に隣接して現在石炭を採掘している事業地があった(写真8-7)。 採掘されて露出した地層断面(写真8-8)はきれいなもので、写真でも鮮明に黒い石炭層が 観察できる。採掘現場では向かって左側より3層の石炭層を順に露出させそれぞれの層を 効率良く露天掘りしている。画面中央の白い普通車から採掘場のスケールの大きさ分かる。 カリマンタン島(ボルネオ島)周囲の海は海面上昇や下降を繰り返している事が知られて おり(高谷、1986)、その時々の海面位、気候、植生などにより形成される土壌が大きく変 化してきたことが見てとれる。多量の植物由来の有機物が(微)生物による分解を逃れ嫌 気的環境で生成した石炭層、陸上で形成された地層、好気的海水環境で形成した地層、海 水の嫌気的環境でイオウ還元菌の働きにより生成した(潜在)酸性硫酸塩土壌(図8-2)な ど多様な地層がきれいに並んでいる。カリマンタン島(ボルネオ島)は有史以来大きな地 震はほとんど記録されていない(IRIS)ことも知られている。石炭採掘に際して出た土(埋 戻土)の中にどの程度の割合で酸性硫酸塩土壌が含まれているかは、採掘されて露出した 地層断面の(潜在)酸性硫酸塩土壌層を観測することによりある程度の見積もりが得られ ると期待される。

8-3. 酸性硫酸塩土壤

不良土壌の一つとして挙げられる強酸性土壌は、熱帯から温帯の農耕地の 30~40 %を占めるといわれており、その面積として約 4 億ヘクタール存在する (Baligar and Ahlrichs, 1998; 山本, 2002; 松本, 2003)。酸性土壌環境では、低 pH 以外にも、その強酸性によりおこる各種アルミニウムおよび重金属類 (Fe, Mn, Zn, Ni) の可溶化による金属過剰 (Kinraide and Parker, 1989; Kinraide, 1991; Tulau, 1999; Kinraide et al., 2005; Kitao et al., 2000; Lasat, 2002; McGrath et al., 2001)、アルミニウムおよび鉄の塩として土壌中のリン酸が不溶化し植物が吸収できない形になること、つまり、リン酸の不可給態化による低リンストレス (Kochian et al., 2004)など、複合的な環境ストレスにさらされることで、植物の生育が阻害される。これら各種の環境ストレスのうち、植物の生育に最も影響を与える要因として、アルミニウムの可溶化がある (Kinraide, 1991)。アルミニウムは地殻を構成する金属元素としては最も多く、約 7 %を占める。アルミニウムは、土壌中では主に粘土鉱物の構成元素として存在している。アルミニウムは両性金属元素であるため、一般的な中性付近の土壌中ではアルミニウムは粘土鉱物として存在するが、土壌の pH が酸性に傾くと、粘土鉱物中のアルミニウムは Al(OH₂)*、AlOH²⁺、Al³⁺となり、溶解する (Kinraide, 1991)。この

ようにして溶解したアルミニウムイオンはそれ自体で植物に毒性を示すだけでなく、土壌中のリン酸イオンと結合することで不可溶性のリン酸塩を形成しリン酸の不可給態化を引き起こす。植物にとりこまれたアルミニウムイオンはその 99.99 %が細胞壁に結合するが、細胞膜や細胞質、核にも取り込まれる (Rengal and Reid, 1997)。アルミニウムイオンが植物に直接与える影響としては、根の伸長阻害が挙げられる。アルミニウムイオンは根端の細胞表層に集積し、根の縦方向への伸長が阻害される。また、細胞膜の脂質の酸化も同時に起こる (Yamamoto et al., 2001)。さらに、アルミニウムイオンは細胞の核内へ侵入し、DNA と結合する事により細胞分裂の阻害を起こすと考えられる (Morimura et al., 1978)。このようなアルミニウムの害に対し、植物は主に有機酸を分泌して対応を行っていることが知られている (Delhaize and Ryan, 1995; Ma et al., 1997)。

酸性土壌の生成要因としては、雨水、土壌の構成成分、気温などさまざまなものが挙げ られ、酸性土壌の種類もさまざまである。この中で、酸性度の高さや存在する地域、広さ などから特に注目に値するのが酸性硫酸塩土壌である。 地球上に 1080 万ヘクタール、アジ ア地域に 500 万ヘクタール存在すると推定される酸性硫酸塩土壌は、土地開発、灌漑農業 等による表土の流失に伴って、還元状態にあったパイライト (FeS2) が露出し、パイライト 1 モルあたり 2 モルの硫酸が生成することにより、土壌および周辺水域が pH 2〜4 の強酸 性を示す (Stumm and Morgan, 1970)。インドネシアをはじめ東南アジアではズンダ海の 大陸棚で酸性硫酸塩土壌が形成されてきた(高谷, 1986)。酸性硫酸塩土壌の生成過程(図 8-1, 8-2) は、まず熱帯圏のマングローブ林が成立している海岸泥土中で海水による冠水と 多量の有機物の供給によって好気的微生物が分子状酸素を費消し強い還元的環境が作り出 され、余剰有機物が海水中に大量に存在する SO₄2を最終電子受容体として絶対嫌気性硫酸 還元菌である Desulfovibrio や Desulfotomaculum などによって硫酸呼吸(還元反応)が起 こり、最終的にパイライト (FeS₂) が生成される (久馬, 1986)。パイライトが蓄積した堆 積物が陸化すると潜在酸性硫酸塩土壌となる。この段階では、パイライトが還元状態であ る限りにおいて、酸性化は起こらない。しかし、表土が流失しパイライトを含む潜在酸性 硫酸塩土壌が空気に晒される様になると、パイライトの酸化が起こる。その結果、パイラ イト1モルあたり4当量の酸を生成して土壌が酸性化し、酸性硫酸塩土壌の問題が顕在化 する。パイライトの酸化は化学的には緩慢にしか進まないが、鉄(イオウ)酸化細菌であ る Thiobacillus ferroxidans や Thiobacillus thioxidans などの働きにより、極めて速やかに進 行する(Arkesteyn, 1980; 加村, 1986)。

これら酸性硫酸塩土壌は農業利用可能な地帯と重なることが多く、ひとたび酸性化すると、一般の農作物をはじめ在来の植生の回復は困難となり、特に人口密集地であるアジア地域では食糧生産の観点からも問題となっている。酸性硫酸塩土壌に対する農地の対策としては石灰の散布や汲上げ水による土壌の洗浄等が行われているが、大量の石灰の運搬や散布、あるいはポンプの敷設、管理など、大きなコストがかかるなど環境負荷や経済的な面での問題がある (van Breemen and Pons, 1978)。そこで、酸性硫酸塩土壌に生息する植物の根圏に存在する微生物の環境適応機能を活用するバイオレメディエーションが、経済

的かつ環境に対する負荷の少ない手法として有効であると考えられる (Aizawa et al., 2008)。植物に対する生育促進技術として、植物生育促進能を持つ微生物 (PGPB, Plant Growth Promoting Bacteria)を利用する方法が考えられており、PGPB として報告されている菌株も多数存在する (Bloemberg and Lugtenberg, 2001)。しかし、従来の PGPB は中性あるいは弱酸性の環境から単離されたものがほとんどであり、酸性硫酸塩土壌のような強酸性環境に関する検討は少ない。そのため、従来の方法とは異なり酸性硫酸塩土壌環境に適応した微生物を活用する新しい手法が必要であると考えられる。一般的に、植物表面や根圏には多種の微生物が存在し、微生物同士、あるいは微生物と植物の間で各種の相互作用が起こっている。このことから、酸性土壌環境に生育する植物の根圏から、現地環境で問題となる低 pH やアルミニウムや重金属イオンに対する耐性を持つ微生物や不可給態リン酸塩の可溶化能を持つ微生物、酸性環境における窒素固定が可能な微生物などを取得し、これら酸性土壌に適応した微生物を組み合わせ、植物に接種することにより、効果的な作物増産技術が開発できる可能性が考えられる。



写真 8-1. 南カリマンタン州の石炭採掘跡地の植生回復モデル事業地



写真 8-2. 植栽木の局所的な枯死



写真 8-3. 植栽木の枯死



写真 8-4. 土壌 pH の調査



写真 8-5. 酸性化の進行と関与する微生物の検討のためのサンプル採取



写真 8-6. 土壌垂直方向についても同様にサンプル採取



写真 8-7. 植生回復モデル事業地に隣接して現在石炭を採掘している事業地



写真 8-8. 採掘されて露出した地層断面

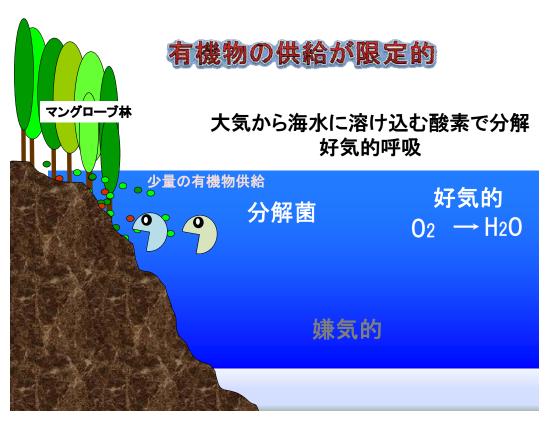


図 8-1. 酸性硫酸塩土壌の生成過程(1)

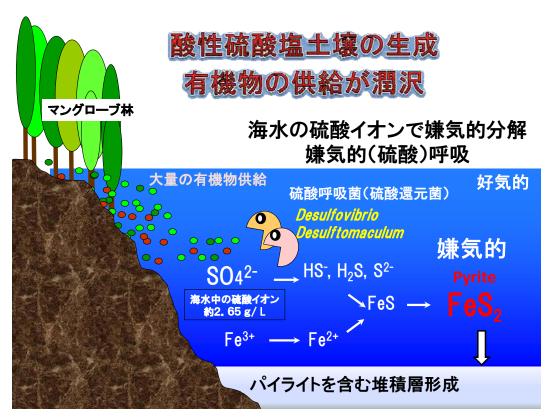


図 8-2. 酸性硫酸塩土壌の生成過程(2)

8-4. 参考文献

- Aizawa, T., Nguyen, B. V., Vijarnsorn, P., Kimoto, K., Sasaki, S., Nakajima, M., and Sunairi, M. (2008). Application of symbiotic bacteria isolated from plants adapted to actual acid sulfate soil. Development of New Bioremediation Systems of Acid Sulfate Soil for Agriculture and Forestry, 57-62. Shoukadoh Book Sellers, Kyoto, Japan.
- Arkesteyn, G. J. M. W., 1980. Pyrite oxidation in acid sulphate soils: The role of microorganisms. Plant Soil, 54: 119-134.
- Baligar, V. C., Ahlrichs, J. L. 1998. Nature and distribution of acid soils in the world. In Schaffert RE. ed., Proceeding of the Workshop to Develop a Strategy for Collaborative Research and Dissemination of Technology in Sustainable Crop Production in Acid Savannas and other Problem Soils of the World. Purdue University, pp1-11.
- Bloemberg, G. V., Lugtenberg, B. J. 2001. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. Curr Opin Plant Biol, Aug; 4(4): 343-50.
- van Breemen, N. and Pons, L. J. 1978. Acid sulfate soils and rice: Soils and rice. In, International Rice Research Conference (IRRC). Los Baoos, Philippines, pp. 739-761.
- Delhaize, E., Ryan, P. R. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. Plant Physiol, 107: 315-321.
- Kinraide, T. B. and Parker, D. R., 1989. Assessing the phytotoxicity of mononuclear hydroxy-aluminum. Plant Cell Environ, 12: 479-487.
- Kinraide, T. B., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminum species. Plant Soil, 134: 167-178.
- Kinraide, T. B., Parker, D. R. and Zobel, R. W., 2005. Organic acid secretion as a mechanism of aluminium resistance: a model incorporating the root cortex, epidermis, and the external unstirred layer. J Exp Bot 56: 1853-1865.
- Kitao, M., Tange, T., Yagi, H. and Sasaki, S. 2000. Leaf nutrient conditions related to visible foliar symptoms in four Japanese tree species planted in acid sulfite soils. Global Environ. Res. 4, 73-78.
- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A. and Pineros, M. A. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Annu. Rev. Plant Biol. 55, 459-493.
- Lasat, M. M., 2002. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. J. Environ. Qual. 31, 109-120.
- McGrath, S. P., Zhao, F. J. and Lombi, E. 2001. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. Plant Soil 232, 207-214.
- Rengel, Z and Reid, R. J., 1997. Uptake of Al across the plasma membrane of plant cells. Plant and soil 192, 31-35.

- Stumm, W. and Morgan, J. J. 1970. Aquatic Chemistry. In., New York, pp. 583.
- Tulau, M. 1999. Acid sulfate priority areas on the lower clarence floodplain. In. Department of Land and Water Conservation, Sydney, Australia.
- Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., Matsumoto, H. 2001. Lipid peroxidation is an early symptom triggered by aluminum, but not the primary cause of elongation inhibition in pea roots. Plant Physiol. 125: 199-208.
- 加村 崇雄, 1986. 火成性パイライト酸化による酸性硫酸塩土壌の生成と鉄・イオウ細菌. 日本土壌肥料学雑誌 57 巻 3 号 p.252-256
- 久馬一剛, 1986, 東南アジアの低湿地—マングローブ林下の土壌—, アーバンクボタ No.25: 2-7, 株式会社クボタ
- 財団法人国際緑化推進センター, 2012, 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
- 高谷好一東南アジアの地形・地質―大陸棚を中心に―, アーバンクボタ No.25: 8-11, 株式 会社クボタ
- 一般財団法人バイオインダストリー協会(JBA)、経済産業省, 2012, 遺伝資源へのアクセス手引-第2版-
- 松本 英明, 2003. 酸性土壌とアルミニウムストレス. 根の研究 12 巻 4 号 p.149-162 山本洋子, 2002. アルミニウムによる根伸長阻害の分子機構. 根の研究 12 巻 4 号 P.147-54

9) 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社会経済調査を実施した。

9-1) NEKBAUN 村 社会経済調査結果

インドネシア林業省研究開発局 Kupang 支所 研究員 Mr. Eko Pujiono 国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎

1. 村の歴史

1967 年以前、Nekbaun 村の行政は「旧スタイル」であった。行政構造は、幾つかの「tamukung」(村レベル) から成り立つ「fetor」(郡レベル) より構成され、Amarasi 地域周辺には、12 の tamukung から成り立つ、4 つの fetor が存在した。Nekbaun 村自体は、2 つの tamukung より成り立っていた。1968 年以降、tamukung 及び fetor の行政形態は次第に使われなくなり、村行政へと変化していった。

2. 位置及び面積

Nekbaun 村の面積は 16.23 km²で、4 つの集落より成り立っている。Nekbaun 村に最も近い町はクパンで、距離にして約27 km、原動機付き車両を使用した場合には1時間程度を要する。村へのアクセスには、24 kmのアスファルト道路と、3 kmに及ぶ未舗装の道路を通らなくてはならない。Nekbaun 村は、海抜約 250 メートルの高さに位置する。Nekbaun村の位置と土地利用図については、図1を参照されたい。

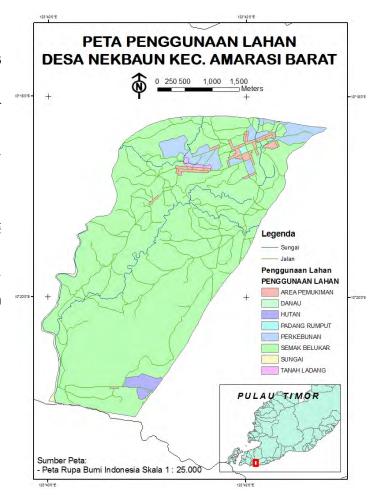


図 1. Nekbaun 村土地利用図

3. 人口統計

Nekbaun 村は、西 Amarasi 郡にある親村の一つに含まれる。Nekbaun 村の住民構成は、Dawan Amarasi 語を母語とする Timor 族出身の現地人である。日常の社会生活においては、Dawan Amarasi 語とインドネシア語が使用される。2011 年の住民数は 1,460 名と記録されており、一家族は平均 3 名で構成されている。Nekbaun 村の人口統計に関しては、図 2 を参照されたい。

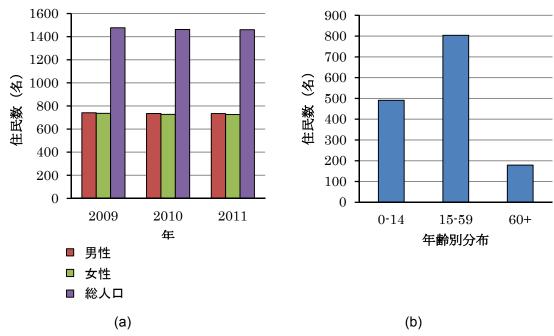


図 2. Nekbaun 村人口統計: (a) 最近 3 年間における住民数と人口密度、(b) 2011 年、 年齢別住民数

人口統計では、人口増加について最近3年間比較的一定であることが示されている。住民構成としては、男女の割合がほぼ1:1で均衡している。人口密度は低く、村長の予想では、今後50年から75年の間は居住用や農業用地に対する需要は十分にまかなうことが出来る。年齢別分布に関しては、Nekbaun住民の約55%が、村落開発の担い手となり得る生産年齢に属している。

4. 経済活動

Nekbaun 村における経済状況は、地域総生産額(PDRB)の大きさ及び一人当たりの収入レベルで表わされる。地域総生産額(PDRB)は、地方における経済指標の一つとなるものである。中央統計局(BPS)による地域総生産額(PDRB)及び一人当たりの収入を算出するに当たっての最小単位となるのは郡である。よって、Nekbaun 村の地域総生産額(PDRB)と一人当たりの収入を知りたい場合、西 Amarasi 郡の地域総生産額(PDRB)のデータを使

用することとなる。2009 年から 2011 年の西 Amarasi 郡における地域総生産額 (PDRB) 調査結果によると、地域総生産額 (PDRB) は約 400 億、経済成長率は約 5%、住民一人当たりの収入は年間およそ 500 から 600 万ルピアとなっている。

クパン県中央統計局 (BPS) の記録によると、2009 年から 2011 年までの経済構造としては、未だ農業セクターが地域総生産額 (PDRB) 全体の 50%を占めており、続いて、商業、サービス、その他セクターとなっている (図 3a)。農業セクター内には、食糧作物や畜産業といった農業セクターの大部分を占める幾つかのサブセクターが存在する (図 3b)。一方、林業サブセクターは最も小さなサブセクターとなっている (図 3b)。

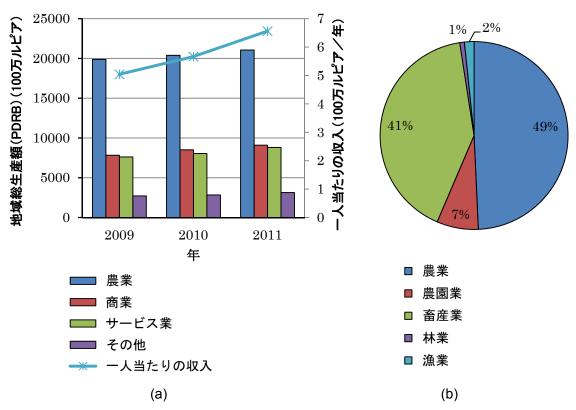


図3. 西 Amarasi 郡(Nekbaun 村)の経済活動状況: (a) 最近3年間における域総生産額(PDRB)及び一人当たりの収入、(b) 農業セクターにおける各サブセクターの占める割合

5. 土地の所有と利用

一般的に土地は個人所有となっており、その約 45%はすでに登記書を取得している。村用地として定められている幾つかの場所については、全村民による共同所有となっている。村用地の全面積は、400 ha 程である。この村用地の分割に関しては、全村民が共同で作成した村条例に盛り込まれている。村条例の一例としては、結婚をしたがまだ土地を所有していない村民に対しては、一世帯に付き 50 m x 25 m の面積の村用地に居住し、管理を行う権利が与えられる。

土地利用については、乾燥地が 90%を占めており、その内訳は焼畑、畑、放牧場、藪となっている。残りは、湿地(田んぼ)と国有林(約 250 ha)である。大部分の住民は農民として生活の糧を得ており、トウモロコシ、水稲、陸稲、イモ類等、自給用の主要農産物を植えるために土地を利用している。一方、自給用の非主要農産物としてではなく、販売用の収穫物としては、野菜、豆類の他、ココナッツ、バナナ、キャンドルナッツといった果物が挙げられる。一般的に住民が植林する木は、チーク、マホガニー、グメリナ gmelina、カシューナッツといった樹種である。住民は、地元の在来種もしくは原産種の木を植えることはなく、これらは自生している。在来樹種とは、アラビアゴム kabesak やレッドウッドのことを指す。Nekbaun 村の植林木樹種の一覧は、表 1 を参照されたい。

表 1. Nekbaun 村で植えられている植林木樹種一覧

農作物	果物作物	樹木	
		外来種	在来種
トウモロコシ	果物作物:	チーク	Kabesak
(Zea mays)	ココナッツ	(Tectona grandis)	(Acacia leucophloea)
水稲	(Cocos nucifera)	マホガニー	レッドウッド
(Oryza sativa)	バナナ	(Sweitenia mahagoni)	(Pterocarpus indicus)
陸稲	(Musa Paradisiaca)	グメリナ	白檀
イモ類	キャンドルナッツ	(Gmelina arborea)	(Santallum album)
野菜	(Anacardium		
豆類	occidentale)		_

情報源:2013年現場視察&インタビュー

6. 森林と伐採

Nekbaun 村の森林は、国有林と村有林より構成されている。250 ha 程の面積を有する国有林には、モクマオウ属の木、チーク、その他の種類が分布する。一方、15 ha 程の面積を有する村有林は、モクマオウ属の木、セイロンオーク、ビダラのようなジジプス属の木 kom/bidara (Zysipus sp), タマリンド、チーク、グメリナといった植林木より構成されている。

Nekbaun 村の地元有力者に対するインタビュー結果によると、森林消失もしくは森林面積の減少は 1990 年代以降に発生した。一般的に、森林消失は経済的な要因により引き起こされる。つまり、建設用資材や薪といった生活上のニーズや住民のニーズを満たすための伐採ということである。さらに、チェーンソーのような伐採器具の普及によって伐採活動はより容易になり、違法伐採を行う者も出てきた。2011 年だけでも、Nekbaun 村において2件の違法伐採があったことが記録されており、1件目は住民数名によるパピと呼ばれる香木 kayu papi の伐採、2件目は4名によって行われた国有林区域における違法伐採である。どちらについても、法的措置が取られている。この法的措置は、二度と違法伐採を行わないよう犯人を反省させる目的で行われると同時に、住民に対する教訓ともなっている。違

法伐採という人為的な理由によるものの他、土砂崩れといった自然的要因によって減少した森林地域も存在する。これは、保護林の大部分が急勾配であることに起因する。

違法伐採事件や、土砂崩れといった自然的要因があるものの、Nekbaun 村の国有林は一般的に保全されていると言って良い。国有林が変わらずに保全されている要因は、以下の通りである。

(1) 地域住民及び慣習的組織による強い支援があること

その支援形態とは、住民総意に基づく森林保護の方法と、その利用を定めた慣習規則の存在である。現在も慣習法は守られている。例えば、慣習規則で定められた保護林において、盗伐や動物を殺すなどの違反をした場合、それに関わった人物に災いが起こると信じている地域住民もいる。そのため、現存する森林が変わらず守られているのである。

(2) 国有林と住民所有地の明確な境界があること

慣習規則や合意に基づき、各世帯主には、国有林と住民所有地を隔てるための全長 8~20 メートルの石壁を作る責務が与えられている。この活動によって、全世帯の住民が国有林 と住民所有地の境界を間接的に知ることとなっている。

(3) 森林保護の必要性に関する住民意識があること

すでに行われている住民意識の形成としては、林業局やその他関係機関によって実施される造林や緑化プログラムへの住民参加が挙げられる。また、結婚する若者はその村に苗木を植えなくてはならないという地元の知恵があることにも、環境保護に対する住民の関心が表されている。

村有林では、村条例に定められている手続きを踏むことで木材伐採が許可される。村有林における伐採の手続きは、村長もしくは地元有力者によって承認された隣組(RT)レベルでの書類作成や、現場での共同調査の実施がある。該当の木が伐採に適している場合には伐採許可が下りるが、湧水、河川、墓に近い地点にある際は、伐採が禁じられる。つまり、貯水地域を考慮することによる水源保全や、適切な木材のみを伐採することで成り立つ産物存続などが村条例によって間接的に管理されているのである。村条例に違反する伐採に対しては、家畜の屠殺や罰金といった罰則が科される。罰則の程度は行われた違反のレベルによる。

7. 畜産

Nekbaun 村民の多くが家畜を所有していることを踏まえ、村条例では放牧に関連する規則が定められている。Nekbaun 村全世帯のうち、約 15%が放牧を行っている。村の歴史によると、Nekbaun 村の設立当初から放牧専用となっている土地は存在した。この放牧専用地の面積は、約 400 ha である。このため、他人の私有地に家畜が立ち入った場合には、罰則が科される。この罰則は、柵を所有する住民と、家畜を所有する住民に対して施行される。柵の所有者に対しては損害の半分相当の罰則が科され、家畜の所有者に対しては家畜の屠殺が行われ、その半分は政府と被害があった土地の所有者に分け与えられる。

また、放牧専用地(草原地帯)を設けることにより、地域住民の所有する生産性の高い土地における土壌の踏み固めを最小化することも間接的に意図されている。

8. 慣習規則と村条例

上述より、公的な法規則の他、Nekbaun 村には、天然資源を管理するために定められた 慣習規則もしくは村条例が存在することが分かる。全ての規則は、将来のより良い生活と 環境を目的とするものである。

表 2. Nekbaun 村における慣習規則と村条例

Z. NCRDAU	11111に4017の頃目が知られる17	
活動分野	慣習規則/村条例	社会/環境影響
農業	- 結婚をしたが土地を所有し	- 社会的格差が生まれない。
	ていない村民に対する居住及	- 未活用地や空き地を最小化させる。
	び農業用の土地 50 m x 25 m	
	の分配。	
林業	各世帯に対する義務となってい	- 森林伐採を最小化させる。
	る、石壁を使った国有林と私有	
	地の境界作り。	
	村有林で伐採の時期を迎えた木	・ 林産物保護の原則を支持する。
	に対する伐採許可。	
	- 結婚するカップルは木を植	- 森林と土地のリハビリテーションを
	えなければならない。	促進する。
畜産	- 家畜放牧用の特別用地の提	- 生産性の高い土地における土壌の
	供。	踏み固めを最小化させる。
		- 植物に対する損害を最小化させ
		る。

情報源:2013年現場視察&インタビュー

9. 土地及び森林のリハビリテーションに関連するプログラム

Nekbaun 村では、森林と土地のリハビリテーションのための試みとして、幾つかのプロジェクトやプログラムが行われてきた(表 3)。このプログラムは、地域住民や政府、森林分野において活動を行う海外機関といった様々な関係者によって始められたものである。2004年には、林業省が実施する森林と土地のリハビリテーション活動(GERHAN)プロジェクトが行われた。国有林の100 ha という面積を目標に掲げ、約50%の成果が出た。2009年には、クパン県林業局が民有林プログラムを開始した。そこでは、地域住民の土地にマホガニー、チーク、カシューナッツを植林した。このプログラムの達成率は40%程度である。翌2010年には、オーストラリアの研究機関である、オーストラリア連邦科学産業研究機構(the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO))がク

パン林業試験場と協力し、Nekbaun 村民向けに、白檀や地元の優良樹種の苗床に関する研修活動を行った。この活動では、農民グループの形成と強化から始まり、苗床をどのように造成していくかといった技術指導が行われた。Nekbaun 村民は、白檀の植林木の苗床を作ることに成功した。庭や家の敷地に植えるため、苗木は各住民に平等に分配された。

表 3. Nekbaun 村の森林及び土地リハビリテーションに関連するプロジェクト

1X J.	TTCKbauli 11 VOAR	你及び土地ファービブブ	<u> </u>		<u> </u>
年	プログラム名	実施者	対象地	成果/達成	障害
				率	
2004	森林と土地の	Benain Noelmina	国有林	25-50%	住民の関与不足。
	全国リハビリ	河川流域管理セン	(100		家畜による妨害。
	テーション運	ター(BPDAS) -	ha)		
	動(GERHAN)	クパン県林業局			
2009	民有林	クパン県林業局	私有地	40%	現場ではなく、ク
					パン市での苗木
					調達。
					住民の希望に沿
					わない植林木の
					種類。
2010	苗床作り研修	CSIRO - クパン	私有地	苗床作りの	-
		林業省生産林総局		能力を身に	
		(BPK)		付けた農業	
				グループの	
				形成。	
2011	国民育苗ファ	Benain Noelmina	私有地	苗木6万本。	- 資金に関する
	ーム (KBR)	河川流域管理セン			説明不足。
		ター(BPDAS) – ク			
		パン県林業局			

情報源:2013年現場視察&インタビュー

続いて 2011 年には、Benain Noelmina 河川流域管理センター(BP DAS)とクパン県林業局が、民育苗ファーム(KBR)プログラムを開始した。この活動は、グループ活動をベースとしており、植林木の苗木を育てる能力を持ち、かつ苗木を生産するための栽培場所を所有しているグループに対して政府から予算が出された。この活動の達成率は 75%程度で、白檀、在来種チーク、外来種チーク、キャンドルナッツ、タマリンド、在来種マホガニー、外来種マホガニーの苗木を 6 万本生産した。

10. JIFPRO プロジェクトに対する住民の見方

様々な種類の植林木を植林してモデル林を造成するという国際緑化推進センター (JIFPRO) のプロジェクトは、4 ha の村有地で行われた。Nekbaun 村の地域住民はこのプロジェクトを歓迎し、積極的に参加している。地域住民は、JIFPRO のモデル林プロジェクトにおいて、様々な種類の植林木の成長や、どのような世話をすると植林木にとって最適な結果が出るのかということを観察出来ることに期待している。

また、地域住民は、今後このプロジェクトが他村の土地や私有地にも拡大されていくことを望んでいる。

村長と地元有力者たちは、「JIFPROのモデル林活動の普及と情報の拡散によって、植林に対する住民の意欲が向上し、植林が促進されていくことを期待している」と話す。農民にとって植林活動は、年金や貯金になると認識している地域住民もいる。さらに、JIFPROの活動は、村を「苗木村」としたい Nekbaun 村政府のビジョンとも一致している。

11. 終わりに

以上からあげられる重要な点は以下である。

- (1) Nekbaun 村は、土地のリハビリテーション活動及びその他森林活動の実施場所として 十分な将来性がある。その支援要因としては、アクセスの良さ、人的資源の豊富さ(多 くの住民が生産年齢に属していて、地域住民による参加率が十分に高い)、天然資源の ポテンシャルの高さ(広い土地があり、人口密度も低い)、政策や規則面での推進(環 境を考慮した村のビジョンと慣習規則や村条例)があげられる。
- (2) Nekbaun 村における土地所有システムは、一般に、個人もしくは私有となっているが、 先祖代々受け継がれ、全村民の共同所有と定められている村有地もある。
- (3) Nekbaun 村の土地利用には、ゾーニングシステムが採用されている。このゾーニングは、土地の用途に基づいて区分され、村民の参加によって定められる。
- (4) 森林伐採は 1990 年代頃から発生し始めた。森林伐採を引き起こす主要因は経済的要因であるが、これは地域住民による建築用資材や薪に対するニーズを指している。チェーンソーといった器具の使用などの技術発展も、さらなる違法伐採を増やす引き金の一つとなっている。
- (5) 違法伐採事件は起きているものの、一般的に見て Nekbaun 村周辺の国有林の状況は良好である。これは、村条例や慣習規則を持った地域住民や慣習的組織によるサポート、そして明確な境界があること、さらに、地域住民が森林の重要性やその意義について高い意識を持ち合わせていることなどに起因する。
- (6) Nekbaun 村においては、土地のリハビリテーションに関する幾つかのプロジェクトが 実施されてきたが、その大部分は最適に進んでいるとは言えない。これは主に、地域 住民の参加が不足していることや、資金に関する不透明な説明が原因である。

(7) JIFPRO 活動の成果に関する情報の拡散によって、地域住民の植林へのモチベーション が高まること、また「苗木村」となるための村のビジョンが後押しされることが期待 されている。

参考文献

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kupang, 2011. Kecamatan Amarasi Barat dalam Angka 2011. BPS Kabupaten Kupang. Kupang
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kupang, 2010. Kecamatan Amarasi Barat dalam Angka 2010. BPS Kabupaten Kupang. Kupang
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kupang, 2009. Kecamatan Amarasi Barat dalam Angka 2009. BPS Kabupaten Kupang. Kupang

9-2) 東 Penfui 村 社会経済調査結果

インドネシア林業省研究開発局 Kupang 支所 研究員 Mr. S. Agung Sri Raharjo 国際緑化推進センター 主任研究員 仲摩栄一郎

1. 東 Penfui 村の人口統計と歴史

東 Penfui 村は、東ヌサ・トゥンガラ州、クパン県、西クパン郡に位置し、Oelnasi 村から分立した村である。分立は、2003 年以降に境界が作られたことに始まり、2005 年に承認された。村の分立は、住民数の増加、社会サービスに対するニーズの増加が理由である。東Penfui 村は、親村(Oelnasi 村)の下にあった 2 つの集落から構成されている。東 Penfui 村が分立した際、Balfai 集落、Tuameko 集落、Matani 集落、Lakujo 集落、Kaniti 集落の 5 つの集落に分けられた。行政的に東 Penfui 村は、東側が Oelnasi 村(分立前の親村)、西側が南 Oesapa 村、北側が Lasiana 区、Tarus 区、Mata air 区、南側が北 Baumata 村とそれぞれ隣接している。東 Penfui 村には、国有林との直接的な境界はない。東 Penfui 村の面積は 10 km²に及ぶ。

2012 年 10 月度の東 Penfui 村月次報告によると、東 Penfui 村の住民は 9,367 名で、その内訳は男性 5,107 名、女性 4,260 名となっている。世帯数は、1,215 世帯である。年齢別住民数については、表 1 を参照されたい。

表 1. 年齢別住民数

No	年齢層	合計 (名)
1	0 – 12 ヶ月	470
2	1-4才	1,120
3	5 – 11 才	1,372

4	12 – 15 才	1,500
5	16 – 19 才	1,123
6	20 – 24 才	2,019
7	25 – 64 才	1,121
8	65 才以上	642

出典: 2012 年 10 月度東 Penfui 村月次報告

東 Penfui 村住民は、その多くが高学歴(専門学校や大学、高等教育機関)で、該当者は 2,019 名に上る。学校教育を全く受けたことがない住民は 722 名のみである。

当初、東 Penfui 村住民は農民として生計を立てていたが、現在、大部分の住民の主な職業は、職員(民間職員、公務員)となっている。これは、多くの移住者が東 Penfui 村に住み始めたことに要因がある。東 Penfui 村は、El-Tari クパン空港や Nusa Cendana 大学が近いため、戦略的場所と位置付けられ、このことが村への移民を増加させる要因の一つとなっている。東 Penfui 村に住宅地(一例として、Matani Permai 住宅地)を建設した不動産業者がいることからも見てとれる。このように、植林地域の近くには、居住地として開発が進められる地域も存在している。

この居住地開発は、地域住民の農業用地の面積にも影響を及ぼし、多くの地域住民の土地が、その用途を農業用地から居住用地へと転換されている。移住者や投資者に対する村住民の土地売却は激化している。

Agustinus Sabaa 氏(東 Penfui 村長)に対するインタビューによると、ほぼ毎日土地売却書の申請があるという。これこそが、東 Penfui 村住民の職業割合を動かした要因である。

2. 物理的状態と土地の所有

1984 年以前、この東 Penfui 村は森林地帯であった。ここでいう森林とは、地域住民による耕作がされていない、ヒマワリヒヨドリ、bunga putih/kerinyu(*Eupatorium odoratum*)、オウギヤシ(*Borassus sp*)、アラビアゴム kom/kabesak (*Acacia leucophloea*)、カユプテ (*Eucalyptus alba*) といった植物から成り立つ藪にすぎなかった地域のことを意味する。

ソラムの深さは 1 m 程だが、土地の傾斜によって様々である。土地を活用する地域住民が出てくると、主産物はトウモロコシと落花生となった。地域住民の土地の大部分には未だ登記書がない状態であるが、土地証明のための国民サービス(LARASATI)プログラムが2010年にようやく始動し、多くの地域住民が所有権利登記書の手続きを始めている。現時点においても、地域住民の土地のうち約 40%が、所有権利登記書の交付を受けていない状態である。しかしながら、東 Penfui 村政府による所有権利登記書発行を推進するための試みは継続的に行われている。

3. JIFPRO プロジェクトの実施場所

調査地域は第5区(Kaniti区)に置かれた。東 Penfui 村の他の区と比較すると、人口密

度が比較的低い地域である。調査地域は、教師であり、地元の有力者で大地主(広大な土地を所有している)でもある Melianus Toy 氏所有の土地にある。この地域は、Oesao 川の副分水界へ入り、Tilong ダムの西、約 4 km に位置している。最も近い国有林地は、Sesiminisanam 林地(道標石 8,365 地点)である。東 Penfui 村の他の地域と比較すると、調査地域の土地のソラムは比較的深い。

当初、調査地域はヒマワリヒヨドリ bunga putih/kerinyu(*Eupatorium odoratum*)、オウギヤシ(*Borassus sp*)、アラビアゴム kom/kabesak (*Acacia leucohloea*)、カユプテ(*Eucalyptus alba*)に覆われる藪であった。アラビアゴム Kayu Kom/Kabesak は、建設用資材や薪として使用され、カユプテ(*Eucalyptus alba*)は、Oesapa 地方(東 Penfui 村西側に位置する)で塩を精製するために用いられていた。人口が増加するにつれこれらの植物(Kabesak とカユプテ)は 1990 年頃から尽き始めていった。

2004 年から 2006 年にかけて、東 Penfui 村(調査地域を含む)において、GERHAN(森林と土地の全国リハビリテーション運動)プロジェクトが実施された。GERHAN は、林業省によるプログラムの一つで、地域住民所有の土地や林地に植林を行うプロジェクトである。とりわけ植林されたのはマホガニー(Swietenia mahagoni)である。しかし、東 Penfui 村地域での GERHAN 実施に対しては、住民からの反対があり、多くの植林木が住民によって抜かれてしまった。これにより、GERHAN プロジェクトは失敗した。このような事態を打開するため、クパン県の農業普及員(Ayub 氏)は大地主(Melianus Toy 氏)に対するアプローチを行い、植林に対する協力を要請した。この努力は成果を見せ始め、2007 年にはMelianus Toy 氏所有の土地に共同で植林を行うことに合意した。同年、東 Penfui 村では、50 Ha の土地に対して GERHAN プロジェクトが実施された。植林木の種類は、マホガニーである。

2007 年に植林されたマホガニー植林木は大火災に遭い、GERHAN プログラムの成果も低いものであった。2012 年までに残っているのは、数本の植林木のみである。植林木の成功率は、わずか 20%であった。火災という要因の他にも、周辺の地域住民による植林木の伐採(盗難)があった。地域住民によって盗まれた木材は、建物のコンクリート流し込みの際に棒状のまま支柱として使用された。支柱用木材の販売価格は、一本につき 25,000 ルピアである。この木材は約 3~4m の長さである。支柱用木材として使用される樹種には、マホガニー、グメリナ gmelina (*Gmelina arborea*)、ギンネム (*Leucaena lucocepala*) 等がある。現在も、東 Penfui 村の研究地域では、2007 年の GERHAN の成果木を数本見ることが出来る。

4. 社会システム

調査地域周辺の地域住民は、概して移住者かもしくは Melianus Toy 氏の身内である。この移住者の中には、居住用地として使用する $40 \times 50 \text{ m}$ もしくは $50 \times 100 \text{ m}$ の土地を Melianus toy 氏から得た者もいる。また、移住者が耕作可能なだけの面積の土地を耕作する ことが許可された。その際の条件としては、他人にこの土地を売却してはならず、万が一

この土地が売却された場合、権利は剥奪されるという約束の下に成り立っている。但し、 売却することは出来ないが、子孫に相続することは可能である。

耕作用地の使用に関して、地域住民はグループを形成した。このグループは、常任会員である 28 名の会員を有する。しかし実際には、土地の耕作に関わる地域住民は、数百名に達する。耕作用地は全て有刺鉄線の柵で囲われており、グループの所有する公共柵の長さは、28,000 m 程である。

各グループ会員と耕作者は、ある共同規定を持っている。この規定は、2004 年、クパン県知事 (I.A. Medah) によって公式化され、承認済みである。グループ規定の重要なものの一つに、地域住民やグループ会員によって耕作される農業用地内に、家畜を入れてはいけない、というものがある。2011 年、ある牛の群れ(30 頭程、Baumata 住民所有)が地域住民の耕作用地に入り、約 10 ha のトウモロコシを破壊した。グループ規定に則り、この牛は損害を受けた耕作用地で屠殺された。この件は、牛の所有者と耕作者の間に紛争を巻き起こしたが、グループ規定が存在したため、警察もこの件に関してそれ以上の追求を行うことが出来なかった。

2010 年、Melianus Toy 氏はこのグループ規定に追加を行った。追加された規則は、各耕作者とグループ会員に対して、彼らが所有する土地に植えられた植林木の保育を行うことを義務付けるものである。もし植林木が枯れた場合には、家畜という形態(通常は豚)で罰金が科される。この規則に対しても、これまでにグループ会員による違反があったため、このグループ会員は屠殺のための豚を差し出し、グループ会員全員で一緒に食べたという。また、現在、土地の耕作は機械的に行われている。グループは土地を耕作するためのトラクターを所有していて、各グループ会員に掛かる負担は、このトラクターの使用に必要な燃料油費のみである。グループ会員でない場合には、各へクタールにつき、100 万ルピアのトラクターレンタル費用が掛かる。所有のトラクターは全部で3台ある。

その他、耕作者たちに課される義務は、土地所有者(Melianus toy 氏)に対して、収穫物の一割を献上することである。但し、実際には一割に満たなくとも、その量が如何ほどであれ献上されたものは喜んで受取られ、問題になることはない。それより重要なのは、この土地は Melianus toy 氏の所有物である、ということを再認することなのである。農作物のごく一部を献上することは土地の所有権を再認した証拠となり、耕作者たちが農作物を献上する際、間接的に、自分たちが耕作している土地は Melianus toy 氏の持ち物なのだということを認め、思い出すのである。これは同時に、土地を耕作する許可を与えられたことに対して、感謝の意を伝える役割も果たしている。主な農作物は、トウモロコシ、稲(乾燥地/陸稲畑)、落花生、野菜である。

5. 森林セクターにおける地域住民の能力

Ayub 氏 (クパン県農業普及員) と Agustinus Sabaat 氏 (東 Penfui 村長) に対するイン タビューの結果から、東 Penfui 村の地域住民が植林木の苗床を造成する能力を有している ことが明らかとなった。幾つかの住民グループは、国民育苗ファーム (KBR) を通じてす

でに植林木の育苗に関わった経験がある。国民育苗ファーム(KBR)は、植林木の苗木作りに住民グループを誘い込むための林業省プログラムの一つである。各グループは 5 千万ルピアの資金援助を受けることが出来る。国民育苗ファーム(KBR)の枠組みの中で増えた植林木の樹種には、マホガニー、グメリナ Gmelina、チーク等がある。

森林用植林木の苗木の繁殖に関して、東 Penfui 村の地域住民が直面している第一の問題は、水の調達である。東 Penfui 村地域には、Tilong ダムから地方水道公社(PDAM)のパイプが通っているものの、東 Penfui 村住民に対する水供給はされていない。地域住民に対する水道水の配給については、地域住民と PDAM 間の合意を待っている状態である。

6. 終わりに

これまでのデータ収集結果から、以下のようにまとめる。

- (1) 土地所有システムには、伝統的な特徴がある。調査地域の土地は、一人の大地主によって掌握されている。土地所有者(大地主)と耕作者間の関係は、パトロンと小作人のような性質を持っている。大地主(パトロン)は、所有地を地域住民に分配することが出来る、土地所有の権力者である。大地主は、トラクターのような生産手段を提供し、周囲を囲む柵を作る。耕作する地域住民(小作人)は、土地を利用し、農作物の一部を土地の所有者へと献上する。
- (2) 森林伐採は、1990年以降、最初の移住者が入った際に起こった。森林伐採は、建設用 資材と薪に対する地域住民のニーズによって発生した。2007年には土地のリハビリテ ーションが実施されたが、火災や、リハビリテーションによる植林木の盗難により、 2010年にこの試みは失敗に終わっている。
- (3) 住民グループの中には、林業に関する特別な規則を持つグループもある。Melianus Toy 氏所有の土地を耕作する住民グループは、自分たちの耕作用地を耕す間は、森林用植林木の保育を行うことが義務であると明言する規則を持っている。これらの規則は、2004年にクパン県知事によって公式に承認済みである。
- (4) JIFPRO プロジェクトに対する調整の可能性としては、森林用植林木と農業用作物の組合せ(アグロフォレストリー)である。JIFPRO プロジェクトに使用される土地は、地域住民の耕作用の土地であることを鑑みて、JIFPRO プロジェクトの成果が保護されるよう、さらなるグループ規定の強化が必要である。
- (5) JIFPRO プロジェクトの調査結果について地域住民や住民グループ、関係する役人へ発信するよい機会としては、設置済みのデモンストレーション・プロットの見学に招待することが考えられる。代替案としては、報告書を作成して地域住民や利用者に配布したり、調査結果に関するセミナーを開催する等がある。

第5章 森林回復技術マニュアル (素案)

炭坑跡地緑化のための土壌モニタリングマニュアル(素案)
 (Soil Monitoring Manual in the Coal Mining Area)ー解説

国際緑化推進センター 研究顧問 大角泰夫、主任研究員 仲摩栄一郎 京都大学大学院 農学研究科 教授 太田誠一

Lambung Mangkrat 大学 講師 Dr. Fakhrur Razie

1-1) マニュアルのための一般的理解

前提

このマニュアルは南カリマンタン州の国立大学、Lambung Mangkrat 大学との共同研究を 進めるために作成した「Soil Monitoring Manual in the Coal Mining Area」をベースとしてよ りわかりやすい形でまとめたもので、実際に使っているマニュアルは、英文のものである ことを前もってお断りする。

また、読者の皆さんの理解を深めるために写真と図表を用意したが、重複を避けるためにマニュアルに記載した写真・図表は本文では記載しなかった。必要な場合はマニュアルを参照されることをお願いする。

1. このマニュアルのターゲット

- (1) 石炭採掘跡地の埋め戻し材料がいつ、どのように酸性化するのかを探ること
- (2) 酸性化の時間的な進展を知ること
- (3) 材料の違いによる酸性化の違いを知ること
- (4) 採掘材料を用いた重機による埋め戻しに伴う土壌の圧密化程度を土壌硬度ならびに容 積重から把握すること
- (5) 圧密化された土壌の物理的特性の時間的変化を探ること

2. インドネシア炭坑跡地土壌の一般的性質についての理解

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、石炭を採取するというものである。これらの炭層は通常は複数層埋蔵されており(写真-1)、これらの炭層を順次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森林回復を行うことと定められているので、森林回復を容易にすることと土砂崩壊を低減するために、採炭後は速やかに埋め戻しを行うケースが多い。さらに、森林回復をより確実にするために地表部の森林土壌を別途採取・貯蔵し、採炭・埋め戻し後被覆する場合もある。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。この採炭ー埋め戻しの状況をわかりや

すく図化したものが付属資料-Figure-1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、その中には酸化剤である過酸化水素水(H_2O_2)を加えると判激しい反応を示すものもありパイライト(Pyrite = FeS_2 -黄鉄鉱)と考えら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酸化的環境下に暴露された場合、パイライトのケースでは、

$FeS_2 + 15/4 O_2 + 14/4 H_2O = Fe(OH)_3 + 2H_2SO_4$

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。なお、一部には鉄明ばん石と称呼される Jarosite(KFe $_3$ (SO $_4$)2(OH) $_6$)が中間的に介在する場合もあるとも言われている(写真-3、写真-4)。いずれにせよ、硫酸によって土壌が酸性化される。

硫酸によって強く酸性化した土壌や硫黄化合物が存在することにより、現在は酸性ではないが将来空気にさらされると強い酸性を示すに至ると予想される土壌を酸性硫酸塩土壌(Acid Sulfate Soil-略称: ASS)と呼ぶ。

土壌は時として pH1~3 という極めて低い酸性にまで酸性化される場合があり、森林回復に大きな障害となる。前述のような埋め戻し後に別途採取した Pyrite を含まない元々の森林土壌等の材料を表面にかぶせて酸性の影響を削減する方法はその後の森林回復にはきわめて有効である。

なお、埋め戻しに使う炭層の上側に累積した地層は、堆積した環境に対応して硫黄化合物の量が大きく異なると予想される。すなわち、元々の堆積環境が地上で行われた場合や海成堆積でもイオウが集積しない場合は酸化による硫酸の発生はない。反対に現在のマングローブ林下のように多くの有機物が供給されて形成される還元的な堆積環境下で多くのイオウ取り込んだれた堆積材料では強く酸性化すると考えられ、酸性化は堆積物によって異なることを前提に考えておく必要がある。

この酸性化には微生物が介在すると考えられているが、一般的にはどの様なメカニズム、 スピードで酸性化するのかは明らかとなっていない。

これらの点を可能な限り明らかにするために本事業においては異なった年代の材料によって埋め戻された植栽予定地で土壌の pH を、表層を従来の森林土壌で被覆した地点と比較しつつ、モニタリングすることを計画した。

酸性化に加えて、材料の埋め戻しや旧森林土壌表土の被覆は、写真-2 に示したように大型重機によって行われ、頻繁に重機が通過することで土壌が強く圧密され堅い緻密となる。この緻密で堅い土壌は植物にとってきわめて厳しい生存・生育環境と考えられるが、どの程度のレベルの緻密さ、堅さが植物の成育・生存に影響するのかは、植物種の耐性を含めてよくわかっていない。

この様な堅く緻密な堆積材料からなる土壌は植生が定着することによって、また湿潤一 乾燥の繰り返しによって徐々に砕け膨軟になると考えられる。この様な土壌の物理性が時 間の経過と共にどの様に変化するのか、等についての情報もほとんどない。 これらの問題点の解明を可能な限り進めるという目的で、通常の採掘材料を用いて埋め戻しを行った場所と表層に従来の森林土壌を被覆し、植生の定着を促進した場所での土壌物理性の変化をモニタリングすると共に、リッピング処理によって緩和した場所と通常の埋め戻し地の土壌物理性の変化をモニタリングすることとした。

3. 本事業における対象地の選定とモニタリングプロットの設定

埋め戻し材料の酸性化には時間がかかるとの予想から、前項に示したように、新しい堆積物を用いた埋め戻し地(PT. Antang Gunung Meratus 社(AGM))と比較的古い堆積物を埋め戻しに用いた場所(PT. Tanjung Alam Jaya 社(TAJ))の2地点、をモニタリング対象地として選定した。

新しい堆積物の地、AGM は 2010 年に掘り起こされ、そのまま埋め戻した場所とその上に以前の森林土壌(Acrisol)をかぶせた場所が造成されている。古い材料で埋め戻しを行った TAJ は 2003 年に採炭が行われ、採炭時に出た堆積物はそのまま放置され、その材料が 2010 年の採炭終了に伴って埋め戻しに用いられた場所である。従って TAJ は 2010 年の埋め戻し時点では、埋め戻し地には放置期間中に地表面に出ており酸性化した材料と、下層に埋まっていたため酸性化が進んでいない材料が混在して地表に出現すると推察される。

AGMモデル林地は写真-3 にあるように採炭時の材料を埋め戻した場所と埋め戻し地に別途保管されていた以前の土壌(Acrisol)の A~C 層によって被覆した場所との二つの試験区が設定された。2011年度のモデル林対象面積は 5ha である。この二つの処理地に pH と土壌物理性のモニタリングプロットを設定した。

一方 TAJ モデル林地は写真-4 のように全体が採炭地の材料を埋め戻した場所であるが、土壌の物理性を改良するために一部をリッピング(掻き起こし一深さ約 15cm)した場所を設定した(付属資料 Photo-2)。全体の面積は 3.5ha である。なお、TAJ の採炭はかなり以前であったため、元々の土壌(Acrisol)の材料は失われており、以前の森林土壌による被覆処理を行うことはできなかった。ただ、植栽木の植え穴に近傍から採取した森林土壌を混和する処理を一部について行った(付属資料 Photo-3)。TAJ の pH と土壌物理性のモニタリングプロットはリッピングを行った場所と行わなかった場所に設定した。さらに、両モニタリングプロットのなかで、植え穴に森林土壌を混和したポイントと混和しなかったポイントを設定して pH のモニタリングを行うこととした。

土壌 pH モニタリングに加えて、両モデル林地内あるいはモデル林隣接地に存在する河川 あるいは池の水 pH もモニターすることとした。

1-2) 土壌 pH モニタリングと水 pH モニタリング

1. 土壌モニタリングと水モニタリングプロットの設定と管理

土壌 pH 測定では土壌を採取して測定する、すなわち破壊調査を行うことになる。したがって、継続的な土壌 pH モニタリングでは毎回違った場所で土壌採取をする必要があり、ある程度の広がりを持ったプロットを設定する必要がある。この点を前提に付属資料 Figure-2 に示したように長さ 2~3m、幅 1~2m の長方形のプロットを設定した。

加えて、TAJでは植え穴中の土壌 pH をモニタリングすることとしたが、このモニタリングポイントは同じ植栽処理区の植え穴(16 本)を順次モニターすることとした。また、土壌物理性のモニタリングも pH の変化との関係の有無と程度を把握することも想定して、この pH モニタリングプロットに隣接して行うこととした。

水 pH モニタリングポイント AGM では 2011 年度モデル林隣接地 2 地点及び 2012 年度モデル林隣接地 1 地点、TAJ ではモデル林内 1 地点と隣接地 1 地点を水 pH モニタリングポイントとして設定した。

これらのモニタリングプロットは写真(付属資料 Photo 4)に示したように 4 角の長い方の両側を耐久性の高い Melaleuca 材でマーキングし、識別テープによってプロットを管理することとした。また、植え穴土壌 pH モニタリングポイントは、対象とした植栽処理区の入口右手前の植え穴に Melaleuca 材によってマーキングし、識別テープによって管理し(付属資料 Photo 5)、水 pH モニタリングポイントは水辺に Melaleuca 材を打ち込み、識別テープで管理することとした。

杭と識別テープはモニタリングの度にチェックし、特に光による劣化や変色が起こりやすい識別テープは毎年更新する。

2. 土壌と水のサンプリング、pH 測定及び記録

(1) サンプリング:

土壌 pH の変化は空気に接している表層から進んでくると考えられるので、深さ毎にサンプリングすることとした。対象深度として 0~10cm、10~20cm 及び 20~30cm を設定した(付属資料 Figure-2)。pH 測定に必要な土壌量は 10g、繰り返しを行った場合は 20g であるので写真(付属資料 Photo-6)のように土壌オーガーによる採取法を採用した。なお、その際通常のオーガーでは硬堅土壌のため採取困難であるため、特別仕様の細身オーガーを採用した(付属資料 Photo 7)。

サンプリングは同じ地点での繰り返しを避けるために採取地点を毎回変えて行う。サンプリングの際、コンタミネーションを避けるためにオーガーの土壌採取部位の上部 5cm を除いてサンプリングする(付属資料 Figure 3)。採取試料は 50cc 容ファスナー付きビニール袋にプロット名、採取深及び採取日を記入して実験室に持ち帰る。

これらの通常のプロットにおけるサンプリングに加えて、TAJ では植え穴土壌採取プロットを設定し、この場合のサンプリングもオーガーで 0~10、10~20 及び 20~30cm の部

位で行うが、オーガーを挿入する場所は植栽木から **10cm** 程度離れたポイントととした。 水 pH の試料は水面下 **5cm** 程度以下の部位で採取する。採取されたサンプルはプロット名と採取日を記入した **30~50cc** 容の広口プラスティック瓶に採取して持ち帰る。

土壌 pH 試料のサンプリング頻度は、pH 変化がそれほど急激ではないと推定したこと から 4 ヶ月毎にモニターすることとした。なお、第 1 回の計測が 2012 年 5 月に実施され たことから、今後プロジェクト終了まで、毎年 5 月、9 月、1 月にサンプリングすること となる。水 pH については土壌と同じ時期に加えて、随時測定することとした。

(2) 測定:

土壌 pH は実験室に持ち帰った後、可能な限り速やかに測定する。測定法として、10g の土壌試料を $30cc\sim50cc$ 容広ロプラスティック瓶に量り取り、25cc の純水を加えて振とう・攪拌して土壌粒子を分散させ、 $10\sim30$ 分程度放置した後、pH メーターで測定する。また、振とう後の放置時間は 10 分とした。なお、pH 測定直前に 5 秒間激しく振とうする。pH は小数点第二位(0.01 水準)まで読み取りたとえば pH5.36 のように記載する。水 pH は採取容器に入ったまま測定する。

(3) 土色計測:

土壌 pH の計測と同時に土壌の色をチェックする。なぜならば Pyrite を含む土壌は 10YR5/2 より青・黒灰色であることが多く、地表被覆に使われる森林土壌は黄色~赤色、 Pyrite が酸化されてできる Jarosite は鮮やかな黄色、酸性化が進んだ土壌は白色など、採炭跡地の土壌や埋め戻し材料は色に特徴があることが多い(写真-3, 写真-4 参照)。今後の pH の推移は色に反映される可能性もあり、土壌管理技術マニュアルを最終的に作成する 場合の優れた指標ともなり得るので本モニタリングマニュアルに加えることとした。

(4) 記録:

測定データは別添した土壌 pH モニタリングシートに基本データとして記入する(添付 資料-1)。同時に EXCEL ファイルにモニタリング時期毎に記入し、保存・加工する。

水 pH については、サンプリングと測定が容易であることから土壌 pH 測定の頻度に必ずしも従う必要がないので、前述のように土壌 pH 測定時に加えて適宜測定することとする。その場合は測定日を必ず記録する。データについては水 pH モニタリングシートに基本データとして記入し、あとは土壌 pH データと同じ処置をする(添付資料-1)。

また、土色は土壌 pH モニタリング基本シートに併記する。これらのデータはインドネシア側と日本側で共同管理する。

3. 各試験地における詳細計画

(1) AGM におけるモニタリング計画

前述したように AGM においてはモデル林面積として 5ha が設定された。この全体のほ

ぼ半分が埋め戻し後の森林土壌被覆部分となっている。

土壌と水 pH モニタリングプロットの設定区分:

土壌 pH モニタリングプロットは、この AGM モデル林地全体で 20 プロットとした。 20 プロットの内訳は、埋め戻し部分に 10 プロット(付属資料 Photo 8)、埋め戻し後森林 土壌被覆部分に 10 プロット(付属資料 Photo 9)設定した。また、水 pH モニタリングポイントは隣接地に 1(付属資料 Photo 10)、試験地を一部の流域とするため池に 1(付属資料 Photo 11)、さらに 2012 年度予定地の隣接地に 1(付属資料 Photo 12)、合計 3 地点を設定することとした(表-1)。

土壌 pH モニタリングプロットの配置:

全体のモデル林には 15m×15m の植栽区(植栽木: 4 本×4 本)が設定され、8 種類の樹種区、施肥等の処理区が設定されている。なお、詳細は別途植栽計画の項に示されているのでここでは省略する。これらの植栽区を勘案しながら、これらの埋め戻し部分と埋め戻し後森林土壌被覆部分にモデル林全体でなるべく均等になるように pH モニタリングプロットを配置した(付属資料 Figure 4)。

表1 AGM 地区の土壌 pH モニタリングプロット

プロット	モニタリングプロット(プロット名)
埋め戻し区	1 0 (Plot A1~A10)
埋め戻し後森林土壌被覆区	1 0 (Plot A11~A20)
水 pH モニタリングポイント	3 (Plot Aw1~Aw3)

(2) TAJ におけるモニタリング計画

TAJでは 3.5ha がモデル林として設定された。すでに述べたように TAJ の埋め戻し材料は 2003 年に採炭された後、採炭地に放置されていたもので、AGM のように森林土壌による被覆はここでは行われなかった。そのかわり土壌物理性改良のために全体の半分程度に表層 15cm 程度リッピング(Ripping、掻き起こし)処理が行われた。また、植栽時に他の場所から持ち込まれた森林土壌が混和された植え穴処理が一部に行われた。

土壌と水 pH モニタリングプロットの設定区分:

土壌 pH モニタリングは全体で 24 プロット設定した。内訳は埋め戻し地に基本となる 土壌 pH モニタリングプロットを 10 プロット、加えて植え穴の各処理に対応したプロットを 14 プロット設定した。埋め戻し地の 10 の基本となる土壌プロットは通常の部分に 5 プロット、埋め戻し後リッピング処理部分に 5 プロットを設定した。

これらの通常のプロットの他に植え穴に森林土壌を混和したプロットを、リッピング地に 4、掻き起こしをしていない場所に 3、合計 7 プロットを設定すると共に植え穴に森林

土壌を混和しないプロットをリッピング地に 4 , リッピングしをしていない場所に 3 、合計 7 プロットを設定した。

水 pH 測定プロットは、試験地内の池に 1(付属資料 Photo-13)、試験地外ではあるが入口の池に 1, の合計 2 プロットを設定した。

表2 TAJ 地区の土壌 pH モニタリングプロット

プロット(全体が埋め戻し区)	モニタリングプロット(プロット名)
埋め戻し後リッピング区	5 (Plot T1~T5)
埋め戻し区	5 (Plot T6 ~T10)
リッピング後森林土壌植え穴被覆区	4 (Plot T11, T12,T13, T17)
リッピング後森林土壌植え穴非被覆区	4 (Plot T14, T15, T16, T18)
非リッピングー森林土壌植え穴被覆区	3 (Plot T21, T22, T23)
非リッピングしー森林土壌植え穴非被覆区	3 (Plot T19, T20, T24)
水 pH モニタリングポイント	2 (Plot Tw1, Tw2)

土壌 pH モニタリングプロットの配置:

TAJ 試験地も AGM 試験地と同様 15m×15m の植栽区(植栽木:4本×4本)が設定され、8 種類の樹種区、施肥等の処理区が設定されている。モニタリングプロットのうち通常のプロット、10 プロットについては全体を網羅する形でなるべく均等に配置した。植え穴区のプロット、14 プロットについては生存率との比較を考慮して、プロットの植栽樹種がなるべく同じになるように、また配置が適度に分散するように配置した(付属資料Figure 5)。ちなみに選んだ樹種は他の石炭採掘跡地で実績が多いマンギウム(Acacia mangium)とマホガニー(Swietenia macrophylla)で、同一種処理区の重なりが多い場合は他の種、たとえばテンブス(Fagrea fragrans)を選んだ。

資料 モニタリングプロット設定及び土壌·水 pH モニタリングに必要な資材:

[プロット設定]

木製杭 長さ:1m. 直径 2cm、Melaleuca 材

プロット識別テープ ビニール製識別カラーテープ

唐ぐわ 硬堅土壌用細身・重量タイプ(クワ重 - 1kg)

[pH 及び土色モニタリング]

(野外資材)

土壌オーガー 長さ:1m, 挿入部分: 二重刃試料採取-φ2cm (細身型)

大起理化製

土壌試料保存袋 50cc ビニール袋ーチャック付き

土壌識別ラベル 小型粘着ラベル

土色帳 マンセル型藤平工業製土壌肥料学会監修タイプ

(実験室)

pH メーター 現場測定可能タイプ(移動型)

上皿天秤 精度 0.1g、現場測定可能タイプ

ピペット 5 ml ~ 20ml 容で合計 25ml が可能になるように

広口瓶 **30cc** 容プラスティック瓶(内蓋付き)

洗ビン 100~300cc 容 - 現場対応型

純水 蒸留水でも可

1-3) 土壌硬堅度・圧密度モニタリング

土壌の硬さや緻密さは作物や植栽樹木の成長・成育と生存に強く結びついている。採炭ー埋め戻し地は重機による埋め戻し・填圧と森林土壌被覆が頻繁に行われるので(写真-2)、オーガーや通常の鍬がそのまま貫入出来ない程の堅さとなっているし、土壌構造が破壊された結果、水がほとんど浸透できない程緻密となっている。この堅く緻密な土壌はおそらく植栽木の成長・生存に大きく影響すると考えられる。

植生が植栽、侵入による根の発達・展開、さらに根や落葉添加に起因する土壌動物や微生物等の土壌生物相の発達や、湿潤・乾燥の繰り返しによる土塊の崩壊などに伴って表層から土壌構造が時間とともに発達し、、こうした堅く緻密な土壌の状況は、徐々に変化すると考えられる。この膨軟化は植栽木の定着や成長を助け、根の発達、有機物添加の加速をすすめ、さらなる土壌の膨軟化を加速する、と考えられる。ただ、この膨軟化が何が引き金となって、いつ始まるか、いつになったらどの程度の柔らかさになるか、などは明らかでない。

そこで、土壌の硬さと緻密さの変化を土壌硬度、水分含量及び容積重をモニターすることによって解析することとした。なお、土壌の硬度は土壌硬度計、土壌水分含量と容積重は 100cc の採土円筒を使う方法によって計測する(付属資料 Photo 14 及び Photo 17)。

1. プロットの設定とサンプリング方法

プロットは AGM 試験地と TAJ 試験地の両試験地に設定した。

具体的な設定プロットは両試験地の埋め戻し地にそれぞれ 5 プロット、AGM の森林土壌被覆地に 5 プロット、TAJ のリッピング地に 5 プロットである。両地区のプロットの配置は図に示したとおりである(付属資料 Figure-5 及び Figure-6)。なお、これらのプロットは土壌 pH モニタリングプロットと同じ位置とした。したがって、プロット番号は pH モニタリングプロット番号に Soil Compaction の c を付して、たとえば c-1、c-16、c-1 や c-9 のように命名した。

AGM ではすべての pH モニタリングプロットが選ばれているわけではないので欠番があることに留意する。TAJ では基本土壌 pH モニタリングプロットに限定しており、T-11~T-24 の植え穴プロットは選んでいないことに留意する。

表3 AGM・TAJ 両試験地の土壌硬堅・緻密度モニタリングプロット

試験地	処理	プロット数(名称)
AGM	原土埋め戻し区	5 (Ac-1, Ac3, Ac-4, Ac-6, Ac-10)
AGM	森林土壌被覆区	5 (Ac-11, Ac-12, Ac-16, Ac-17, Ac-19)
TAJ	原土埋め戻し区	5 (Tc-1, Tc-2, Tc-3, Tc-4, Tc-5)
TAJ	原土埋め戻し+リッピング区	5 (Tc-6, Tc-7, Tc-8, Tc-9, Tc-10)

このモニタリングは付属資料の写真 Photo-16 に示したように比較的広い範囲を使った破壊調査であるので、コンタミネーションを避ける意味から、pH モニタリングプロットからは標高の低い、少し離れた場所でサンプリングすることとした。

円筒試料は pH データとの比較も考慮して、pH 試料と同じように 0~10cm、10~20cm 及び 20~30cm の部位で採取することとした。円筒試料で測定する項目としては、土壌水分と 容積重である。また、円筒採取時に物理的な堅さを硬度計によって測定する。

土壌硬堅度・緻密度のモニタリングは年 1 回とし、2012 年度は 11 月に実施した。したがって、2013 年度以降も 11 月に計測することが望ましい。

2. 測定方法と結果の記載

まず深さ約 40cm 程度の土壌断面を掘る(付属資料 Photo16 参照)。0~10, 10~20 及び20~30cm の 3 層を区分する(付属資料 Photo-18 参照)。次いで山中式土壌硬度計で硬度を測定する(付属資料 Photo-17)。硬度測定は各層 5 回の繰り返しとする。5 回の繰り返しの中から上下 2 点のデータをのぞいた 3 点の平均を「土壌硬度」として記載する。

次に各層に基本的には水平方向にサンプリング補助器を使って採土円筒を打ち込む(付属 資料 Photo-15)。この際、石礫が多い場合もあり、ばらつきがあると考えられるので、円筒 は同じ層で 3 回繰り返し採取することとする(付属資料 Photo-18 参照)。なお、石礫が多い場合は水平方向に円筒を打ち込めない場合があり、その場合は垂直方向に打ち込んで採取する。

円筒は注意深く土壌断面から採取し、正確に 100cc にするためにナイフを使って上下面から余分な土壌を除去する(付属資料 Photo-19)。なお、両調整面に石礫のためにくぼみが発生した場合は同じ層の試料によって充填し、正確に 100cc とする。次いで正確に 100 cc 調整した円筒内の土壌を注意深くファスナー付きビニール袋に移す。同じ層の 3 個の円筒を同じビニール袋に移すので、採取された土壌は 300cc となる。なお、ビニール袋に移す際には円筒内部壁面に付着する土壌をなるべく全て移す。持ち帰って土壌水分を測定するので水分蒸発を防ぐため、ビニール袋は二重とする。

サンプリングと平行して土壌硬度、土壌水分及び容積重を計測するための実験室ノートを準備する(添付資料-2)。

<湿潤、風乾試料の秤量>

実験室では最初に各層毎の湿潤円筒試料重 (Wm) を 0.1g の精度で測定し、実験室ノートに記載する(Wm = 300cc 円筒試料湿潤重)。

測定後、試料はバットなどに広げて室温で一定重量になるまで風乾し、重量を 0.1g の 精度で実験室ノートに記載する (Wad=300 cc円筒試料風乾重)。

<石礫の篩別と秤量>

風乾全重を測定したら、2mm の篩を使って石礫と 2mm 以下の土壌部分(風乾細土)

を篩別し、篩別した石礫部分は水洗して土壌粒子を取り除いた後、105°Cで48時間(もしくは恒量に達するまで)乾燥させる。乾燥後、礫絶乾重を0.1gまで測定し記録する(Wg=礫絶乾重)。

[注意:硬い、緻密な試料の場合は生乾きの時に土塊をほぐしておく]

<風乾細土の水分係数測定と細土絶乾重>

風乾土重を絶乾重に換算する際に用いる風乾系数(Mf)を以下の手順で求める。

石礫を除いた風乾細土約 20g 程度を、ガラスもしく磁器製の容器 (0.01g 精度であらかじめ重量測定しておく (Wv)) に入れ容器と土壌試料の合量を 0.01g の精度で秤量・記録 (Wbef) した後、105° C で 24 時間 (もしくは恒量に達するまで) 乾燥させる。乾燥後、絶乾重を 0.01g まで秤量・記録し (Waft)、水分係数 (Mf) を以下の式で求める。

$$Mf = (Waft - Wv) / (Wbef - Wv)$$

更に細土絶乾重 (Wod) を以下の式で算出する。

Wod =
$$(Wad - Wg) \times Mf$$

<風乾細土ならびに石礫の真比重測定とそれぞれの体積の計算>

風乾細土と石礫の真比重を(それぞれ \mathbf{SG} s および \mathbf{SG} g) ピクノメーター法によって 測定する。

また、風乾細土と石礫の体積(それぞれ Vs および Vg)を下の式で計算する。

<細土容積重の算出>

細土容積重(BD)を以下で計算する。

$$BD = Wod/(300-Vg)$$

<孔隙率と体積含水率>

円筒試料中の孔隙量(個相以外の部分)を表す孔隙率(Vp)を以下の式で計算する。

$$Vp \ (\%) = \{ (300-Vs-Vg) /300 \} \times 100 \}$$

更に体積含水率 (Mc) を以下の式で計算する。

Mc $(v/v \%) = \{(Wm - (Wad \times Mf) / 300)\} \times 100$

繰り返すが、この解析で得られた数値はこのマニュアルに添付されている実験室ノートにすべて記録される。この実験室ノートは毎年別のノートを使用する。この実験室ノートとは別に各年の土壌硬堅・圧密度に関するデータは Excel ファイルで加工する。

実験室ノートと Excel ファイルは Lambung Mangkrat 大学と JIFPRO の両組織で保存される。なお、正文は Lambung Mangkrat 大学に置く。

資料 土壌硬堅・圧密度モニタリングに必要な資材リスト

前提として、各プロットは相応する土壌 pH モニタリングプロットに隣接する。かなり 広い範囲での破壊調査のため、新規プロットが必要な場合は、プロット設定のための資材 が必要である。

[新規プロット設定時]

木製杭 長さ:1m, 直径:2cm、Melaleuca 材か同程度の耐久性

プロット識別テープ 赤色無接着プラスティックテープ

[サンプリングと野外調査]

唐ぐわ 細身・重量タイプ (鍬重 - 1kg)

採土円筒 **100cc** タイプ

採土補助器 100cc 採土円筒用補助採取器

ハンマー 少し重めのタイプ

ナイフ 円筒両面の調整用(細身が便利)

土壌コテとハサミ 土壌断面調整

土壤硬度計 山中式土壤硬度計

サンプル用ビニール袋 **200cc** チャック付きビニール袋

サンプル識別ラベルビニール袋添付用土色帳マンセル式土色帳

土壌硬度・土色記録野帳 特に形式は決めない

[実験室]

上皿天秤 ポータブルタイプで 0.1g 精度

乾燥バット 採取サンプル風乾用

篩 直径 2mm 篩

乾燥試料保存袋 200cc 容チャック付きビニール袋

サンプル識別ラベル 乾燥試料ビニール袋添付用

乾燥機 風乾試料 105°C 乾燥用

乾燥皿 風乾試料(約 20g)絶乾用

石礫容量計測計 大学備品で形式は?

実験室ノート 添付資料参照

2) Soil Monitoring Manual in the Coal Mining Area (Draft)

Osumi Y. & Nakama E. (JIFPRO),
Ohta S. (Kyoto Univ.)
Fakhrur R. (Lambung Mangkurat Univ.)

2-1) General Understanding for the Manual]

1. Targets of this manual

- 1) To examine timing & trigger of acidification of re-filled materials in coal mining areas
- 2) To examine expansion of acidification with time
- 3) To examine difference & potentiality of acidification in materials
- 4) To examine soil compaction by refilling operation of
- 5) To examine easing of compaction with time

2. General understanding of soil properties in coal mining areas

Coal is usually found in past fossil layers under ground in various ages. According to the encyclopedia, the coal is usually formed under water, particularly at sea coast with shallow depth such as mangrove forests. Layer(s) of organic residue deposited on the sea coast is(are) buried by crustal deformation and/or soil sedimentation by transportation of soil material by rivers. These layers are sometimes formed in several times in various ages as shown in Photo.

In Indonesia, as coal is commonly mined from imbedded layers under various geological beds, vast amounts of ancient materials above the coal layers are left in the coal mining areas as shown in Photo. These remained deposits are usually marine derived materials and, therefore, they frequently contain sulphur compounds, mainly Pyrite (FeS2).

In Indonesia, laws order to the mining companies to rehabilitate the mined areas just after mining. Many of companies make smooth the mined land by refilling of remained materials for forest rehabilitation as Figre. 1.

If the materials contain sulphur compounds such as Pyrite, sulphuric acid will be produced by following equation when the materials are exposed to air;

$$FeS_2 + 15/4 O_2 + 14/4 H_2O = Fe(OH)_3 + 2H_2SO_4$$

The sulfuric acid formed from the original materials makes soil extremely strong acidic. The acidic condition is very high barrier for forest rehabilitation of the areas. Just after refilling, materials are alkaline because the original materials are marine origin. With time,

acidification of the materials is proceeding. We try to find out the timing and intensity of acidification when we rehabilitate the areas. Therefore, we will monitor soil pH in various points in coal mined areas. Monitoring points are set on the refilled and smoothed areas for rehabilitation as illustrated in the Photo 1 and Figure 1.



Photo 1 Land surface of a part of TAJ Experimental Site

Note: Land surface is covered by grayish-blackish materials and yellowish materials in TAJ Experimental Site. pH of yellowish materials is lower than that of gray-blackish materials which will be fresh marine materials. Soil monitoring points are set on the grayish parts and yellowish parts.

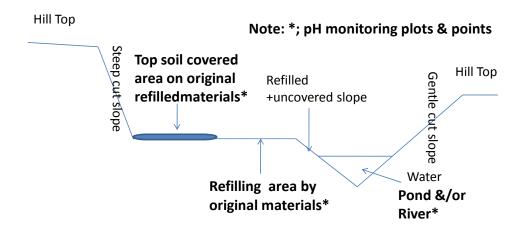


Figure 1. Sites for soil monitoring in coal mining area

3. Site selection and setting of soil monitoring plots

Coal mining is very intensive in South Kalimantan Province of Indonesia. We selected

monitoring sites from the province.

There are very wide varieties of mining companies in the province. Some of companies are very slow to refill the mined materials for forest rehabilitation after mining because refilling is very costly. Other companies are very quick to do for forest rehabilitation after mining because rehabilitation on fresh materials would be easier than that of old materials..

Then, we selected two types of mined areas which are refilled by old mined materials and by very fresh materials for monitoring sites. First site is the mining site by PT. Tanjung Alam Jaya Company (TAJ) and second site is by PT. Antang Gunung Meratus Company (AGM). The site by TAJ had been mined in 2003 and refilling for forest rehabilitation was conducted in 2010. On the other hand, the site by AGM has been mined in 2010 and refilling for forest rehabilitation was 2011. Monitoring plots are set on a part of the refilled areas of TAJ and AGM.

In these coal mining areas, many companies use the upper part of the soil layers so-called "top soil" (A to C horizons of forest soil before mining) over the refilled materials. The "top-soil" doesn't contain much of sulphur compounds. Therefore, the top soil is free from acidification. Then, the soil is frequently overlaid on the refilled materials in majority of companies for easing rehabilitation after mining in spite of the high cost. One of our targets of the project is to understand whether the forest rehabilitation is possible without overlaying of top soil or not.

In our trial, top-soil dressing is conducted in the sites of AGM. But, top-soil dressing is not conducted in the sites of TAJ because the materials of top-soil are not available. We set soil monitoring points on the refilled area with top-soil cover and without top-soil cover at the site of AGM. In TAJ, as small amounts of the materials of top-soil is applied to some of soil pits which are transported outside of the areas. Then, we set some pH monitoring point in the planting pits with top-soil and without top-soil.

In addition to the difference of soil acidification by the materials, we should notice on soil compaction when we rehabilitate the areas.

Material refilling after mining is usually conducted by frequent loading of very heavy vehicles. Therefore, it is very common that the refilled materials are hardened and compacted by this refilling operation. By this hardening and compaction, water permeation into the refilled materials is usually very limited. Limited permeation would affect to water and nutrient supply to planted trees.

In the agriculture sector, they usually introduce ripping for improvement of hard and compacted soil for easing water permeation to get well growth of plants when they grow crops. In this trial, we will introduce ripping. Then, we had better know how ripping affects to soil physical conditions, particularly, to the conditions of water permeation. And moreover, the improved soil physical conditions affects to the growth of planted seedlings

and the changes of acidification. From these points, we would monitor the changes of physical conditions of soil with years and by ripping.

As a result, we set soil monitoring plots as follows: At AGM Experimental Site; ①covered by top soil on the original refilling materials and ②without cover of top soil which is equivalent to original refilling materials in AGM Experimental Site, and At TAJ Experimental Site; ①the original refilling materials with ripping, ②the original refilling materials without ripping, ③top soil dressed planting pit with ripping, ④top soil dressed planting pit without ripping, ⑤no top soil dressed planting pit with ripping and ⑥no top soil dressed planting pit without ripping in TAJ Experimental Site. We determine soil pH and soil compaction in the treatment ① and ② in AGM Experimental Site, and the treatment ① and ② in TAJ Experimental Site. Plots of treatment ③, ④, ⑤ and ⑥ in TAJ Experimental Site are determined only soil pH (Photo-2 & 3).



Photo-2 Ripping site and noripping site

In TAJ, soil is very hard and very compact.

Improvement trial of aeration and water permeation of soil is tried by ripping.

Right side is ripping area and left side is no-ripping area.

Photo-3 pH plots of planting pits

In TAJ, top soil dressing is not conducted because of difficulty of soil supply. Instead of topsoil dressing, topsoil is filled in some planting pits. This photo shows top soil mixed planting pits.

In same treatment site, we set about 5~10 soil monitoring plots with considering differences of surface materials such as soil color, texture, and other distinctive differences (later described in detail).

In addition to the monitor plots, we set several monitor points of water pH in or near the both Experimental Sites.

2-2) Soil and Water pH Monitoring]

1. Setting of soil pH monitoring plots and water pH monitoring points

As illustrated in Figure 2, soil pH plot are set in the size of 1~2m in vertical and 2~3m in horizontal dimensions for continuous sampling because sampling points move in every time for avoiding contamination. Each plot would be demarcated by woody rods (small GALAM wood is preferable) with taping by plastic tape in 2~4 corners (Photo 4 and 5).



Photo 4 Soil pH monitoring plot

As illustrated in Fig.1, pH monitoring plots are marked by 2 poles with red flags. Soil is sampled between two poles. Distance between poles are usually 3m. This photo is a plot of claystone refilled site in AGM.

Photo-5 Naming of plots

Every plot is named and marked by plastic tape with the name of plot. Although the tape should be durable for 2~3 years, it renewed in every year. This tape shows the plot No.19 in TAJ Experimental site.

As soil is hardened and compacted by heavy vehicles, acidification would be slowly progressed in deeper soil. Then, we would monitor pH of soils from $0\sim30$ cm in depth. During the project period, if acidification proceeds below 30cm in some points, soil would be monitored below 30cm.

Water pH monitoring points are also set in or nearby both experimental sites. Monitoring points are selected permanent or casual ponds or streams.

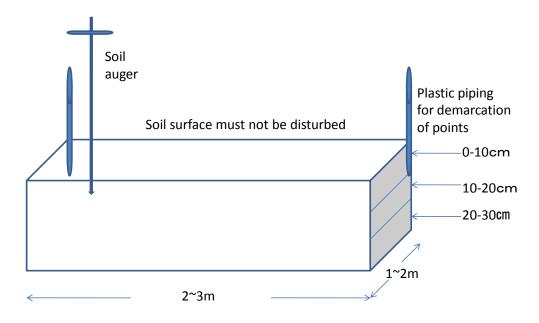


Figure 2. Image of soil monitoring point and soil collection method

2. Soil and water sampling

Soil samples are collected in every 10cm as mentioned above by screw auger (ϕ 2 cm)(Photo-6). Samples collected are put in a plastic bag and brought back to a laboratory. When we take samples of 10~20cm-and 20~30cm, soil of upper parts of auger (upper 5cm) will be removed for minimizing contamination as illustrated in the Fig. 3. The samples are taken in a plastic bag.

Water samples are collected by the 30 or 50cc plastic bottle from designated sites in every measuring time.

Water samples are taken by 10cc pipette from 5cm below surface of waters.

Over 30 cc is suitable for water samples.



Photo 6 Sampling by auger

The auger is the special screw auger which is adjusted to hard soil. The length of the soil collecting part is about 15cm.

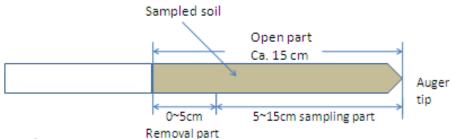
Samples are collected from tip~10cm part.

Therefore, soil upper 5cm of collecting part is removed from samples for minimizing contamination as illustrated in Fig.3.



Photo 7 Special auger for hard soil

This auger is made by Daiki Co., specially focused to hard and compact soil. Diameter of the tip is only 2cm.



Procedure:

Drill the auger

Remove soil for keeping contamination out by knife (from 0cm to 5cm, 5cm to 10cm & 15cm to 20cm).

Each collected sample is kept in plastic bag.

At laboratory, 10 g of soil is vigorously shaked with 25 ml of water for 30 sec., after keeping 5^30 min., measure pH after vigorous shaking for 5 sec..

Remained soil samples should be stored for further determination.

Figure 3. Collection of soil samples by the auger

3. pH measurement

pH is measured by the pH meter.

10 g of wet soil sample is taken to the 30 or 50 cc plastic bottle just after collection.

25 cc of water is added to the plastic bottle.

The Soil-Water mixed sample is vigorously shaken for 30 seconds by hand or 30 minutes by. the shaking machine.

After 30 second shaking, we wait for 5~10 minutes.

Then, pH is measured after vigorous shaking of 5 seconds.

The pH is recorded at 0.1 level to the field note.

pH of water sample from ponds or rivers is measured just after collection and recorded at 0.1 level to the field note.

The data of soil pH and water pH is transcribed to the pH monitoring sheets which are attached in this manual.

4. Measurement intervals and data recording methods

pH is measured in every 4 months, January, May and September.

Each sample is named in following system.

Site – plot – point – depth – date as described in the pH monitoring sheets.

Plots in the area of AGM (PT Antang Gunung Meratus) are explained in the Table 1 and these of TAJ (PT Tanjung Alam Jaya) are in the Table 2.

Tab. 1 Soil monitoring sites of PT. Antang Gunung Meratus

Monitoring sites

Refilled plots by original materials 10 plots*
Top soil covered plots on original refilled materials 10 plots
Water 3 point

Note: * including 2 plots of previous top soil (A6 & A7) of which soil color is yellowish

Monitoring interval:

every 4 months – May, September & January pH should be measured in the last 10 days of the months noted above or early next month.

Tab. 2 Soil monitoring in sites of PT. Tanjung Alam Jaya

Monitoring sites

Original refilling materials without ripping 5 plots
Original refilling materials with ripping 5 plots
Planting pits in ripping area 8 plots*
Planting pits in no-ripping areas 6 plots*
Water 2 point

Note: * including the topsoil refilled planting pits

Monitoring interval:

every 4 months – May, September & January pH should be measured in the last 10 days of the months noted above or early next month.

Measured pH is recorded on the field note at measuring time. The data will be recorded on the Monitoring Sheet attached in this manual or recorded in Excel file on the computer (Appendix 1).

This electronic data will be co-held by Indonesian side and Japanese side.

Water pH is also recorded on the Monitoring Sheet attached and stored in the Excel file on the computer (Appendix 2).

5. Detail plan for soil and water pH monitoring in each Experimental Site

We selected two sites as the experimental sites, AGM and TAJ.

AGM is freshly refilled in 2011-2012 by fresh materials mined in 2010-2011.

TAJ had been mined in 2003. But, refilling has been done in 2011. Therefore, materials of TAJ are 8 year-old.

In reflecting difference of the history in two sites, pH of some samples from AGM was high in around 7 by quick tests. On the other hand, yellow soil some times showed pH3.7 and gray-black soil showed over pH7 in TAJ. It means that acidification has been started in some parts of TAJ, but not in AGM.

(1) Monitoring plan of AGM

In AGM, about 15ha of the area is selected for the experiment for forest rehabilitation.

Selected areas have two types of the land form; one is covered by top soil. And the other is without top soil (Photo-8 & 9).

Soil plots are selected in top soil covered area and non-covered area.

Soil monitoring plots are selected in these areas as showed in the table (Table 3).

Table 3 Soil monitoring plots in AGM Experimental Site

Plots (All are refilled area)	Monitoring Points (Plot name)
Claystone refilled plots	10 (Plot A1~A10)
Top soil dressed clay stone refilled plots	10 (Plot A11~A20)
Water pH Monitoring	3 (Plot Aw1~Aw3)

These soil monitoring plots are plotted in even way as illustrated in figure 4.



Photo-8 Refilled site by original materials

All areas of TAJ and southern parts of AGM are exposed by original refilled materials.

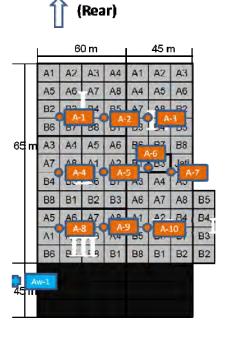
As materials derived from marine deposits, initial pH is alkaline. However, the pH would be supposed to change to strong acidic, gradually.

Photo-9 Topsoil dressed site

In AGM, almost half of the sites are dressed by former soil material before mining.

The materials are surface soil and sub-soil of former forest soil.

Therefore, soil pH is ranged to 4~6 because former soil is categorized as Acrisol.



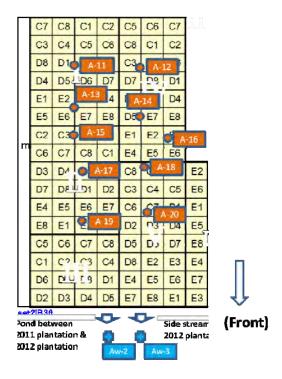


Fig. 4. pH Monitoring plots in AGM Experimental site

Note: Code A1~E8 is plot number of planting treatment.

A1~A10; Plots on original refilling materials

A11~A20; Plots on the area of top soil covered

Aw1~Aw3; Water pH monitoring points

In the experimental plots, soil materials vary in wide range because of artificial refilling. Soil pH will vary with reflecting quality of refilled materials. According to preliminary test, gray colored materials were high in pH, and yellow colored materials were very low in pH or slightly acidic. Gray materials are derived from marine deposit. Yellow materials are oxidized gray material which is very acidic, or are soil layers of previous forest soil of Acrisol which is slightly acidic. Therefore, we examined soil color for understanding on correlation between soil color and acidity when we examine soil pH.

In addition to the soil pH monitoring points, we monitor 3 points of water pH at the lower pond and the river beside experimental site (photo 10~12).



Photo-10 Small river along the edge of AGM Site (Aw1)

This river would be permanent river. Aw1 plot is set in this river just outside of Experimental Site(to refer Fig.4). Water looks acidic.

But, it is still neutral in May, 2012.



Photo 11 Pond of the entrance, AGM Experimental Site (Aw2)

Water comes from both from the forest site of left hand side and from our Experimental site of right hand side. Down stream of Aw1.

Aw2 is located just south of the tube for drainage where is located on lowest point.



Photo 12 Side pond of proposed area of AGM for 2012 JFY (Aw3)

Water comes through deposits of left parts of the photo. This area is proposed for our experimental site for 2012 JFY. Water is acidic even if the materials are formed in 2010. Therefore, acidification may start soon after exposure.



This pond will be formed by casual water. If water is available in measuring time, water pH should be measured and recorded as the Tw1 point.

As illustrated in plot location map, Tw2 is located on the entrance of the TAJ Experiment Site.

This Tw2 is also set in the small pond by casual water.

(2) Monitoring plan of TAJ

In TAJ, about 3.5 ha of the area is selected for the experiment for forest rehabilitation in 2011 JFY. The area is refilled in 2011 although the materials had been produced in 2003. As shown in Photo-1, this experimental site is almost flat in micro relief. As soil is very hard and compact, water drainage would be very slow. This slow drainage may affect to survival and growth of planted trees. Therefore, we would examine effect of ripping to seedling survival and growth (Photo 2).

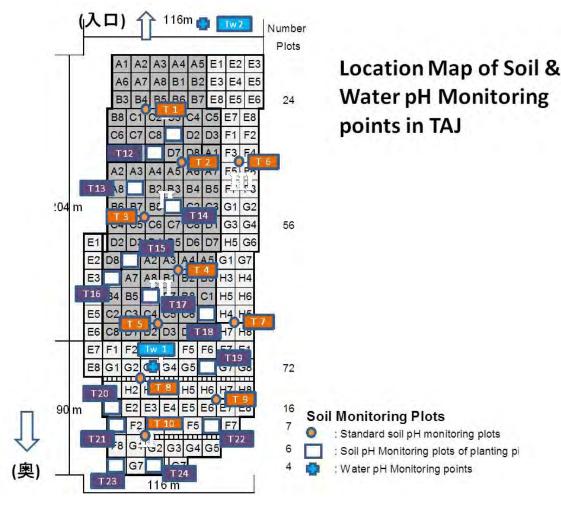
In addition to introduction of ripping, as top soil is not available near this site, we do not set the top soil dressed plots on the original refilling material areas. However, we set plots of top soil dressed planting pits (Photo 3).

Therefore, we set (1) control plots which are refilled plots with ripping and (2) same plots without ripping, at first, in this TAJ Experimental Site. In both plots, (3) plots of top soil dressed planting pits and non top soil dressed planting pits are set as shown in table 4.

Water pH in 2~3 points of pond nearby this TAJ Experimental Site is also determined (photo 13).

Table 4 List of Monitoring Points in TAJ Experimental Site

Plots (all are refilled site)	Monitoring Points(Plot name)
Claystone refilled plots with ripping	T1~T5
Claystone refilled plots without ripping	T5~T10
Plots of top soil dressed pits in ripping	T11, T12,T13, T17
Plots of top soil undressed pits in ripping	T14, T15, T16, T18
Plots of top soil dressed pit in without ripping	T21, T22, T23
Plots of top soil undressed pits in without ripping	T19, T20, T24
Water	Tw1, Tw2



Note: Code A1~G8 on original map are plots for plantation treatment.

Plots T1~T5; Original refilling materials with ripping

Plots T6~T10; Original refilling materials without ripping

Plots: T11~T18; Plots of planting pits with ripping

Plots: T19~T24; Plots of planting pits without ripping

Tw1~Tw2; Water pH monitoring points

Appendix: List of goods and materials for setting soil pH monitoring plots, Goods and materials for soil and water pH monitoring:

Wood poles L:1m, ϕ 2cm; Melaleuca wood or same equivalent for rusting

Marking tape for plots

Color plastic tape without glue

Hoe Narrow and heavy type (head weight - 1kg)

Soil color chart Munsell type

Soil auger length:1m, Head: double blade sampler- φ 2cm (Slender type)

Sample storing bags 50cc Vinyl bags with seal

Labels for sample names Small type pH meter Portable type

Weighing balance Portable type, 0.1g accuracy

Pipette 5 ml ~ 20ml

Wide mouth bottle 30cc for pH measurement

Wash bottle 100~300cc
Soil color chart Munsell type
Pure water Distilled water

2-3) Monitoring of Soil Hardness and Compactness

Soil hardness and soil compaction is closely related to growth and survival of plants. The mining areas are usually compacted by heavy machineries for refilling mining deposits as described before. Therefore, plant growth and survivals would be affected by soil compactness in the areas.

We will monitor soil hardness and compactness by using a Nakayama's hardness meter in soil profiles, and bybulk density y using 100cc soil sampling cylinders (Photo 14). We also selected the monitoring points both in the ripping sites and non-treated sites in TAJ to know effects of ripping to soil physical conditions.



For soil compaction analysis, a 100cc soil core is usually used for evaluating bulk density. This core which is used by us is made by Daiki Company, Japan.



Photo 15 Core sampler

When soil is hard and/or compacted, this supporting device of soil sampler is commonly used.
The soil cores are imbedded into

soil cores are imbedded into soil profile by hitting the sampler by hammer.

Then, the cores are recovered by the spade or the knife.

1. Plot setting and sampling method

Samples are collected from both AGM and TAJ sites.

5 plots are selected for operation of soil bulk density in normal refilled plots in both sites respectively. In addition to these normal plots, another 5 plots are selected in the top soil covered plots in AGM and the ripping plots in TAJ (Tab.5).

These 20 plots for soil compaction are set beside the soil pH monitoring plots.

Selected plots in both experiment sites are illustrated in Fig. 5 and Fig.6.

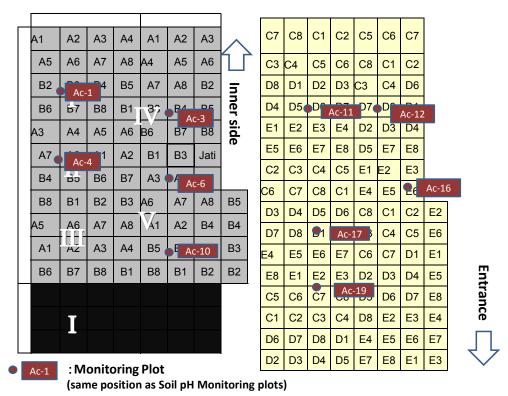


Fig. 5 Soil Compaction Monitoring Plots of AGM

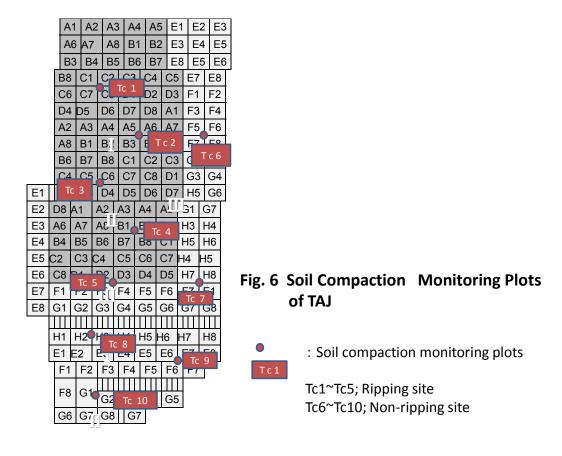


Table 5 List of Monitoring Points for Soil Physical Conditions

Site	Plot	Monitoring point
Antang Gunung Meratus (AGM)	Normal Refilled Plot	5 (Ac1~Ac5)
Antang Gunung Meratus (AGM)	Topsoil covered plots	5 (Ac6~Ac10)
Tanjung Alam Jaya (TAJ)	Normal Refilled Plot	5 (Tc1~Tc5)
Tanjung Alam Jaya (TAJ)	Ripping Plot	5 (Tc6~Tc10)

Core samples are collected from 0~10, 10~20 and 20~30cm in depth in each plot as same as pH samples. As soil sampling for this monitoring would disturb original soil conditions, sampling plots is set in the point where does not affect for pH monitoring.

Monitoring items are; soil hardiness, soil moisture content, bulk density

Monitoring interval is once a year in each plot, probably in November in every year.

2. Procedure

Soil is dug by 40cm in depth at least as shown in photo (Photo 16). Soil profile is divided into 3 layers of 0~10cm, 10~20cm and 20~30cm in depth as shown in the photo 18.

After arrangement of profile, soil hardness is measured by Yamanaka's Soil Hardiness Meter in this monitoring (Photo 17). Soil hardness is measured in 5 replications in each layer. These numbers are recorded on the field note.



Photo 16 Soil core sampling pit

Soil sampling plots are set nearby the soil pH monitoring plots.

Be careful not to disturb soil pH monitoring plots.

40cm × 40cm × 40cm of soil pit is dug by a hoe for collecting soil cores in each plot. The heavy hoe is usually easy to handle.



Photo 17 Soil Hardiness Meter

After smoothening the soil profile, soil hardness is measured.

In our monitoring, Yamanaka's type of the soil hardness meter is used.

After measuring soil hardness, three 100cc cores are imbedded into each soil layers in horizontal direction (Photo 18).

These cores are carefully taken out from the soil profile. For adjusting volume of the soil in the core into 100cc aculately, extra soil of both sides of the cores are carefully cut to remove by using a knife. If surface is concave, soil material in the same layer is used to filled and adjust to 100cc (photo 19).



Photo 18 Soil core sampling

Soil cores are imbedded in soil by using sampler and hammer.

Soil cores are collected in horizontal direction in the common case with 3 repetitions.

But, in the stony case, soil cores may be collected in vertical way.



Photo 19 Soil core preparation

Collected soil cores must be adjusted to 100cc, accurately. Therefore, both surfaces of the soil core are adjusted in level and smoothed by a knife.

When the surfaces are convex, mounded part must be cut. In the case of concave, the dips must be filled by soil in the same layer.

After arrangement of soil cores to 100cc, accurately, soil in these 3 cores in same layer is took out, and placed in a plastic bag together. For minimizing moisture loss, the plastic bag with zipper is recommended.

<Weighing moist and air-dry samples>

The soil samples collected using cores are weighed in a laboratory as soon as possible to avoid moisture loss. The moist (fresh) total weight of the sample (**Wm** is measured to 0.1g accuracy and recorded in the laboratory note.

The samples are air-dried under room temperature in a laboratory until the weights become nearly constant, and weighed at 0.1g accuracy (**Wad** = air-dry total weight of 300 cc

samples.

<Sieving of gravels and measuring the oven-dried weght >

After measuring **Wad** mentioned above, the samples are separated into gravels (>2mm) and fine soils (<2mm) by using a ϕ 2mm sieve. The separated gravels are washed in water to remove soil particles, and oven-dried at 105 °C for 48 hrs or until the weights become constant. After drying gravel weights are measured to 0.1g accuracy (**Wg** = oven-dry gravel weight).

[Note: As the samples are hard and compact, it is recommended to crush the clods in moist time for easier sieving when they get dry.]

<Determination of Moisture factor of air-dry soil sample and calculation of oven-dry weight of fine soil sample>

The Moisture factor to convert the air-dry weight of air-dry fine soil into oven-dry weight is determined as follows.

Approximately 20 g of air-dry fine soil sample is placed in a glass or porcelain vessel, of known weight (**Wv** with 0.01g accuracy) and weighed (**Wbef**) to 0.01g accuracy. After 105 °C for 24 hrs or until weights become constant, the weight after oven-drying (**Waft**) is measured (0.01g accuracy), and moisture factor (Mf) is calculated by the following formula.

$$Mf = (Waft - Wv) / (Wbef - Wv)$$

Then, oven-dry weight of fine soil contained in 300 cc (Wod) is calculated as follows.

$$Wod = (Wad - Wg) * Mf$$

<Particle density and volume of fine soil and gravel>

Particle density of fine soil and gravel samples (**SGs** and **SGg**, respectively) are measured by picnometer method in Lambung Mangkrat University. In case gravels were too large to place into a picnometer, gravel samples are crushed using a mortar and pestle.

Then, the volumes of fine soil and gravel fractions (Vs and Vg, respectively) are calculated by the following formula.

<Caluculation of fine soils Bulk Density)>

Bulk density of fine soil (**BD**), which represents the compactness of fine soil fraction, is calculated as follows.

$$BD = Wod / (300 - Vg)$$

<Calculation of pore space percentage and volumetric moisture content>

Porosity representing pore space percentage in a soil core sample (\mathbf{Vp}) (volume excluding solids) is calculated as follows.

$$Vp (\%) = {(300 - Vs - Vg) / 300} * 100$$

Then, the volumetric moisture content (**Mc**) is calculated as follows.

$$Mc (v/v \%)=[\{Ww-(Wad*Mf)/300\}]*100$$

These numbers are all recorded in the laboratory note attached in this manual.

Data arrangement and data stock:

Data of the monitoring on soil hardness, compactness and moisture content are recorded in excel files. The files are stored in both Lambung Mangkrat University and JIFPRO. The data are used by both sides.

資料 - Soil pH monitoring sheet

Sheet No. 1

Plot No.	Antang 1 (A-1)		
	Coordination:		
Date	15/05/12		
0~10cm	7.68		
(color)	(10YR2/3)		
10~20cm	6.96		
(color)	(10YR2/2)		
20~30cm	7.41		
(Color)	(2.5Y4/2)		

Plot No.	Antang 2 (A-2)		
	Coordination:		
Date	15/05/12		
0~10cm	7.37		
(color)	(2.5Y4/2)		
10~20cm	6.89		
(color)	(2.5Y5/2)		
20~30cm	7.09		
(Color)	(2.5Y5/3)		

Plot No.	Antang 3 (A-3)		
	Coordination:		
Date	15/05/12		
0~10cm	7.34		
(color)	(2.5Y5/2)		
10~20cm	7.14		
(color)	(5Y3/2)		
20~30cm	6.90		
(Color)	(2.5~5Y3/2)		

資料 2— Soil Hardness and Compactness sheet

Date / Tan	ggal (dd	Date / Tanggal (dd.mm.20yy):															
Location / Lokasi :	Lokasi:											Surveyor/analyst:	/analyst :				
		Total wwight (300 cc)	ıt (300 cc)		Gravel w	Gravel weight (>2mm)		Moi	isture conter	Moisture content of air-dry soil (<2mm)	(<2mm)		Particle density	Particle density		Prorosity	Moisture content
Plot No	Depth	Fresh ttl Weight	Air-dry ttl Weight		Vessel weight	Vessel + Gravel (after oven)	Gravel weight		Vessel weight	Vessel + Soil (xx.xxg)	oil (xx.xxg)	Moisture factor	(Fine soils <2mm)	(Gravel >2mm)	Bulk Density	(A/A)	(a/a)
		(xxxx g)	(xxxx g)	Vessel No.	(g xxxx)	(xxxx g)	(xxx)	Vessel No.	(xx.xx g)	Before oven	After oven		(xxxx)	(xxxx)	(x.xx g/cc)	(% x xx)	(xxx)
		<ww></ww>	<wad⊳< th=""><th></th><th></th><th></th><th><wg>></wg></th><th></th><th><wr>></wr></th><th><wbef></wbef></th><th><waft></waft></th><th><₩Þ</th><th><sgs></sgs></th><th><sgg></sgg></th><th>⟨BD⟩</th><th><vp>></vp></th><th><mc></mc></th></wad⊳<>				<wg>></wg>		<wr>></wr>	<wbef></wbef>	<waft></waft>	<₩Þ	<sgs></sgs>	<sgg></sgg>	⟨BD⟩	<vp>></vp>	<mc></mc>
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	0-10						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	10-20						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	20-30						0					#DIV/0!			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

第6章 森林回復技術ワークショップ

1) 石炭鉱山跡地における森林回復技術(2012年9月開催)

1. 目的・概要

本事業成果の効果的な普及や荒廃地森林復旧方策を検討するために、調査対象地である 南カリマンタン州において、「石炭採掘跡地における森林回復技術」と題したワークショッ プを開催した。本事業の調査結果ならびにインドネシア現地での既存の取り組み(グッド プラクティス)等の紹介を行った後、ディスカッションを通して理解を深めるとともに、 情報交換を実施した。

なお、本ワークショップは、現地カウンターパートのインドネシア林業省流域管理・社会林業総局の地方出先機関であるバリトー流域管理署の協力を得て実施した。

2. 日程·参加者等

(1) 開催日: 平成24年9月25日(火)

(2) 開催場所: インドネシア南カリマンタン州バンジャルマシン市

Hotel Banjarmasin International 会議室

(3) 発表者およびタイトル:

日本側から2名、インドネシア側から3名が発表者を務めた(表6-1)。

表 6-1. ワークショップ「石炭鉱山跡地における森林回復技術」の発表者

	発表者	所属 および 発表タイトル	
(1)	佐々木 惠彦	(公財) 国際緑化推進センター 理事長	
	Bio-remediation tech	nology is important to keep the forest intact	
(2)	Mr. Budi Suprianto	PT. Adaro Indonesia 社 Mine Office 緑化担当職員	
	Management and mo	onitoring of environmental conditions in PT. Adaro Indonesia	
(3)	Dr. Sukartiningsih	東カリマンタン州 Mulawarman 大学 講師	
	Reclamation/rehabilit	tation of forest and land affected by the mining operation in	
	East Kalimantan		
(4)	Dr. Suwardi	ボゴール農科大学 鉱山跡地緑化研究センター事務局長	
	Lesson learned of ex-mining reclamation using soil ameliorant technology		
(5)	仲摩 栄一郎	(公財) 国際緑化推進センター 主任研究員	
	Model Forest Develo	pment Project in Indonesia	

(4) 参加者:

インドネシア側の参加者は、林業省の流域管理署、森林研究所支所、州および県の林業局職員、民間企業および NGO から約 40 名の参加者を得た (表 2)。

表 6-2. 研修生の所属と人数

	所 属	人数
1	林業省の流域管理署	15
2	森林研究所支所	2
3	州および県の林業局職員	10
4	民間企業	8
5	NGO	5
計		40

3. 発表内容

発表内容は下記の通り。

(1) Bio-remediation technology is important to keep the forest intact

(公財) 国際緑化推進センター 理事長 佐々木 惠彦

現在も鉱物の採掘や農業用地化により森林が減少している。価値の高い貴重な天然 林を保護するとともに、既に非森林地化した荒廃地において植生・森林回復すること が重要である。そのためには、科学的根拠に基づいた技術が必要であり、土木工学お よび生物による環境修復技術を用いることが今後益々重要になるであろう。

(2) Management and monitoring of environmental conditions in PT. Adaro Indonesia PT. Adaro Indonesia 社 Mine Office 緑化担当職員 Mr. Budi Suprianto

PT. Adaro Indonesia 社は、インドネシアでも有数の石炭鉱山の操業者であり、石炭 採掘跡の植生・森林回復についても、大企業としてのコンプライアンスに基づき、最 大限配慮している。これまでの経験から、荒廃地に耐性のある早成樹種についてはある程度緑化樹種として目途が立ちつつある。今後は、在来樹種を用いてより生物多様性の高い森林を回復することが課題である。また、植生回復については、草本やツル植物等の利用を進めている。なお、バイオ燃料としてナンヨウアブラギリの植栽も進めており、自社の重機の燃料の一部として実用化している。

(3) Reclamation/rehabilitation of forest and land affected by the mining operation in East Kalimantan

東カリマンタン州 Mulawarman 大学 講師 Dr. Sukartiningsih

東カリマンタン州は、莫大な石炭が埋蔵されており、近年の需要増により石炭採掘 が急激に進められている。州内の事業者数は **3** 千を超えている。その結果、急激に森 林減少が進んでおり、州都サマリンダの周辺は既にほとんどが石炭鉱区に指定されているのが現状である。経済的理由から石炭採掘を中止するのは困難で、石炭採掘後、いかにして植生・森林を回復するかが課題である。林業省が規定する植生・森林回復の基準が存在するが、鉱業省のそれと異なっていることが課題である。石炭採掘後の植生・森林回復の過程において、土木業者が整地した後に、林業業者が植林するというふうに、それぞれが後先を考えずに自分の都合だけで別々にオペレーションしていることが問題である。土木作業は、その後の植林作業を見越した一貫した作業が必要である。土木作業から植林作業まで 1 社に任せることでその問題は解決されるであろう。

(4) Lesson learned of ex-mining reclamation using soil ameliorant technology

Dr. Suwardi ボゴール農科大学 鉱山跡地緑化研究センター事務局長

鉱物採掘後の緑化は、その目的を明確にすることが大事である。天然林に回復することを目指すのか、農業用地とするのか、産業用地とするのか、または居住地とするのかをまず明確にするべきだ。基本的に鉱物採掘業は環境への影響を最小限にとどめることが肝要である。そのなかでも、ボゴール農科大学鉱山跡地緑化研究センターでは、土壌と水質の向上を中心に研究してきた。鉱物採掘跡地の大問題は、強酸性(低pH)、貧栄養、重金属過多等である。その問題の対処方法として、いくつかの土壌改良剤が有効であり、腐植物質、有機物、石灰、ゼオライト(沸石)等が有効である。特に、腐植物質は、低有機物土壌への改良材として有用であり、植物の成長を促進する。また、石灰施用は酸性を中和する。また、石灰とゼオライト(沸石)の併用により、重金属を吸着することができることがわかってきた。

(5) Model Forest Development Project in Indonesia

仲摩 栄一郎 (公財)国際緑化推進センター 主任研究員

本事業では、鉱物採掘跡地等の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、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を目的としている。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予定である。平成 23 年度は、南カリマンタン州の民間企業 2 社の石炭採掘跡地において、現地の環境条件(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 8 種リストアップして、客土、リッピング、施肥や土壌改良等を試験的に実施する造林計画を策定するとともに、計 10ha 程度の試験造林を実施した。

4. ワークショップのタイムテーブル

Workshop on Rehabilitation Techniques at Ex-Mining Area DG WSM & SFD, Ministry of Forestry, Indonesia – JIFPRO, Japan September 25th 2012, Banjarbaru, South Kalimantan

Time	Agenda	Speaker
08:30-09:00	Registration	
09:00-09:15	Opening session: - Welcome remark	Forestry Bureau of South Kalimantan Province
09:15-09:45	Bio-remediation technology is important to keep the forest intact	Dr. Satohiko Sasaki, JIFPRO
09:45-10:00	Q&A, Discussion	-
10:00-10:30	Coffee/tea break	-
10:30-11:00	2. Management and monitoring of environmental conditions in PT. Adaro Indonesia	·
11:00-11:30	3. Reclamation/rehabilitation of forest and land affected by the mining operation in East Kalimantan	Dr. Sukartiningsih, Mulawarman University
11:30-12:00	Q&A, Discussion	-
12:00-13:00	Lunch	-
13:00-13:30	4. Lesson learned of ex-mining reclamation using soil ameliorant technology	Dr. Suwardi, Center for Mine Reclamation Studies, IPB
13:30-14:00	5. Model Forest Development Project in Indonesia	Mr. Eiichiro Nakama, JIFPRO
14:00-15:00	Q&A, Discussion	-
15:00-15:15	Closing session - Closing remark	Forestry Bureau of South Kalimantan Province

5. ディスカッションのまとめ

- (1) 植生回復の目的の明確化(用材、環境保全林、果樹、特用林産物等)。
- (2) 採掘した土壌を埋め戻す、または捨てる場合は、下層土壌は下層に、表層土壌は表層に戻すべき(表層土壌は、最低でも 30cm 以上)。
- (3) 植生回復を実施する前に、土壌の物理性および化学性を調査し、土壌改良の必要性を 判断するとともに、適切な樹種を選定すべき。
- (4) 最終目的樹種(在来種であるフタバガキ科等)を植栽する前に、耐性の強い早成樹(マメ科の Entrolobium, sengon atau Acacia mangium 等)を先行造林するべき。フタバガキ科の幼樹は、被陰が必要なので。
- (5) 降雨が強いので、土壌流亡を防止するために、カバークロップを事前に植えるべき。 その際、注意すべきことは、つる性植物による植生木へのまきつき。
- (6) 作業の下請け業者は、手抜きを防止するため、(表層) 土壌の埋め戻し業者と植栽業者は同一にすべき。
- (7) 適切な樹種選定および適切な施肥が重要。菌根菌やバクテリアとの共生も活用すべき。
- (8) 植生回復に要する経費は、石炭採掘事業実施前によく検討し、事業計画に入れておくこと。
- (9) 現状では、石炭採掘跡地について、必要とされる植栽回復は全ての土地についてなされているわけではない。また、石炭採掘跡地の植生回復の達成度を測る指針が、林業省(90%以上)と鉱業省(80%以上)で一致していない。
- (10) 大企業は、コンプライアンスに基づき植生回復を実施しているところが多いが、 中小企業は実施していない。
- (11) モデル林事業地のこれまでの観察結果として、局所的に強酸性土壌が発生しており、そのような場所では、適切な樹種の選定および土壌改良が必要である。ただし、pH3.0以下の場所では、全ての樹種が枯死している。表層土壌を散布した場所では、植栽木の生存率および成長ともに良く、在来の先駆樹種の天然更新も始まっているが、下層土壌では天然更新は見られない。また、強い降雨による土壌流亡も問題であり、テラス造林やアバークロップの導入が必要であろう。

Bio-remediation technology is important to keep the forest intact

Satohiko Sasaki

Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center The forest supplies important materials for all the living things to make shelters for protections as well as it supplies food for various organisms to maintain their lives. In addition, the forest has an important role to stabilize the constituents of the atmosphere. However, the forest is neither acknowledged as an important zone in the land use nor is evaluated as the important property. Therefore, the forest is always facing the pressure from various political and financial forces, who are trying to find chances to convert it to other land uses.

Total 49 billion tons of $\mathrm{C0}_2\,$ are produced by global human activities.

Among the various sources of the CO_2 exhausts, the forest emits 20% of CO_2 by degradation and deforestation of the forest

Some strategies are considered as the remedies for reducing the loss of forests.

REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation of the Forest).

Forest Carbon Marketing

Forest Carbon Offset

CDM(Clean Development Mechanism). Planting trees in fields to absorb ${\rm CO_2}$.

However, the most difficult thing is the conflict between the developments of the agriculture land and mining versus the conservation of the forestland. This conflict must be reconciled. Even though the agriculture land was developed, a huge area of the agriculture land failed to be productive, resulting in the wasteland. It is because problem soils are used. My estimate of the loss of agriculture land in the past 30 years is more than 400 million ha. Agriculture should use the fertile land for new development, so that the land can be arable for a long time without deteriorating the soil fertility.

The wasteland should be rehabilitated to the productive forest. A part of the wasteland can be allocated to small-scale farmers. For this purpose, we must develop new varieties of crops adaptable to severe environmental conditions of the wasteland. By introducing the new varieties of crops to the wasteland, the land will be more productive. New crops contribute to the local people to improve their life. This type of technology should be included in Bio-remediation.

The present situation of the forest loss

FAO has been reporting "The Global Forest Resources Assessment" at an interval of five years since 1946.

All the previous reports showed that the loss of the forest continued to be high for over 30 years, with more than 13 to 16 million ha of the forest converted to other land uses every year. However, recent data of FAO in 2010 reduced the forest loss to 5.2 million ha per year. The increase in the forest plantations as well as the increase in the recovery of the forests in the marginal zones of the developed countries were effective to reduce the loss of the forest. However, the losses of the forest are still high in South America, Africa, and Asia, with the total sum of the forest loss reaching closely 13 million ha per year. Particularly, the expansions of the agriculture land and strip mining in these countries are causing one of the most serious losses of the forest.

Up to now, 1.5 billion ha of the fertile land have been developed for the agriculture land uses. In addition, the data of FAO show that at least, 13 to 16 million ha of the forest have been yearly converted to the agriculture land for more than 30 years. If these FAO's data were correct, the agriculture should have had closely 400 million ha more than the total erea of the present agriculture land.

However, the agriculture land has not changed from 1.5 billion ha for a long time. A puzzling thing was that the conversion of the land did not result in the increase of the cultivated land much. Little or no increase in the agriculture land implied that the converted land did not last long as the agriculture land.

About 30 years ago, "Global 2000" was published in 1980. The Report warned the diminishing of the tropical forest. The loss of the tropical forests became a focal point in the Report. Recently, Gerald O. Barney, one of authors in the book of "Global 2000" published "Global 2000 revisited". In his new book, he expressed his concern on the issue of population increase and available food at the end of the 21st Century. He estimated that, out of 15 billion ha of the land on earth, 3.4 billion ha of the land should be allocated for the agriculture at the end of 21st Century to feed the 12 billion population. As the agriculture holds 1.5 billion ha of the fertile land, another 1.9 billion ha of the new land are needed to add to the agriculture. These huge areas of the agricultural development create not only severe stress to the forest, but also stresses to the agriculture and people living in the newly converted lands.

Recently, FAO reduced the need of the land for the agriculture. In the new report of FAO, they say that additional 120 million ha would be required to feed 8.3 billion people in 2030. They expect to reduce the need of the land by an increase in the production of food through the development of biotechnology as well as by the expansion of irrigation.

I believe that, at least, the large scale development of the agriculture land should be confined only to the cultivable fertile land. The development of the new agriculture land in the moderately fertile land needs to develop new technologies to overcome the severe problems of the moderately fertile land, as the moderately fertile land includes considerable areas of the problem soils. Wasteland formation in problem soils
The 1.9 billion ha of the land are classified by FAO as
moderately productive. However, these areas include
various problem soils with the low productivities. The
targeted land includes acid sulfate soil, semi desert,
salt accumulated alkali soil, and swamp. The
agricultural development of these problem soils
results in the deterioration of the land, and turns the
land infertile. The land development in the problem
soils has been causing serious problems to create vast
areas of the wasteland, and we see many abandoned
farms in the wasteland derived from the problem soils.
For more than 30 years, the wasteland has been
spreading in the tropical countries.

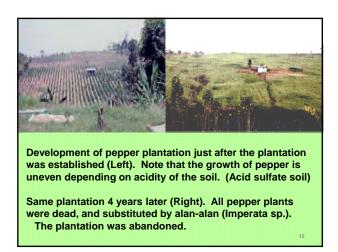
People who live in the problem soils are economically poor, as the land, which they cultivate, does not produce enough amounts of crops. Therefore, they live on the forest to earn their livings through slash and burn cultivation, illegal cutting of timber, and destroying the swamp forest by setting fire to grow netting grass. Particularly, the uncontrolled burning by the shifting cultivation is the problem to deteriorate the forest and to create the unlawful land property. These activities in the forest have been deteriorating the forest, and adding a vast area of the wasteland.

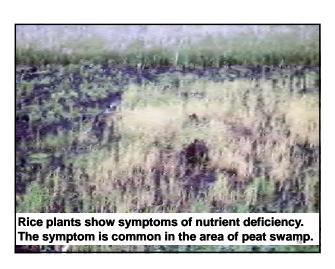
The Problem Soils Resulted in the Wasteland Example of Acid sulfate soil prevailed in Asia

Continental Shelf in Southeast Asia The gray colored sea surrounding Sumatra, Java, Borneo, Sulawesi, Thailand,

Malay Peninsula, and Myanmar is shallow, as this area was a large land called Sunda Shelf. The area is a potential site of acid sulfate soil derived from pyrite. (出典:高谷好一; Urban Kubota, No.25, March, 1986)















In addition to the land development for agriculture, excavations for coal, metals, and other mineral products create the wasteland. Particularly, the excavation of coal in an open pit mine or a strip mine causes serious environmental problems by clearing large areas of the forest as well as inducing the acid sulfate soils in the results of pyrite layer exposures. The environmental damages by the strip mining will be more intensive in the future, because the demand for coal, Ni, Co, and other rare metals is very high globally.



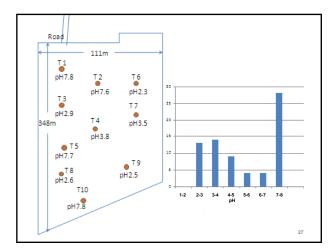






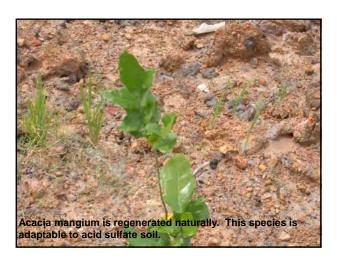
This is a typical site with soil excavated from a strip mine. The soil is partially acidified.

Oxidation of pyrite is intensive. Water in a small puddle is red in color by oxidation of iron. pH in water in the puddle is lower than pH 3.

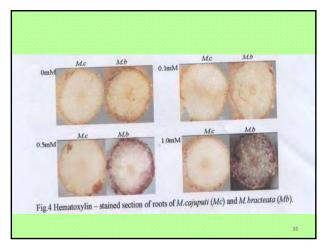


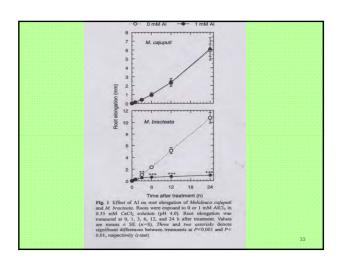


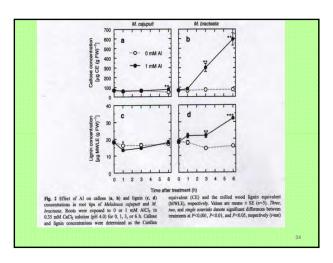
The wastelands should be returned to the forest in land use. We found that some plants as well as microorganisms adapt to the severe conditions of the wasteland. Particularly, some tree species are more adaptable to severe conditions than most of crop plants are. With these adaptable organisms, the wasteland can be rehabilitated to the land that is more productive. By improving the productivity of these poor lands, local people can live on new products produced in the rehabilitated land, and the conflict between the agriculture and the forest can be reduced. Therefore, the rehabilitation of wasteland is important for the stabilization of the forest and even for the agriculture.







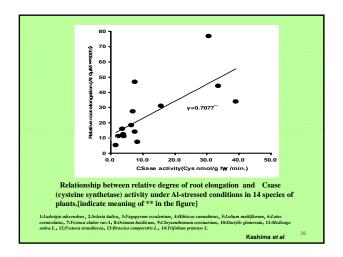


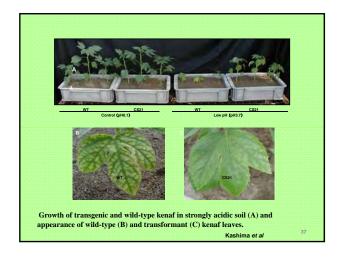


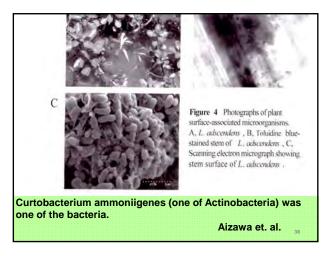


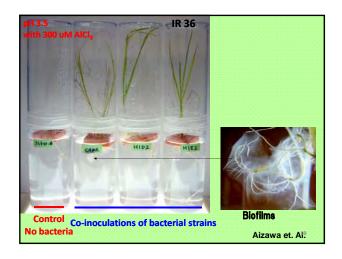
Growth of Dipterocarpus Kerri in culture media with Al. The results show that the species grow better with Al + acid.

Tahara et al*



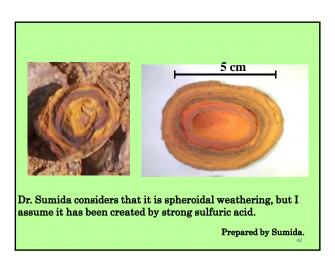


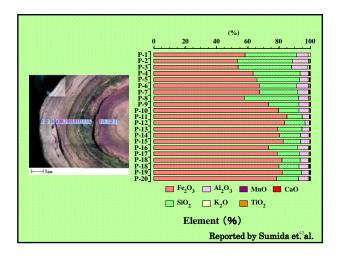




Some organisms adapted to acid sulfate soil neutralize the soil pH by emitting ammonium ion and ameliorate the soil condition.
Furthermore, as organisms who live in mild environment can not survive in the acid sulfate soil, these adapted organisms are segregated in the acid soil. The organisms in the acid sulfate soil and pyrite need more attention to develop bioremediation technology and may lead us to the history of life.



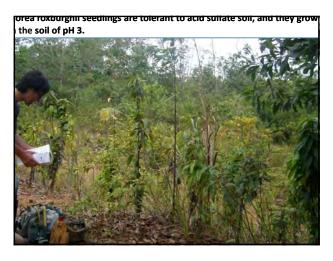






On the bare land, round stones are scattered. These round stones are similar to manganese nodules. In the soil by strong sulfuric acid, manganese nodules may be created similarly to those in the deep sea.











The largest tree of Shorea leprosula. The diameter was over 30 cn.

Research on bio-remediation of the wasteland is important to recover a vast area of the wasteland. In addition, for improving the present situation of the forest, the land use zoning of "the forest" must be recognized to maintain the forest zone. Furthermore, the quality of the forest needs to be improved. The quality of the forest will be evaluated by the primary productivity of the forest, the environmental functions of the forest, and the activities of the local residents in the forest.

Barney, G. O., Blewett, J., and Barney, K. 2008. Global 2000 Revisited. What

FAO. 2003. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. FAO. 2006. Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2006. FAOSTAT 2010. Land 1961-2007d. FAO

Sasaki, S. 2008. Physiological characteristics of tropical forest tree species: A basis for the development of silvicultural technology. Proc. Japan Acad. Ser. B. 84:31-57 Sasaki, S., Ishii, R., Hasegawa, I., Tokuyama, T., Hanzawa, K., Sumida, H., Ueda, S., Noguchi, A., Matsumoto, R., Kawahigashi, M, and Shibazaki, Y. (Eds.). 2008. Development of new bio-remediation systems of acid sulfate soil of agriculture and forestry. Proceedings of the Final International Meetings for 21st Century Center of Excellence (COE) Program. 150pages. Shoukadoh Book Sellers. Kyoto, Japan. Ministry of Forestry of the Republic of Indonesia. 2008. Detailed information on the activities of the Directorate General of Land Rehabilitation and Social Forestry 150 pages. Ministry of Forestry of the Republic of Indonesia. Wikipedia, the free encyclopedia. 2010. Agriculture.1-21.





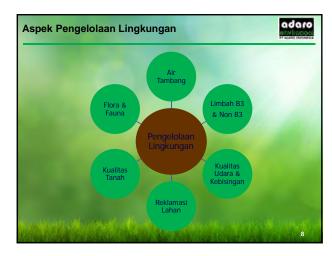




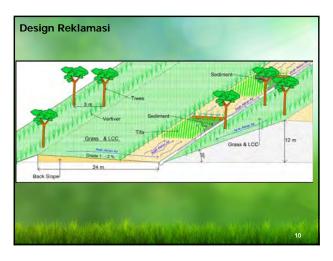














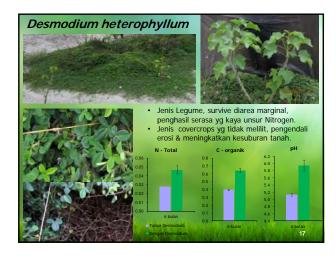




























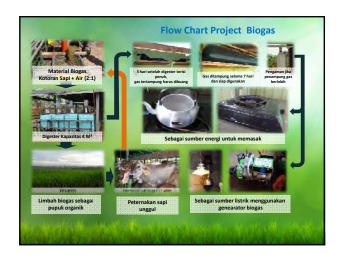






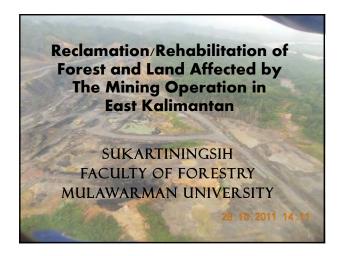






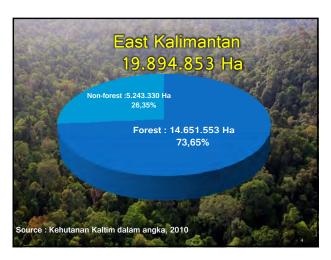


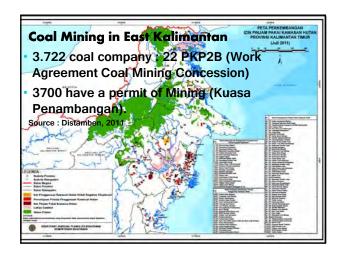




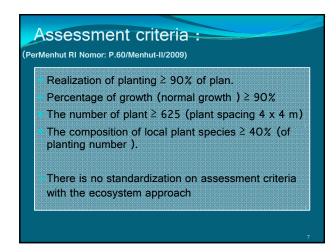






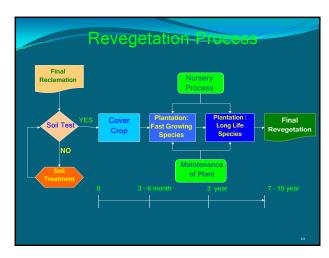




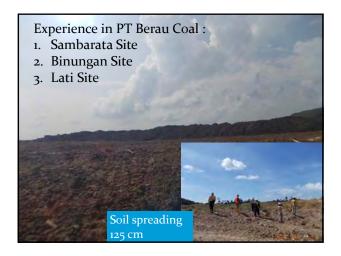


Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 18 Tahun 2008
Management of Top Soil : Planted with cover crops and the application of compost or other materials so that soil quality repair.
The area of top soil spreading ≥ 75% of total ex mining area
p.H 5 ~ 6.
The area of planting in accordance with the plan.
The number of species (type of plant) ≥ 80% of plan.
Percentage of growth (normal growth) ≥ 80%.
Crown cover ≥ 80%.
+ Civil work

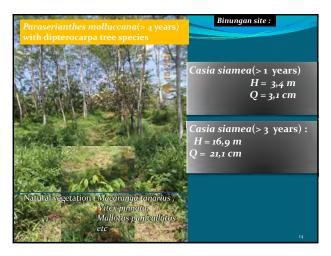




The principal (physical and chemical) characteristics
extremes of pH;
toxicity;
lack of plant nutrients;
low organic matter content;
coarse-grained material;
compaction or consolidation.
which may restrict plant growth





















Experience in PT Lanna Harita								
Year	Species	Diameter (cm)	Natural vegetation					
2003	Falcataria molluccana	17,32	29,49	Macaranga gigantea Melastoma malabatricum Litsea firma Shcima wallichii etc (6 species)				
	Samanea saman	6,27	34,24	Homalantus pupulneus Leea indica Bridelia glauca				
	Acasia mangium	8,94	25,72	Litsea firma Vernonea arborea Leea indica Simplocos fasciculata Macaranga gigantea				
2004	Falcataria molluccana	14,02	24,59	Bridelia glauca Solanum turvum Ficus sp Macaranga tanarius				
	Samanea saman	7,09	32,42	Piper aduncum Neprolepis exalcata Schleria fusfurencens Bridelia glauca etc (10)				
	Acasia mangium	8,0	21,34	Neprolepis exalcata				

Year	Species	Height (m)	Diameter (cm)	Natural vegetation
2005	Falcataria molluccana	14,67	27,11	Anthocephalus cadamba Melicope glabra etc (10 species)
	Samanea saman	6,41	30,44	Bridelia gauca Fordia spendibissima Dracontomelom dau etc (7 species)
2006	Falcataria molluccana	9,59	25,29	Anthocephalus cadamba Serculia macrophylla Litsea firma Macaranga tanarius
	Enterolobium cyclocarpum	8,21	27,66	Anthocephalus cadamba Serculia macrophylla Litsea firma Macaranga tanarius Euphorbia sp
	Acasia mangium	6,93	21,85	Melastoma malabatricum Litsea firma Macaranga tanarius













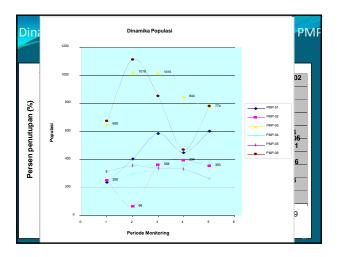












The establishment of reclamation schemes is a longterm operation, thus the objectives and resources for long-term care should properly matched

It is important to consider the visual qualities of the surroundings of a site, as well as the site itself, so as to:

- study the appearance of the site and its features from outside its boundaries;
- appreciate the character of the landscape into which the site must be integrated and identify the local 'sense of place'.

Recommendation

- A reclamation strategy should make explicit the objectives of reclamation at any particular site.
- it is important that the vegetation process is guided by welldefined objectives
- 3. Revegetation design should be integration with landform design
- Where vegetation is to be established, soil spreading techniques should avoid excessive compaction, with an effective drainage system; use the legumes *to provide a long-term* supply of nitrogen
- Assessment criteria should be formulated in accordance to land/forest status, as well as in ecosystem approach (foods chain profile)





Table of contents

- I. Back ground and objective of the Project
- II. Outline/content of the Project
- III. Implementing structure of the Project
- IV. Findings (past achievements) of the Project
- V. Plan of the Project (in the future)

I. Back ground and objective

Back ground

• In recent years, forest degradation was accelerated by mining (coal, gold, nickel and etc.), over use of agriculture, over grazing, settlement and other human induced activities

Objective

• Making Technical Guideline for rehabilitation of degraded land based on scientific knowledge through demonstration study





II. Outline/content of the Project

Project title

Model Forest Development at human-induced degraded area in developing countries

Project period

April 2011 - March 2015 (4 years)

Funding scheme

Subsidy from Forestry Agency of Japan, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

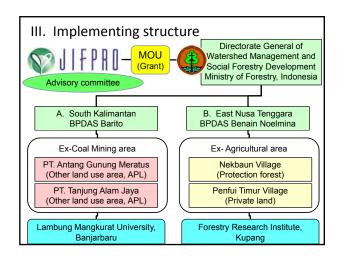
Implementing agency of the subsidy

Japan International Forestry Promotion & Cooperation Center (JIFPRO)

II. Outline/content of the Project i Literature research ii Demonstration study in Indonesia Scientific Model Socio-Workshop survey forest economic Development /Seminar (soil, tree survey growth) (experiment) iii Making Technical Guideline for Rehabilitation

ii Demonstration study in Indonesia

- Selection of suitable planting species and planting methods for Model Forest Development (experiment)
- Monitoring of soil condition (pH, Hardness, Water potential etc)
- Monitoring of tree growth (Survival rate, Diameter and Height)
- Improvement of nursery technique
- Socio economic survey
- Workshop for exchange information



IV. Findings (past achievements)

- 1. Literature Research
- 2. Model Forest Development (experiment)
- A. South Kalimantan; Ex-coal mining area
 - A-1. Site information
 - A-2. Site condition

Others

- A-3. Planting Design
- A-4. Monitoring of tree growth (Survival rate, Height and Diameter)
- A-5. Monitoring of soil condition

(pH, Hardness/compaction, Water potential etc)

10

1. Literature Research (1)

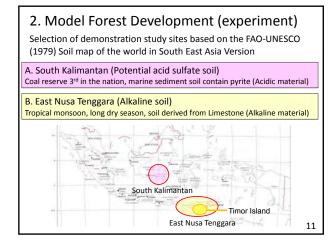
Classification of literatures/publications regarding the rehabilitation

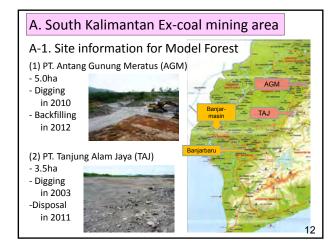
of degraded lar	nd by following Keywords.
Climate	Tropical rain forest - Tropical monsoon
Degree of	low - medium - high
degradation /disturbance	After logging - Secondary forest After shifting cultivation - Alang Alang grass land, After mining - Bare land Problem soil - acid sulfate, salt accumulation
Purpose	Rehabilitation Environmental Plantation Industrial Plantation
Methods	Artificial Planting, Direct Sowing, Improved Natural Regeneration

1. Literature Research (2) Classification of rehabilitation technique by following Keywords. Selection of Mining area, BRIS soil, Acid soil, Alkaline soil, Bare land tolerant species Seed orchard, Wilding, Rooted cutting, 2 Strong/healthy seedling Stamp, Mycorrhizal fungi, Root knot production bacteria, Fertilizer, Size Land preparation / Physical (Ripping, Terrace) Soil amendment Chemical (Neutralization, Fertilizer) Additional soil (Potting, Topsoil spreading) Planting Planting distance, Mixed planting, Nurse tree, Mulching Tending Weeding, Fertilizer Thinning Tree density management

regeneration

Direct sowing / Improved natural





A-2. Site condition

- (1) PT. Antang Gunung Meratus (AGM) : 5.0ha
- Back fill with marine sediment soil contain pyrite (Acidic material)
- Topsoil is available (upper layer is thick)
- Poor soil nutrition in lower laver material
- Soil hardness / Compaction / Water penetration
- Drainage

(2) PT. Tanjung Alam Jaya (TAJ)

- : 3.5ha
- > Disposal with marine sediment soil contain pyrite (Acidic material)
- Topsoil is no available (upper layer is thin)
- Poor soil nutrition in lower layer material
- Soil hardness (rocky) / Compaction Water penetration
- Drainage



A-3. Planting Design

Planting species; 8 species

	Scientific name	Local name
1	Acacia mangium	Akasia mangium
2	Anthocephalus cadamba	Jabon
3	Enterolobium cyclocarpum	Sengon buto
4	Fagraea fragrans	Tembusu
5	Hevea brasiliensis	Karet biji
6	Melaleuca cajuputi	Kayu putih
7	Swietenia macrophylla	Mahoni
8	Tectona grandis	Jati

- ➤ Planting distance: 3m x 3m (1,111 trees/ha)
- ➤ Planting hole size 30cm x 30cm x 30cm (2.7 litter)
- Block planting experimental design

(1 species: 5 trees x 5 trees in AGM & 4 trees x 4 trees in TAJ)

A-3. Planting Design

(1) PT. AGM (5.0ha) Planted in Apr - May 2012

1 control (A) and 4 treatment (B-E), 5 times repetition

Treatment	Α	В	С	D	E
Raw material (control)	+	+	+	+	+
+ Fertilizer (chicken manure &NPK)	-	+	-	+	+
+ Topsoil spreading	-	-	+	+	+
+ Mulching with bark of Kayu putih	-	-	-	-	+







+ Topsoil spreading

+ Mulching 15

17

A-3. Planting Design

(1) PT. TAJ (3.5ha) Planted in Apr 2012

1 control (E), 7 treatment (A-D, F-H), 3 times repetition

Treatment	Α	В	С	D	Е	F	G	I
Raw material (control)	+	+	+	+	+	+	+	+
+ Ripping	+	+	+	+	-	-	-	
+ Potting with topsoil	-	+	-	+	-	+	-	+
+ Cow manure compost	-	-	+	+	-	-	+	+





+ Ripping

+ Topsoil Potting

+ Compost

A-4. Monitoring of tree growth (Survival rate, Height and Diameter)

Monitoring Plan

Period	Survival rate	Height	Diame ter	Remark
Apr - May	-	-	-	Implemented
2012				
May 2012	+	+	+	Implemented
July 2012	+	-	-	Implemented
Sep 2012	+	-	-	-
Nov 2012	+	+	+	-
May 2013	+	+	+	-
May 2014	+	+	+	-
May 2015	+	+	+	-
	Apr - May 2012 May 2012 July 2012 Sep 2012 Nov 2012 May 2013 May 2014	Period rate Apr - May - 2012 May 2012 + July 2012 + Sep 2012 + Nov 2012 + May 2013 + May 2014 +	Period rate Height Apr - May	Period rate Height ter Apr - May 2012 May 2012 + + + July 2012 + Sep 2012 + - Nov 2012 + + + May 2013 + + May 2014 + +

A-4. Monitoring of tree growth (Survival rate, Diameter and Height)

(1) PT. AGM: 5.0ha

- No significant difference in survival rate between Raw Material (control) and Topsoil Spreading
- $\hfill \Box$ Growth in Topsoil Spreading seems to be faster than control
- $\hfill \square$ Survival Rate in Compost seems to be worse than control because of the over dosage / not mature chicken manure of fertilizer application
- ☐ Growth in Compost (especially for living trees) seems to be faster than

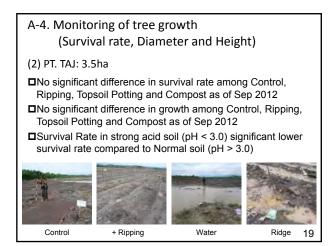






Raw Material

Control Anthocephalus cadamba+ Topsoil Spreading 18



A-5. Monitoring of soil condition (pH, Hardness/compaction, Water potential etc)

Monitoring Plan

After planted	Period	Soil pH	Soil Hardness	Soil WP	Remark
1 months	May	+	-	-	Implemented
	2012				
5 months	Sep 2012	+	-	ı	Implementing
7 months	Nov 2012	-	+		-
9 months	Jan 2013	+	-		-
1.1 year	May 2013	+	-		-
1.4 year	Sep 2013	+	-		-
1.6 year	Nov 2013	+	+		-
1.8 year	Jan 2014	+	-	V	-



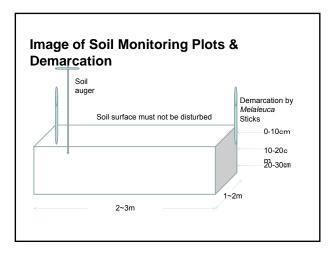
Photo 1 Demarcation of Soil pH Monitoring Plots

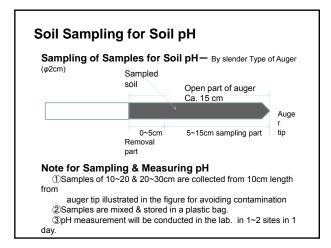
Soil plot is located between poles with orange colored flags. The plot is numbered & registered in the original register with GPS coordination. Samples are successively taken from one side.

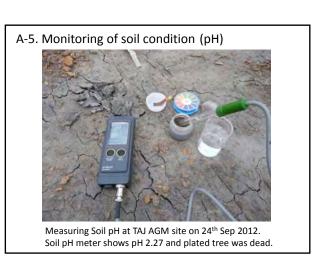


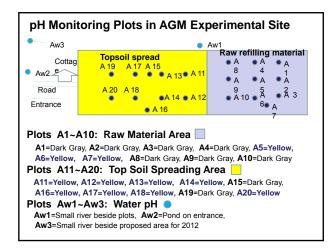
Photo 2 Soil Sampling

Soil is very hard and compact because of compaction by very heavy vehicles. Therefore, soil is taken by the slender auger (φ2cm) by DAIKI Co. For avoiding contamination, samples are taken between from tip to 10cm part of its sampling portion of the auger.

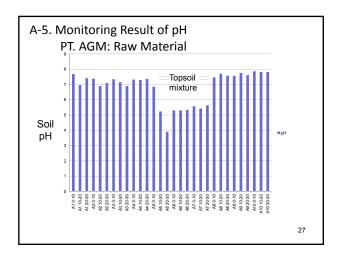


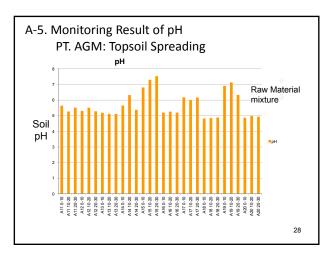


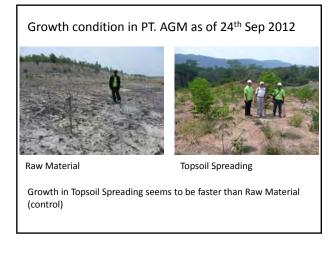














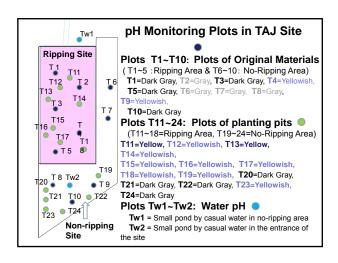




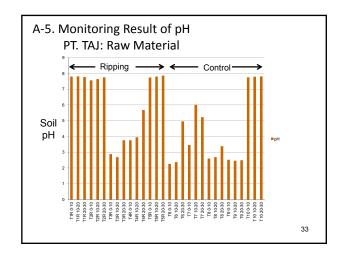
Photo 3 Ripping area and no-ripping area of Tanjung Experimental Site

As soil compaction by heavy vehicles is extremely high in Tanjung Experimental Site, ripping treatment is introduced for easing aeration and water permeation.

Soil pH plots are set in both areas.

Photo 4 pH Monitoring Plots set in a Planting Pit

Top soil is mixed in some planting pits in Tanjung Site. pH monitoring plots are set in these planting pits for determining acidification.



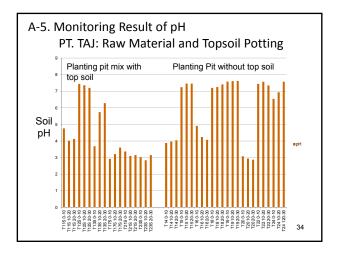




写真 TAJ試験地の土壌pHプロッ

プロット両側の標識杭はしっかりしていて、今後試験期間内はこのまま維持可能と判断され、当初の設計が適切であった。 赤色の標識テープがなくなっていた場

赤色の標識テープがなくなっていた場所が34本の標識杭のうち1カ所でテープによる標識が良好と判断できる。

写真 赤色標識テープとプロット名記入

赤色標識テーブは量販店で売られている ソフトテーブを使ったが、現在変色はな く、結び目が解けた1本のみが紛失した。 この方法での標識は良好と考えられる。 ただ、念のため4ヶ月毎の測定時には新 品と変えた方がよい。 黒マジックインクで書かれたプロット名は

黒マジックインクで書かれたブロット名は 全く変色なく、適切である。



写真 含硫酸水の流れた跡? (硫酸川?)

試験地内の凹地に酸化鉄が沈着した列が観測された。高いところから低いところに連続しているので、雨水によって形成されたものと推定した。酸化鉄が形成される条件として、強い酸

酸化鉄が形成される条件として、強い酸性によると考え、硫酸が形成された結果、硫酸鉄として流されたものと想定した。

写真 硫酸川の近景

パイライトはFeS2とされるが、化学式 のように硫黄と鉄の結晶で、酸化され ることによって硫酸と三価の鉄が形成

される。 水が多く、酸性の強い条件下では硫 酸第2鉄(Fe2(SO4)3)として水に溶け ている。これが乾燥によって沈積した ものと考えられる。



写真 硫酸川の最上部

硫酸川は手前の黒色部分から始まっている。黒色部の向こう側に酸化鉄が浮き上がった褐色部が見られる。この黒色部は葉片状にはがれやすい堆積物と黒灰色の硬い堆積物の混合物で、TAJ試験地には2カ所大きな分布域がある。なお、当地の表層土壌のPHは2.27、2.44、2.35と低い。

写真 灰色部分の酸化鉄発生地

前の写真のように黒灰色部分では酸性化が強くなる可能性が高いが、灰色部分でも酸性化が予想される酸化鉄の浮き出した部分が存在する。このような部分はあちこちに存在しているので、潜在酸性化試験を密度高く調べて、酸性化進行予想マップの作成を考える必要がある。





Photo -7 Water pH Monitoring Point of Tanjung Site (Tw1)

Tw1 is located on a pond by casual water in no-ripping area in Tanjung Experimental Site. In dry spell, we would not be able to get data.
Tw2 is located on a pond by casual water just before the entrance of the Site.

pH was 3.02 on Tw1 & 6.35 on Tw2 in

May Photo-8 A water pH Monitoring Point of the Antang Site (Aw1)

Site (Aw1)

Aw1 is located on small river beside

Antang Experimental Site. The river

would not be dry in the dry spell.

Iron is released to water. However,

water pH is still high. This is very

interesting when pH turns to acidic.

In May, pH was 7.9(down stream)

and 5.9(an uppermost part of



Photo 9 Pond just before the entrance of Antang Experimental Site (Aw2)

Water to this pond comes from the forest of left side and mining area of right side of the photo. This pond is located on down stream of Aw1. You can see the cottage for operation above the pond. pH in May was 7.6

Photo 10 Aw3 — Small River beside new Antang Experimental Site for 2012

Left side is the proposed area for activities in 2012 JFY.
Aw3 is set in the river beside the proposed area (east side) pH was 2.7 in May, 2012.

		• •
1	Selection of tolerant species	Mining area, BRIS soil, Acid soil, Alkaline soil, Bare land
2	Strong/healthy seedling production	Seed orchard, Wilding, Rooted cutting, Stamp, Mycorrhizal fungi, Root knot bacteria, Fertilizer, Size
7	Land preparation / Soil amendment	Physical (Ripping, Terrace) Chemical (Neutralization, Fertilizer) Additional soil (Potting, Topsoil spreading)
4	Planting	Planting distance, Mixed planting, Nurse tree, Mulching, Cover crop
5	Tending	Weeding, Fertilizer
6	Thinning	Tree density management
7	Others	Direct sowing / Improved natural regeneration 41



写真 Antang Gunung Meratus (AGM)社試験地で発生したガリーエ ロージョン

5 程度の傾斜地であるが、降雨強度が 高いためか、ガリーエロージョンが発生し ている。発生密度は写真のように部分的 には高い、AGM社からはカバークロップの 導入の希望があった。

写真 AGM地内のガリーエロージョン

AGM試験地の中で最大・最深のガリーエロージョンで、深さが60m程度。今後上降雨強度の大きい降雨の場合は拡大すると考えられる。 造成時に長い傾射地を避けて短い法面と階段中間地との組み合わせがガリーエロージョン防止に役立つ。



写真 今年度のAGM試験予定 地

全体で5haが造成されており、すでに 表土埋め戻し区と原材料埋め戻し区 が造成されている。全体は2~5の緩 傾斜地として造成されているが、斜 面長が長いのでガリーエロージョン が心配である。

写真 Tanjung Alam Jaya(TAJ)社試 験地内の池に作られた生物の被膜

水pHモニタリングポイントの池内にできた藻類とおぼしき植物による被膜で、後述する硫酸の川が流入している。現在のpHは3.2。 5月に行った水pHモニタリング採水時には気がつかなかった。



添付資料

1) 森林再生成果の評価指針に関するインドネシア共和国林業大臣令(全訳)

森林再生の成果に対する評価指針に関する インドネシア共和国林業大臣令 第: P. 60/Menhut-II/2009 号

> 偉大なる神の御慈悲の下に インドネシア共和国林業大臣

考慮:

『森林のリハビリテーション及び再生に関する政令 2008 年第 76 号』第 50 条第(5)項規定を実施するために、森林再生の成果に対する評価指針に関するインドネシア共和国林業大臣令を定める必要がある。

参考:

- 『林業法 1999 年第 41 号の変更に関する法律 2004 年第 1 号の代替えとなる政令制定に関する法律 2004 年第 19 号 (インドネシア共和国官報 2004 年第 86 号、官報追記第 4412 号)』に改訂された『林業法 1999 年第 41 号 (インドネシア共和国官報 1999 年 第 167 号、官報追記第 3888 号)』
- 2. 幾度かの改訂を経て、最新は『法律 2008 年第 12 号 (インドネシア共和国官報 2008 年第 59 号、官報追記第 4844 号)』とされている『地方行政法 2004 年第 32 号 (インドネシア共和国官報 2004 年第 125 号、官報追記第 4437 号)』
- 3. 『政令 2007 年第 58 号 (インドネシア共和国官報 2007 年第 131 号、官報追記第 4776 号)』に改訂された『造林基金に関する政令 2002 年第 35 号 (インドネシア共和国官報 2002 年第 67 号、官報追記第 4207 号)』
- 4. 『森林計画に関する政令 2004 年第 44 号(インドネシア共和国官報 2004 年第 146 号、 官報追記第 4453 号)』
- 5. 『森林保護に関する政令 2004 年第 45 号(インドネシア共和国官報 2004 年第 147 号、 官報追記第 4453 号)』
- 6. 『インドネシア共和国政令 2008 年第 3 号(インドネシア共和国官報 2008 年第 16 号、 官報追記第 4814 号)』に改訂された『森林制度と森林管理・利用計画の作成に関する 政令 2007 年第 6 号(インドネシア共和国官報 2007 年第 22 号、官報追記第 4696 号)』
- 7. 『中央政府、州地方政府、県/市地方政府行政間の役割分担に関するインドネシア共和国政令 2007 年第 38 号 (インドネシア共和国官報 2007 年第 82 号、官報追記第 4737号)』

- 8. 『森林のリハビリテーションと再生に関する政令 2008 年第 76 号(インドネシア共和国官報 2008 年第 201 号、官報追記第 4947 号)』
- 9. 幾度かの改訂を経て、最新は『大統領決定 2007 年第 31/P 号』とされている『インドネシア統一内閣の組閣に関する大統領決定 2004 年第 187/M 号』
- 10. 幾度かの改訂を経て、最新は『大統領令 2008 年第 20 号』とされている『インドネシア共和国各省の地位、職務、機能、組織構成、就業規則に関する大統領令 2005 年第 9 号』
- 11. 幾度かの改訂を経て、最新は『大統領令 2008 年第 50 号』となっている『インドネシア共和国各省の組織構成と Eselon I の責務に関する大統領令 2005 年第 10 号』
- 12. 幾度かの改訂を経て、最新は『インドネシア共和国林業大臣令第 P.64/Menhut-II/2008 号 (インドネシア共和国官報 2008 年第 80 号)』となっている『林業省の組織構造及び 就業規則に関する林業大臣令第 P.13/Menhut-II/2005 号』

決定:

制定:森林再生の成果に対する評価指針に関する林業大臣令

第Ⅰ章 解釈

第1条

本大臣令内で使用される用語は、以下を意味する。

- 1. 落差工 (Drop Structure) とは、一定の距離毎 (土地の傾斜具合による) に排水路 (SPA) に設置される段差構造のことで、石、木材、竹等で出来ている。
- 2. 被覆植物(Cover crop)とは、密集して成長する植物で、土壌の保全・修復を主な目的 として主要植栽木栽培作物の生産期間の合間、また、木々やツル植物の間に植えられ る。
- 3. チェックダムとは、水を通すための小さな堰のことで、溝に石の Bronjong、小枝で編んだ蛇籠、竹もしくは木製の杭を設置した高さ 4 メートルまでのものである。
- 4. 調節ダムとは、浸食や表面流去水を調節するために設置される貯水可能な(水を通さない)小さな堰のことで、土を積み上げた水を通さない層もしくはコンクリート構造(弧型)を有し、高さ最高8メートルで小規模な水路や河川に設置される。
- 5. 浸食とは、運動エネルギー(水、雪、風)が、土壌や石の粒子を剥離したり移動させ たりするプロセスのことである。
- 6. リル浸食とは、水路内に発生する集中的な水流によって土壌の粒子が運ばれるのに伴 う剥離のことである。

- 7. ガリー浸食とは、リル浸食が発達し、より深く幅の広い溝を形成するものである。
- 8. 抽出比とは、全体数の大きさに対するサンプルの大きさの割合のことである。
- 9. 環境汚染とは、生物、物質、エネルギー、その他要素が環境内に入りこんだり入りこまれたりし、なおかつ人間の活動や自然のプロセスによって環境構造を変化させることをいう。その結果、その機能が不足したり、もはや機能できなくなったりするレベルまで環境品質が低下する。
- 10. 評価とは、森林再生活動に対して定期的に行われるモニタリングのことである。提案された活動計画、活動スケジュール、期待される成果、その他必要とされる活動が計画通りに進んでいるかどうかを保証し、林地使用許可の延長もしくは返還の基本情報となり、森林再生実施進捗状況を知るためのものでもある。
- 11. 植栽木の生存割合とは、目標とする植栽本数に対する健康な植栽木の%である。
- 12. 鉱業とは、一般的分析、探鉱、フィージビリティスタディ、建設、採掘、加工と精製、 運搬と販売、採掘終了後の処理までを含む、鉱物もしくは石炭の研究、加工、事業に 関する活動の一部もしくは全段階のことである。
- **13.** 環境破壊とは、環境の物理的性質や生物に対して、直接的もしくは間接的に変化をもたらす行為のことで、持続可能な発展を支えるに当たって、環境機能が不足したり、機能しなくなったりすることである。
- **14**. 地表の変化とは、林地使用の結果発生した景観の変化のことで、土壌被覆の変化とは、 林地に元々あった植生の変化のことである。
- 15. 森林と土地のリハビリテーションとは、森林と土地の機能を回復、維持、向上させる ための活動で、生命維持システムの保護に関して、環境収容力、生産性、役割も引き 続き保護される。
- **16**. 森林再生とは、土地と植生がその用途に合わせて最適に機能することが出来るよう、 修復もしくは回復させるための活動のことである。
- **17**. 再緑化とは、林地として使用されていた跡地で、植林と保育活動を行うことを通して、 損傷を受けた植生の修復と回復のための活動のことである。
- **18.** 放水路とは、土砂崩れが起こりやすい土壌にある土が流れ出ることを防ぐため、水流が保水地域から溝に直接流れ込むことを防ぐために設置された、水流を分けるための水路のことである。
- 19. 排水路(SPA)とは、地形方向に対して垂直に作られた水路のことで、縁が草で補強され、ある特定の寸法(降雨量、土地の傾斜、土壌透水速度、土壌の種類による)で作られる。
- **20.** 堆積とは、水、空気、引力によって運搬された物質が、元々存在した場所より低い位置に沈殿することである。
- **21.** 河川水流監視局 (SPAS) とは、継続的に水系をモニタリングする目的で分流や支流に 建設された、モニタリング装備を備えた構造物のことである。
- 22. Systematic Sampling with Random Start とは、最初のサンプリングがランダム(無作

- 為) に行われる、体系的なサンプリング方式のことである。
- 23. 鉱業とは、地表で行われる鉱石の採掘と掘削事業のことである。
- **24.** 露天掘りとは、直接外気に暴露する形で行われる、鉱石の採掘と掘削事業のことである。
- 25. 表土上層部 (top soil) とは、植物の成長に非常に良い栄養素を多く含む、上部の地層のことである。
- 26. 長期周期の在来種とは、地域住民が好む原産もしくは外来の植物種のことで、木材製品、実、樹液等の長所があり、高い経済的評価を得るもの(例:チーク、ラサマラ、マホガニー、ブルメリア、メランティー、カポール、ウリン)や、多目的樹種(英語:Multi Purpose Trees Species、略称:MPTS)に該当する植物(例:ドリアン、マンゴー、ランブーラン、ネジレフサマメノキ、ジリンマメ、パンノキ、ジャックフルーツ)が含まれる。

第Ⅱ章

意図、目標、目的

第2条

- (1) 本森林再生の成果に対する評価指針の意図するところは、林地として使用される跡地における森林再生の成果に対する評価を実施する際の基準を示すことである。
- (2) 森林再生の成果に対する評価指針の目標は、用途に沿って定められた規定に沿って森林再生が実施されることである。

第3条

森林再生の成果に対する評価指針の目的は、以下の事項の実施に際して、林地として使用する用地における森林再生の実施成果を評価することである。

- a. 林地使用貸借許可の延長
- b. 林地使用貸借許可の返還、及び
- c. 林地として使用する用地における森林再生実施の進捗状況評価

第Ⅲ章

森林再生の成果基準

第4条

- (1) 森林再生の成果に対する評価実施の際は、森林再生の成果基準を参照すること。
- (2) 森林再生の成果基準は、以下のように定められる。
- a. 整地
- b. 浸食と堆積の管理

c. 再緑化もしくは植林

第5条

第4条(2) aにある整地には、以下を含む。

- a. 鉱業跡地の穴の埋立て
- b. 地面の整備
- c. 斜面の安定性
- d. 表土上層部の埋め戻し

第6条

第4条第(2)項bにある浸食と堆積の管理には、以下を含む。

- a. 土壌保全用構造物の建設 (調節ダム、チェックダム、溝制御機、落差工、排水溝等)
- b. 水流速度を抑え、湿潤率を上げるための被覆植物の植付け
- c. 浸食と堆積の発生(リル浸食とガリー浸食の発生より観察される)

第7条

第4条第(2)項 cにある再緑化もしくは植林は、以下より成り立つ。

- a. 植林用地面積
- b. 植栽木の生存割合
- c. 1~クタール当たりの植栽木数
- d. 植栽樹種の構成、及び
- e. 植栽木の成長や健康

第IV章

評価方式

第8条

- (1) 一般的な森林再生の成果評価方式は、森林再生活動実施のあらゆる側面からデータと 情報を収集して行われる方法である。
- (2) 正確な評価結果を得るために、現場からの直接的なデータと情報が必要である。
- (3) このデータと情報を元に分析が行われ、現場の実態に合った評価結果を得ることとなる。評価結果は、決定を行う際の建設的な意見材料となり得る。

第9条

本指針内で使用される評価方式は、以下の通りである。

- a. 調査
- b. 文献参照

- c. サンプリング
- d. 採点と得点付け
- e. 分析

第10条

- (1) 第9条aにある調査とは、現場で直接測定する方法で行われる、一次データと情報の 収集活動のことである。
- (2) 得られる一次データは、ある状況における数値データや、空間のデータ、説明といったものである。

第11条

- (1) 第9条bにある文献参照とは、現場調査や測定無しに行われる、既存のデータと情報 (二次データ)の収集活動のことである。
- (2) 第(1)項にあるデータは評価を行う際の基礎となり、通常は、計画書や報告書、また、環境影響評価(Amdal)、活動実施計画(RPK)、環境管理・ミティゲーション計画書(RKL)といったその他重要書類に記載済みである。

第12条

- (1) 第9条cにあるサンプリングは、森林再生の成果評価における幾つかのパラメータを 測定するために実施され、植栽木の成長割合や木の健康レベル等のためのサンプリン グ技術が用いられる必要がある。
- (2) 第(1) 項にあるサンプリングは、代表である根拠を満たすよう、抽出比を最低 5%に 設定する必要がある。

第13条

- (1) 第9条dにある採点と得点付けは、数値的な評価をするために行われる。
- (2) 第(1) 項にある採点と得点付けシステムは、森林再生の成果における各基準とパラメータ毎に行われる。
- (3) 満点を 100 として、得点は各基準毎に付けられる。各基準における得点評価は、重要度に基づいて定められる。
- (4) 各基準毎の得点は、以下の通りである。
 - a. 整地に対する得点は30
 - b. 食と堆積の管理に対する得点は 20
 - c. 再緑化に対する得点は得点 50
- (5) 採点システムは、各パラメータ毎に定められ、最高で5、最低で1の評価が付けられる。

第14条

- (1) 第9条eにある分析は、森林再生成果基準と指標に基づいて、現場で森林再生の成果 評価が行われる。
- (2) 森林再生の成果基準と指標は、添付1に記載の通りである。

第15条

第 14 条にある森林再生の成果基準と指標に基づき、以下のような公式を用いて総合評価の 算定をする。

$$TN = \sum_{i=1}^{n} [TS i/SM i x B i]$$

説明:

TN=総合評価

TS i=i 基準評価のスコア合計

SM i=i 基準の最高評価

n=基準の数

Bi=i 基準用の得点

最高評価は 100 である。

第16条

第23条にある総合評価の算出に基づいて、以下のような基準とまとめを導くことが出来る。

- 1. 総合評価 > 80:良(再生の実施成果は、承認できるものである。)
- 2. 総合評価 60~80:可(再生の実施成果は承認できるものであるが、総合評価が > 80 に達するまで改善が行われる必要がある。)
- 3. 総合評価 < 60: 不可(再生の成果は承認出来るものではなく、集中的な保育が必要である。) 林地貸借の返還に関して、許可の有効期間が切れた際には、十分な評価(>80) に達するまで、再生改善のために3年間の保育期間を使用することが出来る。

第17条

森林再生の成果における各基準とパラメータの評価方式は、添付2に記載の通りである。

第Ⅴ章

評価手順

第18条

- (1) 森林再生実施に対する評価は、関係大臣や、その権限に合わせて州知事、県知事/市 長と共に、林業大臣が行う。
- (2) この森林再生実施に対する評価は、森林再生の成果決定の基礎となるものである。

第19条

州レベルにおける森林再生の成果に対する評価実施は、以下のような規定を伴い、林業を扱う州立機関によって主導される。

1. 林業を扱う州立機関長は、以下のような体制のチームを作る。

リーダー:林業を扱う州立機関の部署書記官:流域管理署(DAS)の部署

構成員:

- a. 関係する林業省技術実施者ユニット(UPT)(流域管理署(BPDAS)/林地決定機関(BPKH)/生産林活用監視機関(BP2HP)/天然資源保全機関(BKSDA))の部署
- b. 林業を扱う州立機関の部署
- c. 鉱業を扱う州立機関の部署
- d. 林業を扱う県立/市立機関の部署
- e. 鉱業を扱う県立/市立機関の部署
- f. その他関連機関
- 2. 州チームは、評価実施の基本として、林業を扱う州立機関長が承認済みの評価方式と テクニック (評価、測定、地図作成)、評価作業チームの分担、評価時間調整等を盛り 込んだ森林再生成果に対する評価作業計画を策定する。
- 3. 森林再生成果に対する評価の実施終了後に、評価結果報告書を作成し、チームの署名 が入った地図を添付する。評価結果報告書の書式は、添付3に示す。
- 4. 林業を扱う州立機関長は、森林再生成果に対する評価結果を林業大臣に報告し、その際、復旧社会林業総局(RLPS)長、林業地域開発局長、エネルギー鉱物資源省鉱物・石炭・地熱局長、その他関係者へは写しが提出される。

第20条

本部チームによる評価実施は、以下のような規定を伴い、復旧社会林業総局(RLPS)長によって主導される。

1. 復旧社会林業総局 (RLPS) 長は、林業大臣の名の下に、これ以降本部チームと称する、 中央レベルにおける森林再生の成果のための以下のような体制の評価チームを作る。

責任者 : 復旧社会林業総局(RLPS)長

リーダー: 森林と土地のリハビリテーション育成長

書記官 : 土地保全と森林再生課長、復旧社会林業総局(RLPS)長

構成員:

a. エネルギー鉱物資源省物・石炭・地熱局の部署

- b. 林業省、林業地域開発局の部署
- c. 林業省自然保護総局 (PHKA) の部署
- d. 林業省、復旧社会林業総局(RLPS)の部署
- e. 環境省、天然資源保全向上及び環境破壊抑制代表部署
- f. 林業を扱う州立機関の部署
- g. 林業省技術実施者ユニット (UPT) (流域管理署 (BPDAS) / 林地決定機関 (BPKH) / 生産林活用監視機関 (BP2HP) / 天然資源保全機関 (BKSDA)) の部署
- 2. 本部チームは、評価実施の基本として、復旧社会林業総局(RLPS)長が承認済みの評価方式とテクニック、評価時間調整等を盛り込んだ指針に沿った作業計画を策定する。
- 3. 評価の実施終了後に、報告書を作成し、チームの署名が入った地図を添付する。評価 結果報告書の例は、表 14 に示す。
- 4. 復旧社会林業総局(RLPS)長は、本部チームの責任者として、本部チームと州チームを招いて、森林再生の成果に対する評価の結果に関する討議を行う。
- 5. 復旧社会林業総局(RLPS)長は、森林再生の成果に対する評価結果を林業大臣に報告 し、その際、林業地域開発局長、エネルギー鉱物資源省物・石炭・地熱局長、その他 関係者へは写しが提出される。

第VI章

評価結果

第21条

- (1) 再生の成果評価の結果は、州チームによる評価結果と、本部チームによる現場再確認 の結果に基づき、本部チームによって全体がまとめられる。
- (2) 第(1) 項にある本部チームによる評価結果は、以下のような規定を伴い、林地貸借延 長もしくは返還の考慮材料となる。
 - a. 再生の総合評価が ≥80 に達した場合、森林再生は成功したものとして承認される。
 - b. 再生の総合評価が 60~79 である場合、森林再生は成功したとは言えず、承認出来ない。総合評価が最低でも 80 に達するよう、更なる保育が必要である。
 - c. 再生の総合評価が < 60 である場合、森林再生は承認出来るものではない。総合評価が最低でも 80 に達するよう、集中的な保育が必要である。
 - d. 使用貸借許可の有効期間が切れたが森林再生評価が80に達していない場合、総合評価が最低80に達するまで、林地の使用貸借許可の延長無しに、保育期間としての3年間を活用し、引き続き森林再生を継続する。

第 VII 章

報告

第22条

- (1) 森林再生成果に対する評価は、公表され、最終報告書に掲載される。
- (2) 最終報告書には、実施済みの森林再生成果に対する評価実施結果の解説を記載する。 書式は添付4にある通りである。

第 Ⅷ 章

終わりの規定

第23条

本林業大臣令は、法律化された日より有効となる。 全ての人に周知されるよう、本林業大臣令はインドネシア共和国官報に掲載される。

> ジャカルタにて制定 2009 年 9 月 17 日 インドネシア共和国 林業大臣 (署名) H.M.S. KABAN

ジャカルタにて法律化 2009 年 9 月 29 日 インドネシア共和国 法務・人権大臣 (署名)

ANDI MATTALATTA

インドネシア共和国官報 2009 年第 317 号

写しは原本と相違ない。 法と組織局長 (署名)

SUPARNO, SH

公務員基本番号 (NIP) 19500514 198303 1 001

添付 1. 林業大臣令

第:P. 60/Menhut-II/2009 号

日付:2009年9月17日

森林再生の成果基準と指標

基	指標	パラメータ	評価の標準	評価	評	備考
準	111/00		11 IM 42 IV. —	得点	価	vm · 3
	 整地			30	Інц	
	地表の				5	
	整備	の穴の埋立	況が計画の ≥ 90 %		J	較
	走畑	て	2. 鉱業跡地の穴の埋立て状		4	+ X
			2. 鉱業跡地の八の壁立(朳 況が計画の 80~89%		4	
			3. 鉱業跡地の穴の埋立て状		3	
					3	
			況が計画の 70~79%		0	
			4. 鉱業跡地の穴の埋立て状		2	
			況が計画の 60~69%		,	
			5. 鉱業跡地の穴の埋立て状		1	
			況が計画の < 60%			
		b.整備され	1. 整備された土地は計画の		5	計画と実績を比し
		た土地の広	≥ 90 %			較
		さ	2. 整備された土地は計画の		4	
			80~89%			
			3. 整備された土地は計画の		3	
			70~79%			
			4. 整備された土地は計画の		2	
			60~69%			
			5. 整備された土地は計画の		1	
			< 60%			
		c.安定性	1. 土砂崩れは起こらない		5	鉱業跡地全体に
			か、非常に軽度 (< 5%)			対する土砂崩れ
			2. 軽度の土砂崩れがある		4	発生の割合を比
			(5~10%)			較
			3. 中程度の土砂崩れがある		3	
			(10~15%)			
			4. 重度の土砂崩れがある		2	
			(15~20%)			
			5. 非常に重度の土砂崩れが		1	
			ある (> 20%)			

		d.表土上層	1. 表土上層部の埋め戻しが		5	ー計画と実績を
		部の埋め戻	≥ 90 %		Ü	比較
		し	2 . 表土上層部の埋め戻しが		4	
			80~89%		•	- - 岩がちな地域
			3. 表土上層部の埋め戻しが		3	ではポッティン
			70~79%		Ü	グシステム
			4 . 表土上層部の埋め戻しが		2	
			60~79%		_	
			5. 表土上層部の埋め戻しが		1	
			< 60 %		-	
2.	L 浸食と堆 [®]	⊥ î 情の管理		20		
	a.土壌	<u>a</u> . 構造物の	 1 . 建築済みの不変的な構造		5	仕様や場所の数
	保全用	物理的総数	物 ≥ 90%			が適しているか
	構造物	1/31-77-1-3/10-29/	1		4	どうか
	111,752 173		物 80~89%		•	
			7. 35 3576 3. 建築済みの不変的な建造		3	
			70~79%		Ū	
			4 . 建築済みの不変的な構造		2	
			物 60~69%			
			5. 建築済みの不変的な構造		1	
			物 < 60 %			
		b . 構造物の	1. 非常に役に立つ			
		有効性	2 . 役に立つ		5	役に立っている
		,,,,,,	3. やや役に立つ		4	かどうか、構造物
			4. あまり役に立たない		3	の状態を見る
			5. 役に立たない		2	,
					1	
	b.被覆	被覆植物の	1. 植付け済みの被覆植物 ≥		5	植林用地の準備
	植物の	面積	90 %			を目的とする
	植付け		2. 植付け済みの被覆植物		4	
			80~89%			
			 3 . 植付け済みの被覆植物		3	
			70~79%			
			4. 植付け済みの被覆植物		2	
			60~69%			
			5. 植付け済みの被覆植物 <		1	
			60%			

						1
	c.浸食	浸食の発生	1. 浸食の発生< 5 %		5	リル浸食とガリ
	と堆積		2. 浸食の発生 6%~10%		4	ー浸食の発生を
			3. 浸食の発生 11%~15%		3	観察
			4. 浸食の発生 16%~20%		2	再生用地に対す
			5. 浸食の発生> 20 %		1	る浸食面積の%
3.	再緑化			50		
	a.植林	a.植林面積	1. 植林達成率≥ 90 %		5	計画と実績を比
			2. 植林達成率 80%~89%		4	較
			3. 植林達成率 70%~79%		3	
			4. 植林達成率 60%~69%		2	
			5. 植林達成率< 60 %		1	
		b.生存割合	1. 生存割合 ≥ 90 %		5	サンプリングで
			2. 生存割合 80%~89%		4	評価
			3. 生存割合 70%~79%		3	
			4. 生存割合 60%~69%		2	
			5. 生存割合 < 60 %		1	
		c. 植栽木の	1. 植栽木の本数≥ 625 本/ha		5	植林間隔は最大
		本数	2. 植栽木の本数 551 本		4	で 4 x 4 m、土地
			/ha~625 本/ha			の形状に合わせ
			3. 植栽木の本数 476 本		3	る
			/ha~550 本/ha			
			4. 植栽木の本数 400 本		2	
			/ha~475 本/ha			
			5. 植栽木の本数< 400 本/ha		1	
		d. 植栽樹種	1.在来種 ≥ 40%		5	主要な在来植林
		の構成	2.在来種 30%~39%		4	樹種/多目的樹
			3.在来種 20%~29%		3	木種(MPTS)
			4.在来種 10%~19%		2	
			5.在来種< 10%		1	
		f.植栽木の健	1. 健康な植物≥ 90 %		5	正常な高さがあ
		全度	2. 健康な植物 80~89%		4	り、葉は健康で黄
			3. 健康な植物 70~79%		3	色くない
			4. 健康な植物 60~69%		2	幹は正常で、害
			5. 健康な植物< 60 %		1	虫、病気、雑草が
						ない

添付 2. 林業大臣令

第: P. 60/Menhut-II/2009 号

日付:2009年9月17日

森林再生の成果における各基準とパラメータの評価方式

A. 整地

1. 鉱業跡の穴の埋立ては、鉱業跡の穴がどの程度塞がれたかを知ることを目的としている。鉱業跡の穴の埋立てに対する調査結果は、表 1 に示される。

表 1. 鉱業跡の穴の埋立て

No	場所	鉱業跡の穴	鉱業跡の穴	鉱業跡の穴	備考(達成
		の数	の埋立て計	の埋立ての	率%)
			画	実績	
1	2	3	4	5	6

2. 整備された土地の面積は、現場で視覚的に確認される。計画と実際の実績を比較する。 整備された土地の集計結果は、表 2 に示される。

表 2. 整備された土地の面積

No	場所	開発された	整地計画	整地の実績	備考(達成
		土地の面積	(Ha)	(Ha)	率%)
		(Ha)			
1	2	3	4	5	6

3. 斜面の安定性とは、特に土砂崩れの発生に関して、整備された土地の安定性を見るものである。斜面の安定性に関する調査結果は、表 3 に示される。

表 3. 斜面の安定性

No	植栽木の場所/	ブロックの面積	土砂崩れの発生	備考
	ブロック	(Ha)	率(%)	
1	2	3	4	5

4. 表土上層部の埋め戻しは、再生活動が良好な状態で成功するよう、土壌の肥沃度を回復させるために行われる。表土上層部の埋め戻しに対する調査結果は、表 4 に示される。

表 4. 表土上層部の埋め戻し

No	場所	埋め戻し計画	埋め戻し実績	備考
		(トン)	(トン)	(達成率)
1	2	3	4	5

B. 浸食と堆積の管理

1. 土壌保全用構造物の建設目的は、計画に記載のある場所や活動の種類に適した調整ダム、チェックダム、放水路、溝制御機、落差工等を作ることである。評価は、企業が保有する計画及び実績報告書の確認と、現場にある土壌保全用構造物を直接観察して行われ、構造物の数、種類、状態(良好もしくは破損)、機能の適合性(役に立っているかどうか)に関する記録も行われる。

調査結果は記録された後、表5のようにまとめられる。

表 5. 浸食と堆積の管理状況

No	植栽木	構造物	数(ユニ	ット)	状態(ユ	ニット)		備考
	の場所	の種類	計画	実績	適合す	あまり	適合し	
	/ブロ				る	適合し	ない	
	ック					ない		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
合計	 							

2. 被覆植物の植付けに対する評価は、植栽準備用地で直接行われる。一方、長期に渡って継続している再生で、主要な植栽木がすでに大きく成長している場合、企業に既存の報告書や書類のデータに基づいて評価が行われる。評価結果は表 6 のように示され

 No
 植物の場所/ブロック
 被覆植物
 備考(達成率%)

 1
 2
 3
 4
 5

表 6. 被覆植物の植付け状況

3. 浸食と堆積に対する評価は、ガリー浸食やリル浸食の発生有無を、現場で直接見て行われる。浸食に対する調査結果は、表 7 に示される。

XII CXC-EGV/LL							
No	植栽木の場所/	面積(Ha)	浸食の発生 (%)	備考			
	ブロック						
1	2	3	4	5			
	合計		(平均)				

表 7. 浸食と堆積の発生

C. 植林もしくは再緑化

1. 植林用地面積

植林用地面積の計測は、Ha 単位で表される植林済みの用地面積で表される植林もしくは再緑化面積実績に対して行われ、再生計画に沿った植林もしくは再緑化の面積計画との比較が行われる。植栽面積の計測は、GPS、セオドライト、その他測定機器を用いて、植林用地を図式化する方法で行われる。植栽面積の計測結果は、1:10,000 縮尺もしくは計画地図の縮尺に合わせて地図化し、面積を計算する。この計算結果は、表 8 のように集計される。

表 8. 栽培ブロック毎の植栽面積

No	植栽木の場所/	植栽面積		
	ブロック	計画 (Ha)	実績	
			(Ha)	%

1	2	3	4	5
	合計			

説明:

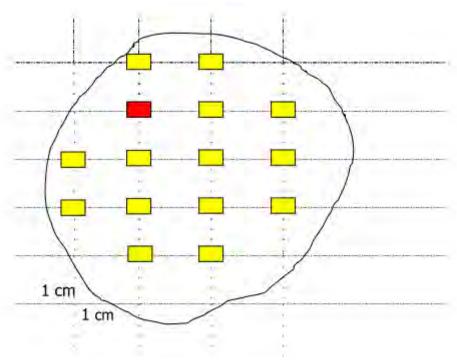
植栽面積実績率(%)=実績/計画×100%

2. 植栽木の生存割合

再緑化の成果としての植栽木の評価は、Systematic Sampling with Random Start 方式 (もしくは、現場の状況に適した他の方法や、有意サンプリング) を用いたサンプリングテクニックを通じて行われる。

植栽木評価実施の測定区画作成の手引書として、1:10,000 縮尺の地図にした植栽木測定区画の指定概要図を作成する必要がある。この概要図には、現場で見つけやすい地理学的座標の基準点を記載する。植栽木の測定区画の指定概要図作成は、以下のように行われる。

- a. 縮尺 1:10,000 の植林成果地図を準備する。
- b. 最初の測定区画を、aの地図上に無作為に設定する。
- c. この最初の測定区画の点を通るライントランセクトを作る。ライントランセクトとは、最初の測定区画を切り取る縦線と横線のことである。縦線は植栽木の列と垂直に、横線は植栽木の列と平行になる。
- d. 最初のライントランセクトから縦線と横線の間隔をそれぞれ 1cm ずつ取り、次のライントランセクトを体系的に作成していく。
- e. 地図上のライントランセクトに、ライントランセクトの交点を中心点とした 4 mm x 2.5 mm 四方、もしくは半径 1.78 mm の円形の測定区画を作る。これで、この測定 区画の分布場所は、評価される全植栽地を代表することになる。分かりやすいよう、 次の概略図を参照されたい。



説明:

___:植栽地境界

: 最初の測定区画(無作為に設定) 4 mm × 2.5 mm 寸法

:体系的に設定された次の測定区画

f. 平らでないブロックや場所(例:元々は道だった場所等)の植栽地は、意図的サンプリング法を用いて、今ある生息数を代表することが可能な特徴を有する測定区画を選定する。

g. 各測定区画で記録、測定されるデータには、植栽木のデータ(植栽樹種、生存している植栽木の数、植栽木の状態(健康、あまり健康ではない、衰弱)、植林間隔、関連データ(土地の自然地理学、土壌の状態、植栽木に対する障害)を含む。

各測定区画で生存している植栽木データは、表9にあるような集計用紙に記録される。

表 9. 測定区画における植栽木評価集計用紙

州: 測定区画 **No**.:

県: 担当者名:

郡: 植林計画: Ni 本

村:評価方式:区画/場所:抽出比:流域 (DAS) / サブ流域 (DAS)ページ:

座標:

面積: **Ha** 植林間隔:

No	植栽樹種	植栽木の状態			備考
		健康	あまり健	衰弱	
			康でない		
1	2	3	4	5	6
1					
2					1. 成長%
3					(ni/Ni×100%)
4					
5					2. 植栽本数/ha (n)
6					
7					3. 種類構成
8					
9					4. 植栽木の成長/
10					健康
11					(3 欄/ni×100%)
12					
13					
-					
-					
_					
ni					
	合計				

評価担当者

D. データ処理

特に評価や得点付けにおいては、使用する方法論に合わせて、レベルに適した得点付けをするため、各評価パラメータは 5 つのカテゴリに分けられる。最も高いパラメータには評価 5 が、最も低いパラメータには評価 1 が付けられる。

1. 整地

整地の達成度は、整備済みの土地面積と、整備が行われるはずである土地面積の比較に 基づいて計算される。

整地の達成度を決定するために、以下のような基準が用いられる。

a. 鉱業跡の穴の埋立て

鉱業跡の穴の埋立てについては、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。埋立て実績が≥ 90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 4、70~79%の場合には評価 3、60~69%の場合には評価 2、<60%の場合には評価 1。

b. 整地済みの土地面積

整備済みの土地面積については、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。実績 が≥ 90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 4、70~79%の場合には評価 3、60~69%の場合には評価 2、<60 %の場合には評価 1。

c. 斜面の安定性については、整地済みの土地における土砂崩れの発生有無より観察され、以下のような5つのカテゴリに分けられる。土砂崩れは起こらないか、非常に軽度(<5%)の場合には評価5、軽度の土砂崩れ(5~10%)がある場合には評価4、中程度の土砂崩れ(11~15%)がある場合には評価3、やや重度の土砂崩れ(16~20%)がある場合には評価2、重度の土砂崩れ(>20%の土砂崩れが発生)がある場合には評価1。

d. 表土上層部の埋め戻し

表土上層部の埋め戻しについては、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。表土上層部の埋め戻し実績が≥ 90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 4、70~79%の場合には評価 3、60~69%の場合には評価 2、<60 %の場合には評価 1。また、既存の報告書による二次データについても、ピックアップ方式による試験で現場の状況を観察する必要がある。

2. 浸食と堆積の管理

a. 土壌保全用構造物の物理的なボリューム

土壌保全用構造物の物理的な容積もしくは数は、今ある構造物数を、計画内に記されている構造物の数で割って算出された割合に基づいて計算される。

 $B = (M/N) \times 100\%$

説明:

B=土壌保全用構造物の数(%)

M=現場にある土壌保全用構造物の数

N=計画内に記載のある土壌保全用構造物の数

また、以下のような5つのカテゴリに分けられる。

土壌保全用構造物の建設が≥90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 4、70~79%の場合には評価 3、60~69%の場合には評価 2、< 60%の場合には評価 1。

b. 土壌保全用構造物の活用

土壌保全用構造物の活用についても、浸食と堆積の管理に貢献しているかどうか、評価の必要がある。この点を見るためには、例えば堆積のある調整ダムの有無、堆積物が土壌保全用構造物へ向かうよう、地表水の流れを導くことが出来る排水路の有無等について、現場で観察を行うことが必要である。土壌保全用構造物の活用に関する評価については、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。非常に役に立っている場合には評価 5、役に立っている場合には評価 4、やや役に立っている場合には評価 3、あまり役に立っていない場合には評価 2、役に立っていない場合には評価 1。

No	土壌保全用構造物の種類	機能/活用
1	チェックダム	1. 上流にある保水地域からの堆積物や地表
		水を制御、コントロールすることが可能。
		2. 下流にある地下水の水位を上昇させる。
2	調節ダム	3. 上流にある保水地域からの堆積物や地表
		水を制御、コントロールすることが可能。
		4. 周辺地下水の水位を上昇させる。
		5. 地域住民にとっては、水貯蔵地。
3	落差工(Drop structure)	地表水の水流速度を落とす。
4	排水路(SPA)	地表水の水流を受けとめて、流すことが出来る。
5	溝制御機	水の削り取りによる溝の拡大を防ぎ、浸食と堆積を
		コントロールすることが出来る。

表 10. 土壌保全用構造物の活用

c. 被覆植物

被覆植物の植付けに関するパラメータについては、以下のような 5 つのカテゴリに 分けられる。被覆植物の植付け実績が≥90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 価 4、70~79%の場合には評価 3、60~69%の場合には評価 2、< 60 %の場合には評 価 1。評価は、植付けの計画と実績、また現場でのピックアップ方式による試験の観察結果に基づく。

d. 浸食と堆積の発生

浸食と堆積の発生に対する評価は、リル浸食やガリー浸食の有無を、現場で視覚的に確かめることで行われる。また、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。非常に軽度な浸食(<5 %)の場合には評価 5、軽度の浸食(6 % ~10 %) の場合には評価 4、中程度の浸食(11% ~15 %)の場合には評価 3、重度の浸食(16 % ~20 %)の場合には評価 1。

3. 再緑化

a. 植林用地

再生活動における植林用地は、チームが実施した測定結果報告書に見ることが可能で、植林計画と比較して地図化される。植林用地については、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。植林実績が $\geq 90\%$ の場合には評価 5、 $80\sim89\%$ の場合には評価 4、 $70\sim79\%$ の場合には評価 3、 $60\sim69\%$ の場合には評価 2、<60%の場合には評価 1。

b. 植栽木の生存割合

各測定区画における植栽木の生存割合は、実際にある植栽木の数と、評価される測定 区画内にあるべき植栽木の計画数を比較する方法で求められる。

T =
$$(\Sigma h_i/\Sigma N_i) \times 100 \%$$

= $(h_1 + h_2 + + h_n) / (N_1 + N_2 + + N_n) \times 100 \%$

説明:

T=植栽木の生存割合(%)

hi=測定区画からiに生存している植栽本数

Ni=測定区画から i に存在するべき植栽本数

また、植物の成長割合の平均は、以下のように求められる。

説明:

R=植物の生存割合(%)の平均

Ti=測定区画から i における植栽木の生存割合

n=測定区画全体の数

植栽木の生存割合については、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。生存実績 が≥90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 4、70~79%の場合には評価 3、60~69%の場合には評価 2、<60%の場合には評価 1。

c. 1ヘクタール当たりの植栽本数

1~クタール当たりの植栽本数は、植林間隔が最高で 4×4 m と定められるため、最低で 625 本となる。 1 ~クタール当たりの植栽本数については、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。 1 ~クタール当たり ≥ 625 本の場合には評価 5、551~624 本の場合には評価 4、476~550 本の場合には評価 3、400~475 本の場合には評価 2、< 400 本の場合には評価 1。

d. 植栽樹種の構成

通常、再緑化活動は、最初は成長が速い植物を用いて行われるが、次の段階では長伐期の在来種を植林し、種類を豊富にしていく必要がある。植栽樹種の多様性は、地域の機能や用途による。対象地域の用途が保護林である場合、植栽木の多様性は、生産林よりも多様で不均質でなくてはならない。保護林向けの植栽樹種としては、在来の優良植物、外来植物、多目的樹木が挙げられる。一方、生産林向けの植栽樹種としては、在来の優良植物の他、緩衝地域用には多目的樹木を使用することが出来る。植栽樹種の構成については、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。植栽樹種の ≥ 40%が長期周期の在来種の場合には評価 5、30~39%の場合には評価 4、20~29%の場合には評価 3、10~19%の場合には評価 2、< 10 %の場合には評価 1。

e. 植栽木の健全度

植栽本数をカウントする際には、植栽木の成長や健康状態についても観察を行う。 植栽木の成長に対する観察は、健康、あまり健康でない、衰弱の 3 つのカテゴリーに 分けられる。

健康な植栽木とは、発育が良く、幹が比較的通直で、葉が密生し、高さは最低でも標準並み、害虫・病気や雑草がない状態の樹木を指す。通常、草刈り、掘り起こし、施肥、害虫・病気や雑草の駆除といった手入れや保育を行えば、植栽木は健康に育つ。あまり健康でない植栽木とは、正常に育たなかった樹木、害虫や病気に感染した樹木、葉が黄色もしくは正常でない色で、幹が湾曲した樹木のことを指す。

衰弱した植栽木とは、正常に育たなかった樹木、もしくは害虫や病気に感染した樹木 で、少し保育をすれば良好に成長する可能性がある樹木のことを指す。

健康な植栽木の割合は、健康に成長している植栽木の数を、生存する植栽木の数で割ることで求められる。また、植栽木の成長は、以下のような 5 つのカテゴリに分けられる。健康な植栽木が ≥90%の場合には評価 5、80~89%の場合には評価 4、70~

79%の場合には評価3、60~69%の場合には評価2、<60%の場合には評価1。

植栽木に対する評価結果のまとめは、次の表 11 に示される。

表 11. 植栽木に対する評価結果のまとめ

ブロック/場所:

面積 :

No	測定区画	数 (本)			健康		在来種		平均植林間
	(ブロッ	計画	生存	成長%	数	%	数	%	隔
	ク)								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	合計								

添付 3. 林業大臣令

第: P. 60/Menhut-II/2009 号

日付:2009年9月17日

州チームと本部チームによる森林再生の成果に対する評価報告書書式

		***	の中田に出る	トッシケコルキ	<u>.</u>	
	;			する評価報告書	r.	
			((企業名) 名義		
# + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	an .					
基本情報	较:			1 . 林地使用 ²	公 进新司	
				No		
				-		万士
					(企業名)	名義
				2. 評価実施	<u> </u>	
			2. その	(H),		
本日、.	年	月	_		を行う者は、	
1.	氏名/公務員基本都	番号(NI	P) :			
	機関:					
2.	氏名/公務員基本都	番号(NI	P) :			
	機関:					
3.	氏名/公務員基本都	番号(NI	P) :			
	機関:					
4.	氏名/公務員基本	番号(NI	P) :			
	機関:					
5.	氏名/公務員基本者	番号(NI	P) :			
	機関:					
6.	以降同様に続く(記	平価チー	ムメンバー)			
以下の.		.(企業/	名) 担当者と	共に、		
1.	氏名:		(役職)			
2.	氏名:		(役職)			
3.	以降同様に続く(企	企業から	の同行チーム	メンバー)		
	M		に位	置する	(企業名)	名義の林州

(企業名)名義の森林再生成果に対する評価の実施結果は、以下の通りである。
1. 林地使用貸借面積 ha
2 . 開発済みの土地面積 ha
3. 森林再生活動面積 ha、使用されている植栽樹種
4. 森林再生成果に対する評価指標に基づき、州
県に位置する(企業名)名義の森林再生の成果に対する評価
は、である。
5. 県
義の森林再生の成果に対する評価実施報告書は、添付にて提出される。
以上、本森林再生の成果に対する評価報告書は、必要に応じて使用されるよう作成された
ものである。

評価チーム

1.署名

2.署名

3.署名

以降同様に続く.....

使用貸借許可地域における森林再生成果に対する評価を実施した。

.....(企業名)担当者

以降同様に続く.....

1.署名

2.署名

3.署名

添付 4. 林業大臣令

第: P. 60/Menhut-II/2009 号

日付:2009年9月17日

最終報告書書式

前書き

チーム構成

目次

図目次

表目次

添付資料の目次

- Ⅱ. はじめに
 - A. 背景
 - B. 意図と目的
 - C. 実施基本
- Ⅲ. 対象地域の概要
- IV. 評価実施
 - A 評価方式
 - B. 評価結果
- V. まとめと提言
 - A. まとめ
 - B. 提言

添付資料

- -評価報告書
- 再生地図
- -評価結果提言

写しは原本と相違ない。

法と組織局長

(署名)

SUPARNO, SH

公務員基本番号 (NIP)

19500514 198303 1 001

インドネシア共和国

林業大臣

(署名)

H. M.S. KABAN

2) インドネシア REDD+国家戦略報告書(全訳)

REDD+国家戦略 (仮訳)

インドネシア REDD+制度準備タスクフォース 2012 年 6 月

目次

- 1. はじめに
- 1.1. 背景
- 1.2. REDD+国家戦略策定の趣旨
- 1.3. REDD+国家戦略文書の構成
- 2. インドネシア REDD+国家戦略
- 2.1. ビジョン、任務、目的、対象範囲および REDD+と他のプログラム との関連性
- 2.2. REDD+国家戦略の枠組みとその柱
- 2.2.1. REDD+制度システムの構築
- 2.2.2. 政策・規則の見直しと強化
- 2.2.3. 戦略プログラムの開始
- 2.2.4. パラダイムとワーキング文化の変革
- 2.2.5. ステークホルダーの参加
- 3. REDD+戦略の実施指針
- 3.1. 実施フェーズ
- 3.2. サブ国家レベル
- 3.3. アクションプランの作成
- 3.4. ビジネス計画の作成
- 3.5. 法的根拠
- 4. おわりに

1. はじめに

1.1. 背景

REDD+(森林・泥炭地の減少・劣化からの排出削減プラス)とは、炭素排出削減に当たり持続可能な森林管理のために途上国に与えられる経済的インセンティブのメカニズムである。1億3000万へクタール以上あるいは国土の70%を森林が占めるインドネシアはREDD+を適用する大きな機会を持っている。インドネシアは、深刻な森林減少・劣化を緩和し、森林・原野セクターから十分に大きな排出削減を行うためのREDD+プログラムの実施に関心を持っている。またインドネシアは気候変動の影響を受けやすいこともあり、地球温暖化を抑制する活動への参加にも関心を寄せている。

土地利用セクターの気候変動対策がインドネシアの持続可能な開発の政策とニーズに合致していることは確実であり、REDD+は低炭素およびグリーンエコノミー枠組み内で進められることとなる。インドネシアは自国の資金を活用した場合、2020年までに他セクターの発展を妨げることなくBAU開発シナリオ比26%の排出削減を、もしくは国際援助を受けた場合、41%の排出削減を公約した。政府は年間7%の経済成長を目指すと同時に、この排出削減目標の達成を行う。この公約の実現に向け、政府は温室効果ガス排出削減に対する国家アクションプランに係る2011年大統領令第61号および、国家温室効果ガス・インベントリ実施に係る2011年大統領令第71号を発布した。REDD+は森林や泥炭地、農地や農業地域の管理による温室効果ガスの目標値の達成をサポートするものである。

1.2. REDD+国家戦略策定の趣旨

REDD+国家戦略は次の趣旨をもって作成されている。

- (1) REDD+プログラムの実施のための効果的な制度構築準備。
- (2) REDD+スキーム実施確保のための統合的な管理システムおよび規則の基礎と方向性の 明示
- (3) インドネシアの天然林および動植物を保全する取り組みのための組織的かつ統合的な プロセスおよびアプローチの開発。
- (4) 林産物および/あるいは農産物ならびに炭素吸収・蓄積などの環境サービスのための林 地および泥炭地利用における投資拡大のパターンを示すこと。

1.3. REDD+国家戦略文書の構成

第2章ではREDD+国家戦略の詳細に言及する。国家戦略は次の要素を含む。

- (1) インドネシア国内での REDD+実施のビジョン・任務・目的・対象範囲および、気候変動に対する政府の様々な取り組みプランとの調和。
- (2) REDD+国家戦略枠組みおよび5つの柱。
 - i) REDD+に係る制度の発展
 - ii) 政策や規則の見直しと強化
 - iii) 戦略プログラムの開始

- iv) パラダイムおよびワーキング文化の変革
- v) ステークホルダーの参加

第3章では、新設予定の3つの機関と制度(REDD+エージェンシー、REDD+基金、REDD+MRV機関)のREDD+戦略実施に対する方向性に言及する。国家戦略で義務化されているREDD+プログラムのサポートシステムの全面的な開発には制度の設計・構築、担当者の任用、訓練およびキャパシティビルディングを通じ2-3年を要すると考えられる。インドネシアでは2014年にREDD+完全実施が期待されている。パイロット州におけるREDD+の実施については第3章で述べる。

第4章では、REDD+実施の各段階におけるアプローチの必要性について述べる。REDD+は単に気候変動緩和や炭素排出削減からの便益を目的とするのではなく、生物多様性や水文システムなどの環境サービスの持続性が向上するという総体的な森林管理の向上も目的としている。

2. インドネシア REDD+国家戦略

インドネシアREDD+国家戦略は下記の要素で構成されている。

- (1) REDD+のビジョン、任務、目的、対象範囲および他の政府プログラムとの関連性。
- (2) REDD+枠組みとその柱。

2.1. REDD+のビジョン、任務、目的、対象範囲およびREDD+と他プログラムとの関係性ビジョン

国民の繁栄のために最大限に活用されうる国家財産としての持続可能な森林および泥炭 地の天然資源¹の管理。

任務

下記により達成される効果的管理をつうじて、持続可能な森林および泥炭地の管理ビジョンを実現する。

- (1) 森林および泥炭地の管理システムの機能強化。
- (2) 法令の整備と法令遵守の強化。
- (3) 森林および泥炭地の資源管理能力の向上。

目標

(1) 短期目標(2012-2014):

経済成長を保ちながら温室効果ガスを削減するインドネシアの公約が実現されるよう、

 $^{^{1}}$ ここでいう天然資源とは、1945 年憲法第 33 条で述べられた土地、水および大気などを意味する。

空間規則、投資環境、制度および管理システムの戦略的向上が図られる。

(2) 中期目標(2012-2020):

2020年までに26-41%の排出削減目標を達成するため、森林・泥炭地管理システムと、 それまでのステップですでに達成・開発された財政確保とメカニズムにおいて、構築 された政策・プロセスに従いガバナンスが実施される。

(3) 長期目標(2012-2030):

森林の経済的機能および生態系サービス機能を持続させるための適切な政策実施の結果として、2030年までにインドネシアの森林・原野が最終的なカーボンシンクとなる。

原則

インドネシアにおけるREDD+は、有効性・効率性・公平性・透明性・説明責任の5つの基準を基に実施される。各々の基準は以下の通りである。

- (1) **有効性**: REDD+活動を通じて排出が削減され、明瞭で計測可能な追加的便益が得られること。
- (2) **効率性**:インドネシアにおけるREDD+活動は最適な財政的・生態的・社会的な便益を もたらす長期的活動であること。
- (3) 公平性:森林管理において、すべての人々の平等の原則および社会経済ならびに環境変化の影響を受けやすい女性や住民グループを含む者を対象とする人権保護の原則の下でREDD+が実施されること。
- (4) **透明性**: REDD+活動は、その内容を完全に理解し、関係者が参加機会を得ることができるよう、透明性を保ちつつ実施されなければならない。
- (5) **説明責任**: REDD+の実施は、妥当性・プロセス・資金・結果において、インドネシア 国民や国際コミュニティーに対し責任を負うものであること。

対象範囲

インドネシアにおけるREDD+プログラムは次の活動を含む。

- (1) 森林減少に起因する排出の削減。
- (2) 森林および/または泥炭地の劣化に起因する排出の削減。
- (3) 次の活動による炭素ストックの維持および蓄積:
 - a. 森林保全
 - b. 持続可能な森林管理
 - c. 荒廃地の復旧および回復
 - d. 排出削減に伴う追加的便益の創出
 - e. 住民の福祉向上
 - f. 生物多様性保全の向上
 - g. その他生態系サービス保護の向上

2009年法律第41号森林法の第1条(b)および(c)に従い、REDD+プログラムは全インドネシアのすでに指定された、あるいはREDD+国家戦略策定時にはインドネシアの森林として登記されていない、森林地域²とその他利用地域(APL)における林地(マングローブ林を含む。) および泥炭地において実施される。

全REDD+活動/プロジェクト/プログラムにおいて、独立機関による報告および検証のため、 上記便益に係る活動結果を計測することが義務付けられる。

REDD+と他プログラムの関連性

国家気候変動対策プログラムは、いくつかの空間規則、森林および環境に係る法律・規則に基づく。つまり、空間規則に係る2007年法律第26号、森林に係る1999年法律第41号、環境保護および管理に係る2009年法律第32号、温室効果ガス排出削減のための国家行動計画に係る2011年大統領令第61号、温室効果ガス・インベントリに係る2011年大統領令第71号である。これらの法令は気候変動問題の調査や、いくつかの対策プログラムの開発を国家レベル/地域レベルの中期開発計画へ統合することを命ずるものである。森林および土地利用セクターにおける気候変動方策の実施に当たり、REDD+戦略プランは政府の主要提案として推進される。

気候変動方策の主要な枠組みは上記で述べた3つの法律で示されるが、REDD+プログラムの実施はそれ自体で成り立つものではなく、土地に関するすべてのセクターの法律、政策および活動の影響を受ける。これは、国家レベルおよびサブ国家レベル開発プログラムにおいてREDD+を主流化にすることを含む。REDD+国家戦略は、森林・原野の管理に係る当該セクターと他セクターの全法令の理解、ならびにインドネシアの森林、泥炭地および全土地利用に係るガバナンスと管理の理解に基づいて推進される。REDD+を効果的に実施するためには、土地に関するすべてのセクターの管理規則システムと管理システムの見直しが可能となる状態を実現する必要がある。そのため、森林および土地利用セクターにおける気候変動政策の実施における政府の主要取り組みとして、REDD+国家戦略は森林や土地利用の管理規則および管理の実施に関係するセクターと非セクターの全法令と制度システムに必要な改善と調整のための権限を持つ。

UNFCCCを通じた国際的水準の協議結果を考慮したうえで、インドネシア気候変動部門指針 (ICCSR) の設定と公表を行う。またICCSRは国家水準として、温室効果ガス排出削減のための国家アクションプランやREDD+国家戦略策定の際の参考指針としての役割を担っている。REDD+国家戦略を政府ワークプランへ組み入れ、REDD+実施のための資金を国家予算から手当てするため、国家REDD+アクションプランにおいては技術レベルの詳細が説明されなければならない。

地方レベルでは、温室効果ガス地方アクションプランを通じ温室効果ガス国家アクションプランを解釈できる。特にREDD+に関しては、REDD+国家戦略および温室効果ガス地方

²上記の森林地域(kawasan hutan)は国が管理する土地をいい、その他の利用地域(APL)は地方政府が管理する土地をいう。

アクションプランは地方のREDD+実施のための戦略およびアクションプランに取りこまれ、 さらに地方政府事業計画(RKPD)および地方財政(APBD)に組み込まれる。

2.2. REDD+国家戦略枠組とその柱

REDD+の戦略枠組は下記の長期目標達成を目的とし開発された。

- i) 土地利用、土地利用変化および林業部門に起因する温室効果ガス排出削減。
- ii) カーボンストックの増加。
- iii) 生物多様性保全の向上。
- iv) 森林の経済機能の価値と持続性の増進。

REDD+プログラムは図 2.1.の 5 つの柱で構成されている。これらの 5 つの柱は REDD+目標達成の取り組みの中で相互に関連している。

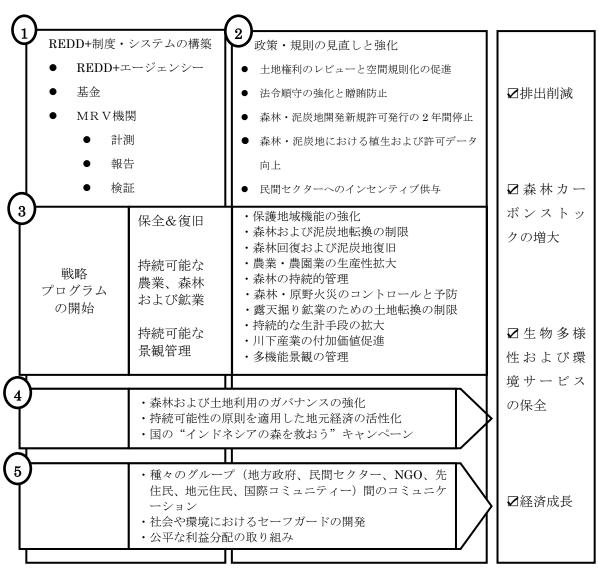


図 2.1. 5 つの主要な柱を持つ REDD+国家戦略フレーム

2.2.1. REDD+制度・システムの構築

REDD+の制度・システムは、良好なガバナンス、全関係者の参加を確実にすること、目標達成のためのコスト効率性、REDD+に関するすべての実施活動の説明責任、を原則として設計される。国家レベルで3つの体制が設けられている。つまり、REDD+エージェンシー、REDD+基金、REDD+の測定・報告・検証を行うREDD+MRV機関である。

サブ国家レベルとして、州政府は REDD+国家戦略を基にした REDD+地方戦略およびアクション・プランを策定・実施する REDD+体制を設けることができる。州の REDD+体制は以下のテーマごとの活動を調整する。

- i) 排出削減の測定、報告および検証。
- ii) REDD+基金の有効性の保証。
- iii) REDD+地方プログラム/プロジェクト/活動進展の国家エージェンシーへの定期報告。

また、県も一貫的かつ効率的に県レベルの REDD+の活動を調整し、州レベルの機関に定期報告を行う REDD+体制を設けることができる。REDD+活動/プロジェクト/プログラムの進展に関するデータと情報は国家レベルの REDD+エージェンシーにあるデータの基盤となる。

REDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者は、サブ国家レベルの REDD+機関の推薦の下、REDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施および国家 RRED+機関への登録のための一定の規則と基準を満たす機関/組織である。実施者は、事業体、市民団体、地方政府機関や住民グループなど多種多様である。REDD+プログラム/プロジェクト/活動の登録に係る要項は国家 REDD+エージェンシーによって定められる原則に基づき、地方で進められ、かつ、地域の風習や知恵に則したものでなければならない。

2.2.1.1. 国家 REDD+エージェンシー

国家 REDD+エージェンシーは、法に則り設立され大統領への直接報告義務を負う。また、エージェンシーの代表は政府大臣と同等の立場である。エージェンシー設立の目的は以下の通りである。

- (1) 国家レベルのガバナンスを行い、インドネシアにおける全 REDD+活動のコーディネートを行う。
- (2) 森林および泥炭地の減少・劣化を軽減する森林および泥炭地の管理規則システムの改善促進につき監督・規制する。
- (3) REDD+実施の統合システムの条件に従い、効果的な資金提供サービスと REDD+プログラム/プロジェクト/活動を運営する関係者間の公平な利益分配を保証する。

REDD+エージェンシーの任務

REDD+エージェンシーの任務は、中央およびすでに地方分権化された地方において、課題ごとの調整および関係各省間および機関間にすでに存在する作業・調整機能の効果を向上させることである。

- (1) REDD+エージェンシーは下記事項に対する強力な統治機能を有する指定国家機関 (DNA)である。
 - a. REDD+スキーム実施のための規制枠組みの立案。
 - b. REDD+プログラム開発の促進。
 - c. 森林および泥炭地の管理規則システムの改善促進の規制。
 - d. REDD+プログラムがもたらす利益の公平な分配確保のためのキャパシティビルディング促進。
 - e. REDD+スキームに起因する炭素排出に係るトレードの規制。
 - f. REDD+ MRV 機関の形成推進、測定・報告・排出削減の検証と認証、カーボンストックの保護と増加に係る規則の制定およびそれらの実施監督。
 - q. REDD+基金の形成促進、および活動に基づく支払いに関する規則の制定。
 - h. セーフガード・メカニズムの開発促進、REDD+セーフガード実施情報システム (SIS-REDD+) の構築促進、セーフガード実施監督委員会の形成促進、および REDD+のプログラム/プロジェクト/活動実施のための財政、社会、環境分野の統合 システムの実施承認と調整。
- (2) REDD+エージェンシーは数ある省庁/機関間、および中央政府と地方政府間の調整機能を高める。また、REDD+プログラムの実施に関係する省庁/機関間の権限に関する問題を特定し、解決するための調整を行う。
 - a. 中央政府機関/セクター間や中央政府と地方政府間における政策やプログラムの調整および同調。(空間規則や土地利用許可に関する問題を特に重要視するが、この問題のみに制限されない。)
 - b. 森林および泥炭地保護のための法令順守のプラン作成と調整。(特に違法な伐採・土地利用および火入れによる土地開墾を重要視するが、この問題のみに制限されない。)
 - c. REDD+の実施、資金調達、実施の準備、機関内のキャパシティビルディングと人材 開発、REDD+に関連する事業への着手のために、州戦略・アクションプラン(SRAP) の開発を行うモデル州を支援・調整する。また、REDD+プログラム実施に相応しい 森林を持つ州における REDD+プログラム実施準備のサポートも上記よりは低いレベルだが行う。
 - d. 2011 年 5 月 20 日に発令された 2011 年大統領令第 10 号「新規許可発行の停止および原生林および泥炭地管理規則の整備」の実施調整。

- e. 中央および地方政府の REDD+に係る政策/プログラム間の調和を確実にするための 奨励制度再編成の調整。REDD+エージェンシーはレビューのプロセスを調整し必要 に応じ、中央政府から現在実施している地方政府への種々の物理的移転メカニズム のレビューを提案する。
- f. 能力のレベルに応じ、州 REDD+エージェンシーへ付与される種々の権限の実施調整。
- (3) REDD+エージェンシーはインドネシア国内および海外のすべての利害関係者の政策会 話と参加支援を行う。
 - a. 国内外の利害関係者との効果的コミュニケーション・システムを構築・促進し、生産的な活動関係を築く。
 - b. 国際的な交流、コミュニケーションおよび協議を実施する中で国際・戦略フォーラムにと戦略に備えたインドネシアの REDD+政策および見解の開発調整。

REDD+エージェンシーのガバナンス

REDD+エージェンシーは、以下のいくつかの異なる、しかし、相互に関連する機能を持つ。

- (1) 指導者機能: REDD+の提案、計画作成および実施における指針の付与あるいは施策の決定。
- (2) 実施者機能: 前もって説明された任務の遂行。
- (3) 監督者機能: REDD+プログラムの実施に対する監督。

REDD+エージェンシーのメンバーの構成について、指導者および監督者機能は各省庁/機関の代表、先住民/地元住民組織の代表、一般住民組織の代表、産業界の代表、および関係する学会の代表から成る。実施者機能は一定の見識を有す PNS および非 PNS の専門員から成る。

2.2.1.2. 基金

REDD+基金の構築は REDD+エージェンシーが行うこととする。基金は、様々な資金源からの潜在的資金、種々の潜在的利用者と利用、および多方面の管理規則に基づき運用される。

- (1) 林地および/あるいは泥炭地の管理からの潜在的排出削減に従い、REDD+プログラム/ プロジェクト/活動の開発をサポートする。
- (2) REDD+プログラム/プロジェクト/活動を推進すること、および/あるいは、便益を得る ことに関心のある将来のドナーや投資家のために、国際的に信頼される資金流動メカ ニズムを提供する。
- (3) 効率的な基金利用の促進および REDD+プログラム/プロジェクトの開発がもたらす利

益の公平な分配の推進。

(4) セーフガードの3要素、つまり、信用、社会、環境の実施基盤の確保。

基金の任務

効果的な運営の為、REDD+基金は次の任務を担う。

- (1) 世界的に認証されたセーフガードと説明責任の基準に基づき、政府財政システム (APBN)とは別途、自主的、専門的かつ確実に REDD+基金を管理する。国家財政や外 国政府からのインドネシア政府への援助(政府間)による公的資金は、on-budget、 off-treasury として管理されるか、もしくは信託基金を通じて国家財政内に明記される。
- (2) 制度的・計画的・専門的な資金調達を通じた国内外の公的および民間部門からのさまざまな資金の運用。また、様々なカーボン市場、商品市場、金融市場、・資本市場のメカニズムを活用することができる。カーボン市場へのアクセスや他の資金源開発による REDD+活動支援の資金調達については、本 REDD+国家戦略が提唱するビジネス計画文書において説明する。
- (3) 以下のために基金メカニズムが作られる。
 - a. REDD+国家戦略実施のサポート。
 - b. REDD+活動の調整や割り当てられた機能の発揮など REDD+エージェンシーが行う 活動のサポート。
 - c. 直接的/間接的に温室効果ガス排出削減へ導く REDD+プログラム/プロジェクト/活動の基盤開発のための資本投入。
 - d. 排出削減効果をもたらす取り組みおよび/あるいは REDD+プロジェクト実施において直接貢献する準備段階の活動(空間規則の調査や州レベルの材木合法性検証実施など)、あるいはインフラ開発(大規模泥炭地の排水路封鎖など)への資金提供。
 - e. 戦略活動および/またはそれをサポートする政策のためにそのエリアの排出削減を 実現する条件を整えた場合、地域政府やNGO、コミュニティーやその他グループの 実績に対する報酬の支払い。
 - f. 登録されている REDD+活動/プロジェクト/プログラム実施者への、検証された排出 削減に対する報酬の支払い。
 - g. 国民代表会議による地区土地計画(RTRW)承認等、政府の政策に対する一定レベルの順守達成に対するインセンティブの供与。
 - h. REDD+活動を行う人材および各機関のキャパシティー・ビルディングのプログラム /活動を直接的に支援。
 - i. 地域政府や民間投資者による REDD+への投資の宣言に係るカウンター資金の管理。
- (4) REDD+プログラム/プロジェクトが承認される前段階での信用上のセーフガードのプ

ロトコールとその実施を確実なものとする。

- (5) プログラム/プロジェクト/活動が資金を受ける以前の段階で、信用上の、あるいは社会・環境上のセーフガードなど、すべてのセーフガードの条件の実施と達成を確実なものとする。
- (6) インドネシアが REDD+国家戦略から全面的実施の段階に入る準備が整った時点で期待されるカーボン市場について、その運用規則の整備に関する基金および報酬のルールを調整する。

REDD+基金の説明責任メカニズム

REDD+基金の信頼性維持のため、業務の最大限の透明性を保証する説明責任メカニズムが整備される。独立会計監査は優良な 5 つの国際監査機関のうちの 1 つにより定期的に実施される。REDD+基金の財務報告および監査報告は REDD+エージェンシーの長に提出され、かつ、一般公開される。また、REDD+エージェンシーの長は、国家財政からの資金、かつ/または他国政府からの資金援助であることを説明するために、これらの報告書を財務大臣に提出する。

2.2.1.3. REDD+の計測、報告および検証(MRV)機関

MRV とは、REDD+活動/プロジェクト/プログラムによる温室効果ガスの排出削減および蓄積の維持・増加についての計測、報告および検証を定期的に行うものである。REDD+基金が有効的な REDD+活動/プロジェクト/プログラムの実施に対し支払う報酬は、その結果を基に決定される。MRV 機関の組織編成は REDD+エージェンシーが行う。MRV 機関は、REDD+エージェンシーにより承認される、UNFCCC の決定に従い MRV の業務方針、基準およびメカニズムを整備し、かつ、MRV 活動を調整するために設立される。MRV 機関はREDD+エージェンシーの調整の下、独立して運営される。

MRV 制度の目的と原則

MRV 制度の目的は、活動/プロジェクト/プログラムの実施による温室効果ガスの排出削減について計測および報告を行うメカニズム、ならびに UNFCCC が決定した方法論やモダリティに則した独自の検証メカニズムを通じて REDD の実施を支援することである。このアプローチによる検証プロセスは、「国家レベルとして検証された排出削減」および「サブ国家レベルとして検証された排出削減」を生み出す。自発的なカーボンマーケットの潜在的発展からの利益を享受するため、検証メカニズムは信頼のできる独立第三者機関によって開発される。この独立第三者機関の行う検証により、第三者認証排出削減(VER)が発行される。信任された排出削減認可機関が認証を行った後この検証が完了すると、認証排出削減の書類が発行される。検証済み国家/サブ国家レベルの排出削減およびVER/CERは、

REDD+活動/プロジェクト/プログラムのための金銭的報酬の支払い基準となる。 MRV 機関は信用性の高い透明性を確保する為に下記の原則を基に設立される。

(1) 一貫性:

REDD+の成功度合いを計るベースラインとして参照排出レベルを設定する。従って、MRV機関は、どのREDD+活動においても適用可能な一貫した方法論(実施場所や時期などに左右されない)を確保しておかなければならない。

(2) 完全性:

地上(樹幹、小枝、葉) および地下(根) ならびに一部あるいは全部が分解されたバイオマス(ネクロマス・肥料・泥炭) など、生態系のすべての要素についてのカーボンストックの十分な情報を持つ。

(3) 精度:

データの精度は排出削減の有効性に関わる重要な要素である。

(4) 透明性:

報告された排出削減の計測結果および方法論は、MRV 機関による公開情報としてその透明性が保証される。

(5) 比較性:

計測結果は異なる時期に実施された同じ活動/プロジェクト/プログラムにおいて、あるいは同じタイプの活動/プロジェクト/プログラムにおいて比較することができる。

(6) 独立性:

排出削減の検証機関および認証機関は、一定の基準を満たすことを前提として認定される。

MRV 機関の任務

MRV 機関は全国で次の任務を遂行する。

- (1) REDD+エージェンシーが承認した MRV 活動に係る政策や基準、様々なメカニズムの 策定。この策定には、現場レベルから国家/サブ国家レベルにいたる様々なレベルにお ける温室効果ガスの算出についての調整、調和、確認および検証のメカニズムが含まれる。これらの MRV システムは UNFCCC の決定および IPCC のガイドラインに則り 開発される。
- (2) すべての国家レベルの REDD+活動におけるすべての森林および泥炭地のための温室 効果ガスの全インベントリを取りまとめる。温室効果ガスのインベントリは、インドネシア全土からのカーボン全排出および全蓄積量が対象となる。
- (3) 登録所や情報センターとしての機能を有し、関係者がアクセスできるよう、関連する 空間・非空間データの管理および処理を行う。
- (4) 関係する国家および国際機関やマーケット参加者への報告メカニズムの開発。
- (5) 社会的および環境的安全活動評価のためのセーフガード推計の統合。

- (6) MRVシステムと REDD+セーフガード実施情報システム(SIS-REDD+)の調整。
- (7) 林地利用の変化やそれらがカーボンストックや生態系サービスに及ぼす結果に関する データの精度を上げるために、森林資源モニタリング・システムを MRV システムに統 合する。
- (8) 一つのサイトあるいは REDD+活動/プロジェクト/プログラムからの排出削減に関する 検証結果の情報を、報酬支払プロセスのため、基金管理組織に対して提供する。
- (9) REDD+プログラム/プロジェクト/活動の一連の実施者に対し、計測および報告 (M+R) 能力の向上を図る。(排出削減の取り組みにおける内部精度コントロールの必要性のために。)
- (10) 地方 REDD+エージェンシーにおける MRV 実施の調整能力を向上させる。

MRV システム開発の段階

REDD+のための MRV システムは次のステージに従い、優良事例に従い、あるいは国際 的最高水準の MRV を満たしながら実践されなければならない。

- (1) インドネシアは 2013 年末までに、パイロット州および優先州におけるサブ国家の集積 の必要性のため、プロジェクト・サイトおよび景観レベルにおいて、IPCC 第 2 段階の 実施準備ができている。
- (2) 2014 年の末までに、サブ国家の全レベルにおける集積の必要性のために、全プロジェクト・サイトにおいて IPCC 第 3 段階を、景観レベルにおいて第 2 段階 MRV を実現するためのすべてのシステムが整う。
- (3) 2014 年の末までに国家レベルの MRV システムが、少なくとも IPCC 第 2 段階を効果的に実現する。

2.2.1.4. REDD+エージェンシー、基金機関および MRV 機関の関係性

- (1) REDD+エージェンシーと基金および MRV 機関の関係性:REDD+エージェンシーは、 効果的に透明性と説明責任を持って基金機関およびMRV機関をコントロールする強力 な権限を有する。
- (2) REDD+エージェンシーと基金の関係性: REDD+エージェンシーは基金管理のための優先順位・戦略・方策を決定する。
- (3) REDD+エージェンシーと MRV 機関の関係性: REDD+エージェンシーは独立した第三 者機関による検証に係る方策の設定だけでなく、計測および報告のための方策・規則・ 基準の設定も行う。
- (4) 基金と MRV 機関の関係性: (a) MRV 機関は実績ベースの資金提供を行う基金に対して、ある REDD+プログラム/プロジェクト/活動からの排出削減の検証結果に関する情報を提供する。(b) 基金は MRV 機関と協働で、社会的および環境的セーフガードに対する評価のプロトコールを開発する。

2.2.2. 政策・規則の見直しおよび強化

効果的・効率的・持続可能なREDD+スキームの実施には、法令基盤の強化および政策や規則の整備が必要となる。上記の2つのことがらには、地域空間規則と土地利用規則の見直し、土地に対する権利の規則化、許可管理規則の改善、現地における種々の紛争解決と技術的問題の解決、ならびに法令順守が必要となる。したがって、REDD+エージェンシーは気候変動のコンテクストに関連性のある法的枠組み(CFLF)を構築する任務を担っている。この枠組みは農業の再生と天然資源管理に関する2001年下院決定第9号のより詳細な一つの項目となる。この様に構築された法的枠組みは、方策強化のための様々な戦略の評価・調和・実施のベースとなる。これら方策と法令のレビューおよび改定の措置は、森林および空間規則関連法の改定に、それのみではないが、含まれる。この様にして、REDD+実施や森林および土地管理セクターの管理規則改善は、全体としてその実施において強固、完全かつ明確な法的基礎を有す。

さらに、2010-2014 年国家法制プログラムにおいて法律企画(RUU)の一つとなっている天 然資源管理関連法に関し、その法制化プロセスの加速化に伴い、天然資源管理の規則と方 策の全般的整備が進められる。このような方策の強化とともに、これ以降の章で言及する 種々の問題点の解決のための様々なステップが同時に実施される。

2.2.2.1 空間規則および利用

空間規則および利用に関しては、次の項目を通じ調整を行う。

- (1) 国家空間規則調整庁に関する 2009 年大統領決定第 4 号の改定により、国家空間規則調整庁の権限と機能が強化された。この強化とは、司法的・生物物理的・生態的・社会経済的・文化的側面を含む、空間規則の決定と自然保全力に基づく森林・原野をベースとする取り組みのために用いられるデータ・情報を同調させるために用いられる。
- (2) 土地利用の推薦や許可の発行権限を持つ全ての省庁・機関による森林地域、および/または、その他用途地(APL)のあらゆる種類の利用許可のために図面の利用を可能とする 図面の統合と図化を任務とする 2011 年法律第 4 号「地理空間情報」の実施促進。
- (3) 空間利用の紛争解決と以下による対応策において、事前に作成された気候変動に関連 する法令のフレームに取り込まれる許可、方策および法令の調査。
 - a. 2007 年法律第 26 号「空間規則」、1999 年法律第 31 号「汚職犯罪」、2009 年法律 第 32 号「環境保護と管理」および関連規則に定められた罰則規定に従って、法律違 反と見なされる許可付与についての調査結果について法務的(行政的、司法的、懲罰 的)対応をとる。
 - b. 透明性と説明責任を有する統合的な許可システムの開発と、規則や官僚的、行政的

説明の簡易化を行い、特に地元住民による中小規模の取り組みのため効率的な公的 サービスと支援となる投資機運を実現する。

(4) 環境インベントリ、エコリージョン分割、環境保護・管理計画の作成、および 2009 年 法律第 32 号「環境保護および管理」においてすでに規定されている戦略環境調査の編 成に関連する政府規則計画の作成を促進する。

2.2.2.2. 土地所有規則

住民の天然資源に対する制限と権利に関する明確化は、憲法上の権利である。土地所有規則あるいは土地に関する権利は REDD+実施が成功するために重要な必要条件のひとつである。次の事項を通じ、土地所有の条件が示される。

- (1) 政府から内務省および国土庁に対し、先住民やその他の地元コミュニティーの存在についての調査を行うよう指示が出される。
- (2) インドネシアの種々の法令において定められた法定外の紛争解決メカニズムを通じて 実施可能な土地所有の紛争の解決を国土庁が行うよう支援する。
- (3) 天然資源の利用許可の決定において、プライアー・コンセント(強制なしの事前同意) の原則を用い、同プロセスを進めるために、天然資源の管理と利用に直接関係する法令や他の方策との調整を行う。

2.2.2.3. 森林および泥炭地の管理

森林および泥炭地における温室効果ガス削減で最重要条件は、組織的かつ持続可能な管理を可能にする森林および泥炭地の管理の保証である。森林および泥炭地の管理は、地域の行政的管理のみではなく生態系のアプローチを取らなければならない。その条件を実現するためには下記が必要不可欠である。

- (1) 林地およびその他用途地(APL)に分類されるエリアにおける森林と泥炭地の管理・復旧 に関連する方策および法令の調和を図るための、すべての関係する森林地域/原野(K/L) の見直しと調整。
- (2) プロジェクト/現場レベル(森林管理ユニット/KPH)における森林・原野の管理組織および森林地域内外³における泥炭地のための同様の組織の設立促進。さらには、特に林産物に関する許可の存在に関して、森林管理ユニットがない状態から森林管理ユニットが存在する状態への移行に伴う法的枠組みを決定する必要もある。
- (3) 将来的に REDD+実施対象地として永久的な森林地域に成り得る森林地域の森林およ

³ 森林・原野(hutan dan lahan)でいう森林は国有林、原野は国有林以外の土地をいう。また、森林地域(kawasan hutan)はすべて国有林であり、森林地域内外とは国有林およびそれ以外の土地も含めた地域を意味する。

び/または泥炭地の土地区分変更や、転換生産林およびその他用途上地(APL)にある林地および/あるいは泥炭地と永久森林地域内の荒廃地との土地スワップ促進のためのメカニズムや法令の準備。

(4) インセンティブ方策を通じた持続可能な森林管理(PHL)の認証プロセスのように、許可 取得者の活動について第三者による評価システムの役割を高め整備する。

2.2.2.4. 森林のモニタリングおよび法令順守

森林地域、泥炭地および他用途地の利用許可手続きにおける違反に対し、明瞭で一貫性のある法律順守(行政的、立法的、司法的に)は以下の通り。

- (1) 検証機関や監査員への研修を含む、合法木材や持続可能な森林管理の検証システムの 実施。
- (2) One Roof Enforcement System (1 原則に基づく執行制度)の下、任務に就く検察官および警官の能力強化。
- (3) 森林セクターを含む持続可能な開発のパラダイムについての一貫性と知識に基づき選 定されたメンバーを有する森林問題(グリーンベンチ)を含む環境案件を裁く特別な裁 判官の養成。

2.2.2.5. 新規伐採許可の2年間の発行停止

政府は2011年5月20日、2011年大統領指令第10号「新規許可の発行停止および原生林と 泥炭地の管理規則」(大統領伐採禁止令)を発令した。この禁止令は、森林地域およびその他 用途地における森林および泥炭地管理規則の向上を通じ、種々の土地関連セクターからの 温室効果ガス排出削減の取り組みにより国家経済発展のバランスと調和を図ることである。 2年間の停止は必要に応じ期間の延長も起こりうる。この停止期間には次のステップが踏ま れることとなる。

(1) 許可の整合

- a. 森林地域およびその他用途地における森林および泥炭地の利用許可のすべてについて、さらに、それらの土地の利用機能の法的位置づけ、およびそれらの土地に関するすべてのクレームについて識別、調査、特定を行う。
- b. 現行の手続きや規定に従わないで発行された許可につき、法令上の最適化を行う。
- c. 許可書発行管理を向上させ、より高い透明性と信用性を目指す。
- d. 土地利用区分の変更可能地を識別する。また、永久森林地域における荒廃した森林 と泥炭地を転換生産林およびその他用途地における良好な森林および泥炭地と交換 する。

(2) 最も存続が危ぶまれる森林地域の救済

- a. 荒廃したエリアのインベントリおよびモニタリング・報告・検証のニーズに見合う データベースの作成を行う。
- b. 森林地域および区分の見直し、空間利用規則に従い境界区分を行う。
- c. 地域の知恵に基づく保全活動を進める。

(3) 論争解決

- a. 新規許可書発行停止期間中、地元コミュニティーを全プロセス (計画から実施、評価まで) に参加させる。
- b. 人権原則を採用した国内法および国内法的機関がすでに調印した国際HAM条約・文書に記されている人権基準に基づいて天然資源に関する紛争解決の代替モデルを作る。
- c. 地域の知恵をベースとして紛争解決の機会を得る。また、様々なセクターや独立機 関からの代表者で構成する論争解決チームを設立する。
- d. NGO(国営企業/地方政府企業/私企業が管理する森林管理ユニットを含む。)に対し、 プライアー・コンセントや人権基準を通じた包括原則が組み込まれた標準運営手順 の作成を義務付ける規則を制定する。

2.2.3. 戦略プログラムの開始

戦略プログラムは持続可能な景観管理効率の向上や持続可能な天然資源利用に基づく経済システムの実施、土地保全および復旧を目的としている。また、これらの3事項を可能とするすべての前提条件の変化も達成可能である。図2.1で示したREDD+国家戦略のフレームをふまえると、これらの3つのプログラムを可能にする条件は、REDD+戦略プログラムの実施から切り離せない一部分である。またパラダイムとワーキング文化の変革プログラムおよび全関係者の参加が必要となる。

2.2.3.1. 持続可能な景観管理

このアプローチはいくつかのセクターと長期的利益を統合する景観管理システムに基づいている。種々のセクター(特に工業・林業・アグロフォレストリー・農業・鉱業部門における統合された開発の目的は、低炭素排出を実現するグリーンエコノミーを目指すことである。)のアプローチは次の活動を通し適用される。

- (1) 州レベルの土地使用計画の促進/隘路打開
- (2) 効果的な森林管理ユニットの形成のための条件として、森林地域の境界確定を徹底し、 かつ土地の権利所有者を認定することの促進/隘路打開
- (3) 現地における管理ユニットおよび管理体制を確立するために、森林地域および他用途地における森林と泥炭地の管理ユニットの形成を促進/隘路打開する。この促進は、教育・研修システムの開発、管理ユニットおよび/または当該地の存する地方政府に対す

るインセンティブ・システムの開発、および資金源の開発についても支援される必要がある。

- (4) 生態系地域および行政地域において適用される統合的土地利用・開発計画を通じた景観/エコリージョン/多機能水源地域の計画作成と管理は、種々の組織(事業組織/ユニット、事業規則および全関係者の参加)の形成、K/L 境界に関するプログラムの調整、および計測されモニタリングの可能な目標の設定と並行して実施される。
- (5) 事業地の拡大、住民管理の機会と地域の拡大、住民参加の持続性と確実性の保証、およびローカル技術の向上と5種類の資本、つまり物的資本、金銭的資本、天然資源へのアクセス、人的資源、およびローカル資源の生産性ならびに持続性原則を目指した社会資本、を指向する能力向上に基づく持続可能な地域経済の開発。
- (6) 火災のコントロールと予防は、防止および消火で実施される。早期発見や早期警告システム等が森林火災に対する予防策として挙げられる。消火の取り組みは、火災への対処能力の向上に関連する。農業、農園業、植林、およびインフラ整備のための土地整理における火入れを行わない方策を推進しなければならない。このプログラムは違反者には罰則を与え、ベストプラクティスには報奨を与えるインセンティブ・システムにより実施しなければならない。すでに森林管理ユニットが機能している場合は、このスキームは森林・原野火災のコントロールと予防活動に取り入れることが可能である。
- (7) 森林資源モニタリング・システムの強化および、同システムの国家REDD+ MRVシステムのの統合。林地利用の変化とその変化がもたらす木材・非木材資源、カーボンストック、生物多様性およびその他の生態系サービスに対する影響に関する流動的な情報ニーズに対応するために森林資源モニタリング・システムを向上させる必要がある。

2.2.3.2. 持続可能な天然資源利用経済システムの実施

この戦略は農地、農園、伐採地と造林地、および鉱山の管理におけるベスト・プラクティスに焦点を当てる。ベスト・プラクティスの原則とは、長期的利益を減ずることなく、排出増加あるいはその他環境劣化のリスクを伴わずに、土地の生産性を向上させることで、土地拡大のニーズを封じ込めることができる。次の活動を通じ、この向上は達成可能となる。

(1) 持続可能な森林管理の実施

天然林の利用、大規模植林、住民植林、コミュニティー・フォレスト、村落林および民有林など、様々な者により実施される持続可能な森林管理。経済的恩恵とエコロジーおよび社会的公平性の恩恵の間のバランス原理は持続可能な森林管理実施の基礎となる。そのためには、森林の地位区分と機能の確立、および森林地域の過度の利用の解消促進が必要となる。合法材木認証および森林管理認証検証システムならびに実施に対するインセンティブは広範囲にわたる持続可能な森林管理実施の後押しとなる。

(2) 農業および農園業における生産性の向上

農地や農園の生産性レベルが森林周辺の住民の福祉や森林保全を決定する。インドネシアにおけるオイルパーム園の大部分を占める住民のオイルパーム園の生産性向上は、特別な措置、つまり住民農園業の集約化、資金や農業技術へのアクセス、大規模農園業の割り当て決定、持続可能な農園業の基準の採用、およびインセンティブ・メカニズムの開発などを必要とする。

(3) 鉱業による土地劣化のコントロール

より良い探索および採掘の技術と計画により、鉱業による劣化は抑制できる。低排出の 鉱山事業は法令の整備、採取産業の透明性基準の適用、採掘禁止ゾーンの設置、効果的な 跡地復元、および鉱山許可付与の規則改善により実施される。

(4) 高付加価値を伴う川下産業の推進

高付加価値の川下産業の向上は、ローカルで天然資源をベースとした投資を優先しつつ、 効率的な小規模産業技術の開発、および住民経済組織の強化をもって実施される。

2.2.3.3. 保全および復旧

- (1) 保全戦略プログラムは、森林地域およびその他用途地における生物多様性の保全と森林・泥炭地生態系サービスの確保を目的とする。高い保全価値を有する森林・泥炭地は以下のことがらに重点を置くことができる。
 - a. 保護地域の機能の確保。カーボンストックを持つ森林・泥炭地エリアおよび高い生物多様性リベルのエリアは、そのステータスを保護地域に変更する。
 - b. 保護林以外の高い保全価値を有する森林について、その転換と荒廃のコントロール および許可の再調査。権利の設定されていないエリアにおける農業開発コントロー ルの強化。まだ転換されていない許可エリアでのランドスワップの推進
- (2) 復旧戦略プログラムは、効果的に復旧プログラムを進めるための現場における条件整備あるいは問題の解決に重点を置く。
 - a. 森林地域およびその他用途地における泥炭地の条件調査、それらの利用許可の調査、水利の復旧(運河の埋め立てなど)、ローカル樹種の植林および火災対策による 泥炭地管理・復旧の強化。
 - b. エンリッチメント植林、マングローブ林復旧、都市林の整備、および住民管理地域の拡大など、森林・泥炭地の造林/再造林活動のためのインセンティブ供与。
 - c. 生態系の回復。このプログラムは排出削減や森林減少・劣化の緩和より広い目的を持ち、REDD+と森林地域における生態系サービスのコベネフィットに貢献する高い可能性を持つ。透明な許可付与メカニズム、確かなインセンティブ、および

実施したプログラムに対する評価が主な要素である。

2.2.4. パラダイムとワーキング文化の変化

土地利用、土地利用変化および林業(LULUCF)の活動による排出量が高いことから、本セクターにおけるパラダイムと基本的なワーキング文化の変革が必要となる。有能さ(能力、資格および知識)、態度、高潔さ、さらには森林・泥炭地の管理最前線の組織の責任をとる人材としてのリーダーシップを持つ個人レベルの能力が望まれる。

取り組むべき原則は次の通りである。

- (1) ジェンダー・バランス: 男女における役割・ニーズ・責任のバランスへの配慮。
- (2) 参加:意図的に真の関係者にのみ限定しないこと。
- (3) 連携: すべての関係者をパートナーとして平等に参加させる。
- (4) 適応性:迅速かつ適切に、正しい方策の問題を取り上げ、必要となる変革を予測する。
- (5) 透明性:計画、支出および決定のプロセスにおいてオープンであること。

2.2.4.1. 森林および土地利用のガバナンスの強化

次の事項を通じ森林部門および土地利用のガバナンスの強化を行う。

- (1) 国家およびサブ国家レベルにおける決定者の理解度向上は、利害関係者の参加にとって重要である。
- (2) 透明性を高め、参加材料としての正確な情報を保証する2008年法律第14号「情報公開」の実施プログラム開発。
 - a. 次の事項に係る透明性増進プログラム
 - i) 法令制定プロセス
 - ii) 方策の策定プロセス
 - iii) 森林セクターにおける許可付与プロセス
 - b. 透明性の増大と先住民、貧困層、女性と子供など影響を受けやすいグループの参加。
 - c. 女性など影響を受けやすいグループを中心とした、以下の内容の能力向上。
 - i) 情報の理解
 - ii) 意思決定プロセスへの効果的な参加
- (3) 関係者の参加プロセスにおいて意見や利害の相違を受け入れる効果的な紛争解決 メカニズムの開発

2.2.4.2. 「インドネシアの森林を救おう」アクション国家キャンペーン

国民の生活を守る森林の重要性について一般国民の理解を得るためキャンペーンが必要

である。すべての階層と年齢の一般国民のパラダイムの変革は、生活のバランスとしての 森林の存在の重要性を理解するために必要である。

キャンペーンは公的部門における専門性を有する者との協働によりREDD+エージェンシーが以下により実施する。

- (1) 森林の重要性およびREDD+メカニズムに関するいくつかの項目について素材となる 情報セットの作成。
- (2) インドネシアの森林を守る試みとREDD+メカニズムに関する種々の観点からの情報 発信に関するマスメディア(印刷およびエレクトロニック)との協働。
- (3) 公式、非公式のルートによる持続可能な開発のための教育の実施、および直接的な集団レベルでの教育の実施。

2.2.4.3. インセンティブの開発

ワーキング文化を変革するための方策は準備された「報酬」を持って行われることもある。このことは森林および土地利用において次の方法で行われる。

- (1) 森林管理と土地利用において地方政府や良好な実績を持つ事業体に対し認定と金銭的インセンティブを与える。
- (2) REDD+プログラムの成果に伴うインセンティブを中央政府がら地方政府へ送ることに 関する法令の整備。

2.2.5. ステークホルダーの参加

参加と連携の一部として、住民と種々の利害関係者の参加はREDD+の実施にいて必須義務である。地域の条件と性格および多くの利害関係者の参加による複雑さを考慮すると、利害関係者の参加フォーマットは最初にデザインされている必要がある。

2.2.5.1. ステークホルダー参加の相互作用と戦略

連携による意思決定は、1999年法律第41号「森林法」の第70条において、多方面関係者による「森林フォーラム」に関する規則を通じ、基本的にはすでになされている。現在、このフォーラムは国家安全審議会(DKN)における受け皿となっている。REDD+エージェンシーは参加者が効果的に活動し、弱者の住民グループが公平な実施を行うことができるよう保証するため、DKNを伴う戦略パートナーを開発する。

REDD+への住民参加は以下の戦略により実施される。

- (1) プラス、マイナスの影響を受ける実施者および関係者についての理解を含む関係者の 識別と図化
- (2) 効果的で地域の性格に合致したコミュニケーション戦略を適用することへの事前合意

プロセスを通じ、REDD+の実施に対する関係者の理解、覚醒、同調、合意および支援 を得ること。

- (3) 設計および問題解決における利害関係者の役割は、以下を通じて行われる。
 - a. 貢献パートナーシップ:資金援助の性格を有する協力であり、貢献者が資金を REDD+プログラムやプロジェクトに提供することの提案に同意し、決定する。
 - b. 運営協力:ワークシェアリングの性格を有す協力。
 - c. 評議協力: 助言の性格を有する協力で、ある関係者がREDD+を円滑に実施するため、 方策、戦略、デザイン、評価および同意を与える。
 - d. 連携協力::権限、所有権、リスクを共有する意思決定プロセスにおける協力。

2.2.5.2. プライアー・コンセント(強制なしの事前同意)

REDD+エージェンシーはREDD+プログラムとプロジェクトの実施の一部として、プライアー・コンセントを行い、実施のプロトコール開発について調整する。REDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施におけるプライアー・コンセンの目的は、生活と権利が影響を受けやすい先住民/地域住民に対しRED+プログラム/プロジェクト/活動の実施についての公平性と説明責任を確保するためである。

REDD+スキームにおけるプライアー・コンセントの実施プロトコールは以下の原則に基づく。

- (1) プライアー・コンセントの適用は、REDD+プログラム/プロジェクト/活動に関係する先住民および地域住民並びに影響を現に受けている住民の協議プロセスを含む。
- (2) REDD+プログラム/プロジェクト/活動について影響を受けやすい先住民と地域住民の 同意を得るための協議は、強制、暗示、あるいは操作や押しつけなしに実施される。
- (3) 協議は直接、間接、住民に影響を与えうるすべての活動につき、個々のサイトにおいて先住民と地域住民の十分で効果的な参加により実施される。先住民の参加は、伝統的権威者あるいは住民の伝統的システムに基づき決定された代表組織を通じて実施されうる。
- (4) 協議は広いコンセンサスあるいは影響を受けやすい先住民と地域住民による同意に達することを目的とする。可能性のあるいく種類かの合意がある。つまり、全面合意、部分合意、暫定合意、条件付き合意、あるいはその他のオプションである。合意、同意あるいは住民からのオプションは法的メカニズム、習慣的取り決め、あるいはその地域のならわしに従ってなされる。
- (5) 協議は完全で均衡がとれ誠実で偏見がなく住民が理解しやすい情報に基づく。情報は各選択肢の結果とともに住民およびRDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者のための選択の結果を含む。
- (6) 住民との協議は、許可の承認以前あるいは活動の開始とともに実施される。かつ、条件に対する尊重と従順、および協議プロセスに必要なスケジュールに基づいて実施さ

れる。

(7) プライアー・コンセントのプロセスは、住民とRDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者との間で、継続的あるいは定期的に協議および対話の形で行われる。そのためこのプロセスは住民とRDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者との協議プロトコールあるいは協議メカニズム、RDD+プログラム/プロジェクト/活動の情報、プロセスおよび様々な段階に対する拒否を表明するメカニズムおよび紛争解決のメカニズム/プロトコールに合意するものである。

2.2.5.3. セーフガード実施情報システムの適用と開発

セーフガードの制度整備は、RDD+プログラム/プロジェクト/活動のリスク評価の実施およびプログラムの管理規則と財政的説明責任、弱者住民グループへの関係と社会的地位における影響、環境に対する影響に関係する実施ステップを確実なものとするためのものである。セーフガードは当初の目的にないREDD+の実施を確実にするための基準・指標である。

RDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者は、実施プロセスの一部分として準備されるリスク軽減の方策を実施し、定期的なモニタリング、計測、およびその報告を行う。RDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者はREDD+セーフガード実施情報システム(SIS-REDD+)と同様の事業地区においてセーフガードの実施に関する情報を整備する義務がある。

REDD+の実施におけるセーフガードの制度準備は以下のとおりである。

(1) セーフガードの原則・基準・指標の整備

財政的セーフガードにおけるリスクの評価と取り扱いに関する基準、指標およびプロセスは、説明責任の目的のために財政管理の部門における基礎的原則に基づいている。

社会分野のセーフガードにおいては、住民の権利を確保し再生することを目的とする原則、基準および指標を作成すること、ならびに全般的なガバナンスのプロセスである。弱者住民グループにとって社会的セーフガードが特に必要となる。このグループは、生存を森林資源に依存している森林内部および周辺の先住民/原住民/地元住民や、家族の生計資源の様々な変容の影響を頻繁にこうむる女性グループ、社会・経済・政治的な地位の権利維持が弱いポジションにある住民グループを含む。

環境分野のセーフガードにおいては森林・泥炭地における排出削減の取り組みと、生物 多様性やその他の生態系サービス機能の保全の取り組みの調和を確実にするための地域の 特性に応じた原則、基準、環境指標の策定。

環境セーフガードの基準および指針は最低限、以下を満たすものである。

a. 以下のことがらのための先住民や地域住民の基本的権利の認知と保護。

- i) 彼らの生存するエリア内におけるREDD+活動の決定表明。
- ii) 参加の権利。
- iii) 情報共有の権利。
- iv) REDD+プロジェクトに係る公的決議に対する苦情申し立ての権利。
- v) 公的証拠に基づくものだけでなく、歴史的確信およびクレイムに基づく先住民や 地域住民の天然資源に関する権利。
- vi) 受益における公平な権利。
- b. REDD+実施への参加のためのジェンダー・バランスおよび弱者グループのへの保証。
- **c**. 透明性があり公的説明責任を有する良好なガバナンスと行政システムが十分に保証されていること。
- d. REDD+が生物多様性の保全の取り組みと持続的環境基準に反しないことの保証。
- e. 持続的環境の権利および基準に対して違反や軽視があった場合、それらを回復する ことの保証。
- f. 将来紛争が生じた場合、それら紛争を解決するメカニズムが用意されていることの 保証。
- (2) セーフガードの評価と実施のプロセス策定

REDD+エージェンシーは最低限、次の活動を通じ、地域の価値観に留意したセーフガードの評価と実施のプロセスを決定する。

- a. プライアー・コンセントの手続き、情報システムおよびメカニズム並びに一般国民 がアクセスできるセーフガード・システム。
- b. 公的権限のある証拠のみならず慣習的あるいは歴史的な裏付けのある証拠により、 土地・森林に対する住民の権利を認知することを保証するプロセスと情報システム。
- c. REDD+の実施における手続きと「適当な注意」、内部および外部監査。
- d. REDD+の適用から生ずる利益の分配手続きと決定。
- e. REDD+の適用エリアとなる地域における環境の保全と維持の手続きおよびそれら の評価システム。
- f. REDD+の実施に起因する住民への損害(物質的および精神的)があれば、その対策手続き。
- g. 紛争解決および拒否の表明のための手続きとシステム。
- (3) 特に以下のことがらに関する定期的な観察のためにセーフガードの指標をMRVに 統合すること。
 - a. REDD+プロジェクト方策および文書の作成のための社会・環境データの集積における方法とプロセスに関係する説明責任メカニズム。
 - b. REDD+の方策、プログラムあるいはプロジェクトの報告書において評価段階までに 提供される事実およびデータ。

- c. REDD+活動の実施までの方策におけるセーフガードの実施およびそのプロセスと 方法。
- d. REDD+プログラム/プロジェクトの実施による男性グループおよび女性グループに 対する利益の検証と配分に結果についての説明責任の評価。

REDD+のためのセーフガード実施情報システム(SIS-REDD+)の開発は、UNFCCCのCOP16により提唱された。このシステムは以下の考え方で構築するようにとの助言がある。

- a. 有効な法令。
- b. 持続可能な森林管理(PHL)と関連する環境管理からの学習。
- c. 州/県/森林管理ユニット/プロジェクト実施者ニーズおよび準備に応じた国家および サブ国家レベルにおける構築。
- d. SIS-REDD+におけるデザイン、構成要素、フローおよび情報提供はMRVシステムと の統合を可能にし、かつ、一貫性を保証する。
- e. 透明性があり、必要な関係者のアクセスが可能である。
- f. SIS-RED+の管理はMRV機関の調整において責任を持つK/Lにより実施される。

2.2.5.4. 利益分配

公平な利益分配戦略は下記事項に基づく。

- (1) 報酬を受け取る権利のあるREDD+プログラム/プロジェクト/活動のエリアに存在する 森林地域/プロジェクト地区の各権利保持者。
- (2) REDD+プログラム/プロジェクト/活動の実施者により手当を受ける従事者を除き、個人に対して与えられるサービス。サービスが集合的に与えられる場合は、この「サービス基準」のアプローチに基づく報酬も集合的に与えられる。
- (3) 集合的な土地所有が行われている地域において検証排出削減/認証排出削減(VER/CER) の達成に貢献するグループ、また/あるいは従事者としての支払いを受けていないグループにおける集合的な森林保護のサービスの提供。
- (4) 報酬の配分システムとメカニズムは、配分に間違いが生じないよう、オープンに責任 を持って行われる。

第1ステップは土地利用権のステータスを明確にすることである。第2ステップはREDD プログラム/プロジェクト/活動が実施される地域において失われる収入を明らかにすることである。

REDD+プログラム/プロジェクト/活動の地域におけるカーボン吸収およびカーボン排出 削減に貢献した関係者については、サービスを基準とした報酬の支払いを受け取れよう、 識別されなければならない。報酬を受け取る権利のある者に対する支払いは、検証排出削 減/認証排出削減 (VER/CER) の計測において明らかにされた実績の評価に基づいてなされ る。

公的部門の方策と投資により検証排出削減/認証排出削減 (VER/CER) か実現した場合、地方政府はREDD+プログラム/プロジェクトから報酬を受ける可能性を持つ候補者の一つである。住民は、個人としてあるいは集団として、資源所有およびサービス提供の役割に応じた支払いを受ける。この権利はプログラム/プロジェクトのスタッフとして給与/謝金を受け取っている従事者に対しては無効である。

3. REDD+戦略の実施方針

REDD+国家戦略の実施は準備の進み具合に従い、REDD+国家戦略に基づき作成された REDD+の国家アクションプランと国家ビジネスプランの文書に統合されている。REDD+国家戦略とこれを支える2つの文書は、州レベルのREDD+実施のための戦略およびアクションプラン作成のための参考となる。州の戦略とアクションプランは、2011年大統領令第61号の委任に従い2012年9月に州政府により作成さる地方アクションプランの実施に関し温室ガス排出削減を支援する。

一連のREDD+国家戦略の実施において、パイロット州の選定は2010年12月に行われ、森林・原野の利用新規許可の停止政策は2011年大統領指令第10号にて決定された。戦略の5つの柱の完全実施は、2012年に開始される。

3.1. 実施段階

すべての準備が整い排出削減の検証結果に対する支払いが行われるまで、計画作成、準備、組織設立、事業規則の策定および手続きに3年間が必要と考えられる。REDD+国家戦略の実施は2012年に始まり、検証済み排出削減活動への支払いは2012年を目標としている。

第1の柱 REDD+エージェンシー

REDD+エージェンシー、REDD+基金、およびMRV機関の設立は2012年の最重要事項である。この3機関はパイロット州が必要とする戦略プログラムと2012-2013年における優先事項を実施する。MRV機関とシステムは段階的に整備される。つまり、最初のターゲットは国家レベルのMRV第2段階に、2013年末にはプロジェクト・レベル(正式デモンストレーション・アクティビティおよびボランティア・サイト)の第3段階に達する予定である。

第2の柱 法令・規則の強化

この強化は、中央政府、州政府および県/市当局の関係強化、およびREDD+活動/プロジェクト/プログラムの運営方策/規則の整備を含む制度運営メカニズムの整備を意味する。2012年当初からREDDワークユニットはREDD+の実施を支える法令と制度の準備状況、一貫性、および効果について検討を行う。この活動は引き続きREDD+ワークユニット/エージェンシ

一の優先順位に従って段階的に実施され、本プロセスが開始してから**3-5**年間を要することとなる。

第3の柱 戦略プログラム

戦略プログラムの目的は、パイロット州およびその他の優先州におけるREDD+プログラムを支援し、REDDの実施を促進するために必要ないくつかの基礎的変革の条件を作り出し、かつ、それらの初期プロセスを進めることである。すでに得られた経験に基づき、REDD+プログラムは2014年から全インドネシアにおいてよりシステマティックに展開されることとなる。それまでの期間REDD+エージェンシーは、REDD+プロジェクトに対する技術的専門性および資源の開発ならびに調整のニーズを支え、それらの活動からの教訓を引きだす。

第4の柱 パラダイムとワーキング文化の変容

一般国民とREDD+プログラムの実施に影響与えるアクターがREDD+プログラムの実施の緊急性と恩恵を理解するように、この活動は極力早期に実施される必要がある。教育を通じてREDD+を知ることは、パイロット州における優先順位付けに始まる。REDD+エージェンシーはセクターおよび地域開発計画のプロセスに関連する政府の官僚制において、ワーキング文化の変革のキャンペーンを実施する。また、必要となる各段階においてパブリック・コンサルテーション(公聴会)の機能を有効活用する。

第5の柱 住民参加

住民参加はすべての柱において実践される精神である。関係者参加とコミュニケーションは、第1から第4までのすべての柱の実施プロセスで行われる。第5の柱は、REDD+の方策と実施に対するすべての柱が正当性を得るよう、有効な参加を実現するための媒体の意味をなす。

表3.1. REDD+の効果的な実施への戦略ステップ

REDD+	実施スケジュール					
国家戦	第一段階	第二段階	第三段階			
略	(2011-2012)	(2012-2014)	(2014 -)			
制度と	・REDD+国家戦略の	・REDD+エージェンシー	・REDD+システムの完全			
プロセ	策定。	の設立。	実施。			
ス	・REDD+エージェン	・基金の設立および開始。	・排出削減プログラムの			
	シー、基金、独立した	・MRV とシステムの設立	継続			
	MRV 枠組みの設計。	および開始。	実施。			
	・モラトリアム/新規許	第1次および第2次パイ	・レビューおよび独立検			
	可発行停止の決定。	ロット州プログラムの開	証プログラムの開始。			
	・パイロット州の選定	始(2011年と 2012年)	・UNFCCC 基準に則った			
	・REDD+セーフガー	・能力と作業基盤の向上。	MRV システムの強化。			
	ド実施情報システム	国家レベル/サブ国家レベ	・UNFCCC の基準に基づ			
	(SIS- REDD+) の構	ル RED/RL の設定。	く REL/RL の強化。			
	築。	国家レベルおよびサブ国	・検証済み排出削減			
		家レベルの MRV の連携強	(VER)に基づく支払い。			
		化。				
	・土地所有、再分類および土地交換に係る問題解決に向けた法的枠組みのレビ					
	ューと改訂。					
	地方へのインセンティ	ィブに係る法的枠組みのレビ	ューと改訂。			
法令の	・空間規則の実施厳格の	・空間規則の実施厳格化促進。				
枠組み	・法令順守と賄賂防止。					
	・許可発行や森林地域機能の変更などを含む森林管理規則の強化。					
	・民間部門に対するインセンティブ/抑制策の法的枠組みとその決定に関するレ					
	ビュー/改定。					
		・空間の決定と許可発行のためのデータおよび図面の				
		同調に関する法的枠組みの確定。				
		・許可発行と森林・原野の利用に関する紛争解決の調				
		查。				
		・法的条件の厳格化。				
		・森林・泥炭地における新規許可発行の2年間停止。				

	実施スケジュール				
REDD+	第一段階	第二段階		盆 → FLEEL/204.4 IN E&)	
国家戦略	(2011-2012)	(2012-201	4)	第三段階 (2014 以降) 	
プログラム戦略					
1. 持続可能な	・景観/エコ地域/多機能な流域の計画策定および管理。				
景観管理	・新規許可発行停止後の森林および泥炭地への新規許可発行開始のた				
	めの改善管理規則				
	システムの決定。				
	・森林管理ユニットの組織形成および業務規定制定の加速化。				
	・森林・原野火災のコントロールおよび予防。				
	・森林資源モニタリング・システムの強化と MRV システムへの統			MRV システムへの統合。	
	・パイロット州およ	・先住民は	およびその	・ランドスワップの実	
	び優先8州における			施。	
	空間規則の隘路打	の図化と数	央定。		
	開と策定。				
	・森林の境界線設				
	定。				
		・その他8つの森林			
		を有する州におけ		空間規則の策定。	
		る空間規則			
			スワップの		
		詳細識別は	るよび準		
		備の完了。	+ 4+ - 7 44 .	+ 11.55 m ~ ++++	
2. 持続可能な天	・持続可能な地域経済の開発と持続可能な森林管理の実施。				
然資利用経済シ ステム	・農業・農園業の生産性向上。				
	・環境にやさしい鉱業の実現。				
	・高付加価値を伴う川下産業の推進。				
	・政府計画文書における REDD+および温室ガス地方/国家アクションプラン採択の優先的				
	記述。				
	・ ・ 保護地域機能の強化。				
日旧	・森林および泥炭地の他用途への転換禁止。				
	・森林回復および泥炭地復旧。				
			・保護林は	 および泥炭地の維持確認と	
		管理の強化。			

REDD+	実施スケジュール				
国家戦略	第一段階	第二段階	第三段階		
国外 税帽	(2011-2012)	(2012-2014)	(2014 以降)		
パラダイムおよび	・REDD+および"インドネシアの森林を救おう"運動の国家キャン				
ワーキング文化	ペーン。				
の変革	・REDD+の持続可能な開発教育への統合。				
	・REDD+および持続可能な開発に係る専門的能力の向上。				
	・森林管理における"賞与および認知"システムの開発。				
ステークホルダー	・設立から 6 か月間の REDD+エージェンシーの関連する K/L への				
の参加	関係の調整権限				
	についてのコミュニケーション。				
	・国家レベル/サブ国家レベルでの REDD+実施システムの開発にお				
	ける種々のグループ(地法政府、民間部門、NGO、先住民/地域住民、				
	国際組織など)との交流。				
	・社会的および環境的セーフガード・システムの開発。				
	・平等な利益配分に向けた取り組み。				

3.2. サブ国家レベル

3.2.1. パイロット州

REDD+実施の第一段階として、どの取り組みおよび活動が国家ベルの活動に適用可能かを見極めるためにREDD+をフルで実施する一つのパイロット州を決定する。パイロット州の選定は以下のいくつかの基準に基づく。

- (1) REDD+の実施を満足させる生物・物理的条件が整っていること(森林および泥炭地の面積、森林減少・劣化の危機)。
- (2) 社会経済状況。(森林資源の経済価値、住民の森林資源への依存度)
- (3) REDD+実施に関連するデータと人材の確保。
- (4) 経済プログラムおよびREDD+に関するガバナンスならびに効果的、効率的かつ透明性 のある行政機関。

パイロット州において、REDD+を実施するための州の戦略とアクションプランが、 REDD+国家戦略を参考とし、地方中期開発計画と同調しつつ策定される。

3.2.2 サブ国家レベルでの実施

サブ国家レベルでは、国家戦略の5つの柱が地域の特徴に合ったREDD+実施戦略とアクションプランとなるよう解釈される。すべての州は温室ガスに関する地域アクションプラン

を策定しなければならないとする2011年大統領令第61号の指示に従い、REDD+実施のための州戦略およびアクションプランを有する土地関連セクターの温室効果ガス地域アクションプランの間の一貫性を確保する必要がある。

短期的には、州戦略・アクションプランは可能性の条件を整えることやREDD+の障害となる問題を解決することの必要性に関係し、同時に住民のニーズを支えることのできる天然資源ベースの経済開発を確保する。長期的には、州は支持力および環境受容力のため景観機能を保全することに留意しつつ経済社会および環境発展のバランスを図る。

3.3. アクションプランの作成

REDD+は国家/地方中期開発計画と地方K/L戦略計画の同調により、特に土地関連セクターへの関連と影響において効果的に実施されなければならない。REDD+国家戦略が国家開発のメインストリームとなることができるよう、REDD+国家アクションプラン、が策定される。REDD+国家アクションプランはREDD+国家戦略の5本柱およびREDD+州戦略とアクションプランの集合に基づき決定されたプログラムを内容とする。REDD+国家アクションプランの策定は州戦略・アクションプランの策定と並行して、相互に関係しつつ2012年末までに完成する。

3.4. ビジネスプランの策定

REDD+国家戦略アクションプランはグローバル、国、地域さらにはプロジェクト・レベルにおいて、さまざま異なった適切さ、利用価値、および費用を示す。これらの条件の中で、REDD+国家戦略アクションプランが展開できるよう、種々のインセンティブの実現を可能にする資金、経済、制度上の解決が必要となる。このことや、さらにREDD+の市場条件やその他の環境サービスを考慮する必要があるため、REDD+国家戦略実施ビジネスプランを2012年までに策定することが望まれる。

3.5. 法的根拠

策定される国家戦略は既存の法的基盤から遊離したものではない。しかしながら、REDD+戦略を実現するためには、森林と泥炭地資源の管理に関する強力、明瞭、かつ調和的な法的枠組みの改革が必要となる。要するに、2001年国民協議会(MPR)決定第9号「農業および天然資源管理の革新」に述べられている気候変動イシュに関する森林分野の法的枠組みの開発が大切である。この枠組みは森林および泥炭地の管理に関する政策と法令を革新し完全なものとするための調整的機能を持つ。

4. おわりに

このREDD+国家戦略は、インドネシアのRED+の成功は森林地域およびその地用途地におけるすべての林地と泥炭地の管理システムの改善にかかっているということを基本的に

示すものである。現在、住民による管理と政府の制度システムにおいて、この改善は「business as unusual」のアプローチを適用することのみによって可能となる。つまり、われわれが現在目にしているのとは異なる手法による新しいパラダイムや、種々のシステム要素(規則、メカニズム、組織間の関係、ガバナンス)の構築である。

各手続きはより透明性を持つ必要がある。つまり、許可付与のシステムは公的説明責任が確保できるガバナンスをもって構築する必要があるし、データと図面は統合化される必要がある。さらにK/L間、および中央と地方間の調整は主題についての影響力のある調整アプローチにより効果的に行われる必要がある。

インドネシアが森林・原野の資源管理システムを再構築するためには、公的重要性およびこの変革を受け入れ実施することのできるすべての関係者の精神の拡大と誠実さに対するコミットメントが必要となる。

主な目的は、持続可能なインドネシアの発展のために森林・原野の生態系、経済および 社会的機能を再生させることである。そしてこの目的はグローバル気候変動の緩和に貢献 するカーボン・クレジットの取得よりはるかに大きいものである。