

インドネシア国
「炭素固定森林経営現地実証調査」
計画打合せ調査報告書

平成13年6月

国際協力事業団

序 文

植林木による二酸化炭素吸収を温室効果ガス削減目標に含めることとされた1997年12月の地球温暖化防止京都会議以降、植林事業に対する日本企業・団体の関心が高まっています。

国際協力事業団は、開発協力事業の一環として、インドネシア共和国において炭素固定森林経営現地実証調査を行うこととし、本年1月から調査を開始しました。本実証調査は、従来焼却処分されていた不要な枝や端材を木炭化し、植林地に埋めることで半永久的に炭素を固定し、樹木の成長を促すという環境にも配慮した新しい植林技術を開発します。この手法の技術・経営面のマニュアルを作成し、企業・団体等に公開していくことで、途上国での炭素固定を目的とした植林事業の実施、投資の促進を図るのが本調査の目的です。

今回の計画打合せ調査団は、林野庁森林整備部計画課 五百木篤氏を団長とし、平成13年5月13日から18日まで、本年度の実施計画の策定に関する協議と、日本・インドネシア両国の関係者出席による第1回合同調整委員会への出席のため派遣されました。

この事業が地球温暖化防止に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに本調査へのご協力とご支援を頂いた各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成13年6月

国際協力事業団
理事 後藤 洋

目 次

序 文

写 真

第1章 調査団の概要	1
1 - 1 派遣経緯・目的	1
1 - 2 調査団構成	1
1 - 3 調査日程	2
1 - 4 主要面談者	2
1 - 5 調査団のまとめ	3
第2章 事業地調査	6
2 - 1 人工林における炭素固定量の定量的推定方法の開発	6
2 - 1 - 1 調査計画の概要	6
2 - 1 - 2 パルンパンジャン試験地の土壌条件についての所見	7
2 - 1 - 3 外領における調査と関連データの収集に関する所見	7
2 - 1 - 4 ベースライン調査に関する所見	8
2 - 2 製 炭	9
2 - 2 - 1 製炭の現状	9
2 - 2 - 2 製炭技術と炭の品質	10
2 - 2 - 3 平炉による炭化の留意点	12
2 - 3 炭の利用	13
2 - 3 - 1 インドネシアにおける木炭の多用途利用	13
2 - 3 - 2 木炭の性質	14
2 - 3 - 3 試験における木炭施用上の留意点	15
第3章 合同調整委員会	18
3 - 1 年次計画	18
3 - 2 討議内容	18
3 - 3 今後の検討事項	19
第4章 将来的な検討事項についての提言	21

付属資料

1．プロジェクト組織図	25
2．林業省組織図	26
3．試験地一覧（地図）	28
4．事業計画 / 平成 13 年度活動計画	35
5．木炭施用試験プラン	45

（合同調整委員会資料）

6．プロジェクトパンフレット（インドネシア語版）	51
7．プロジェクト概念図	53
8．事業計画 / 平成 13 年度活動計画	54
9．活動状況報告	70
10．日本側民間企業の投資を促進するために	71

第 1 章 調査団の概要

1 - 1 派遣経緯・目的

本件実証調査は、2000年3月にインドネシア政府からの要請に基づき、地域の環境を保全しつつ最大限の炭素固定を行い、二酸化炭素の放出を防ぐ森林経営手法を確立するため、早生樹種等による森林の炭素固定能力の調査を行うとともに、木炭の生産とその造林地への施用を一体的に行い、今後、増大が見込まれる民間企業による炭素固定植林に関する基礎的データの収集を目的として行う予定である。

これまでの経緯としては、2000年4月に基礎調査を行い、事業実施の可能性を日本・インドネシア双方で協議し、大枠で合意した。これに引き続き同年10月に林業専門家チームによる補足調査が行われ、12月には討議議事録（R / D : Record of Discussions）が締結された。本年1月15日に長期専門家チームがボゴールに着任し、調査が開始され、2001年5月現在はプロットの設置、今後5年間使用していく調査用資機材の調達、設置等の活動を行っている。

本実証調査は事務所等の設置が一通り終了し、6月からデータサンプルの採集と計測を開始する予定であった。調査団は本格的な調査が始まる前に事業地を調査し、実施上の留意点・課題を把握し日本側専門家及びインドネシア側関係機関に助言することを目的に派遣された。また、R / Dにおいて合意したマスタープランに基づく年次活動計画を協議・策定するための初めての合同調整委員会に出席し、プロジェクトの運営について技術的提言等を併せて行った。

調査内容は以下のとおりであった。

- 1) 事業の進捗状況（事業の実施体制、各試験の実施状況等の把握）
- 2) 施設・設備等の整備・利用・管理状況の把握、炭素固定に関する情報収集
- 3) 平成13年度年次活動計画案に関する協議、同計画の策定に関する技術的助言

1 - 2 調査団構成

- | | | |
|----------|-------|-------------------------|
| (1) 総括 | 五百木 篤 | 林野庁 森林整備部計画課 |
| (2) 森林管理 | 太田 誠一 | 森林総合研究所 立地環境研究領域 |
| (3) 開発協力 | 小川 眞 | 関西総合環境センター生物環境研究所 |
| (4) 運営管理 | 瀧本 麻子 | 国際協力事業団農林水産開発調査部農林業投融资課 |

1 - 3 調査日程

月日	曜日	移動及び業務
5 / 13	(日)	移動 JL725 (出発 10:55 → ジャカルタ着 16:05) 団内打合せ
5 / 14	(月)	JICA事務所、大使館表敬 林業省林業研究開発庁長官との打合せ ジャカルタからボゴールへ移動
5 / 15	(火)	プロジェクト地視察
5 / 16	(水)	年次計画・合同調整委員会準備 森林・自然保全研究開発センターにてカウンターパート (C / P) と打合せ ボゴールからジャカルタへ移動
5 / 17	(木)	資料整理、専門家と調査団による今後の実証調査技術的課題についての協議
5 / 18	(金)	合同調整委員会出席・協議 JICA事務所等への報告

1 - 4 主要面談者

インドネシア側

林業省、研究開発庁長官	Ir. Fattah, DS
林業省、研究開発庁次官	Ir. Suyono
林業省、研究開発庁、技術協力課長	Ir. Sulistyo A. Siran, MSc.
林業省、林産研究センター所長	Dr. Ir. A. Ngaloken Ginting, MSc.
林業省、森林・自然保護研究開発センター所長 (プロジェクト・マネージャー)	Dr. Ir. Sunaryo, MSc.
林業省、森林・自然保護研究開発センター、土壌化学分析研究員 (フィールド・マネージャー)	Ir. Harris Herman Siringoringo, MSc.
林業省、森林・自然保護研究開発センター、造林研究員	Ir. Ika Heriansyah, S.Hut. (造林 C / P)
林業省、森林・自然保護研究開発センター、森林経営研究員	Ir. N.M. Heriyanto (森林経営 C / P)
林業省、林産研究開発センター、製炭研究室長	Ir. Gustan Pari, MSc. (製炭 C / P)
国营林業公社、ボゴール営林署、技術課長	Mr. Endang Hidayat
国营林業公社、ボゴール営林署、造林課長	Mr. Nana Sukana

日本側

在インドネシア日本国大使館、書記官	若林 英樹
JICAインドネシア事務所長	庵原 宏義
JICAインドネシア事務所、次長	稲葉 誠
JICAインドネシア事務所、所員(環境部門担当)	田中 啓生
JICA派遣専門家(林業省、森林計画アドバイザー)	佐藤 雄一
炭素固定森林経営現地実証調査 チーフ・アドバイザー	嶋崎 省
造林専門家	羽鳥 弘樹
森林経営専門家	宮國 淳
業務調整	谷口 一郎

1 - 5 調査団のまとめ

調査団は現場での視察及び専門家との議論に基づき、本調査に必要な技術及び今後の調査の具体化のための手法について指導・議論・提言した。本プロジェクトは、本年1月の発足以来、C/P機関との連携の下に順調に整備されてきており、さらに、討議議事録(R/D)で合意したマスタープランに基づく年次活動計画を協議・策定する第1回合同調整委員会に出席して提言・助言を行った。委員会において、平成13年度年次活動計画は適正と認められ承認された。また、調査団からも特に修正を求めなかった。

また、本件事業は共同実施活動(AIJ)として京都議定書で定義されているクリーン開発メカニズム(CDM)実施に必要な基礎資料を収集することを目的としており、国内支援体制の早期形成による理論的、技術的サポート及び国内民間の理解と参加を醸成する広報の確実な実施等の外部支援がプロジェクトの成否を左右するものと思われる。この点、在インドネシア大使館には、気候変動枠組条約等国际環境の変化に対応した情報面での支援とインドネシア政府のCDM理解と積極的取り組みの促進等、良好な協力関係構築のための指導を、事務所には環境変化に伴う柔軟な予算的、制度的指導をお願いした。

(1) 事業の進捗状況

- ・ 具体的試験計画の作成とそれに基づいた試験地の確定を終え、周囲測量も終了する等造林実施段階に順調に進行。
- ・ 立ち上げ半年足らずであるが、意欲的カウンターパート(C/P)の配置、事務所の整備がなされる等実施体制を順調に整備。
- ・ CDMに対する、関係機関の理解は良好とみられ、広報の一環としてのインターネット整備の具体的計画が進行中。

(2) 今後のプロジェクト発展のための技術的所感

技術的調査、指導のなかで出てきた今後十分検討し、以下の事項に対し、早急な対応をすべきと思われる。

- 1) 暫定協力実施計画 (T S I : Tentative Schedule of Implementation) で示された活動項目のうち、ポゴールの研究所・試験地で行われる 炭素固定量の定量的推定手法の開発、木炭施用による人工林造成技術の開発、 木炭生産技術の開発については、実施段階に入ろうとしており、C / P、関係者の理解も一定程度進んでいる。しかし、 炭素固定森林経営試算、 マニュアル作成について、2 年目以降に向けて早急な具体的議論が必要である。
- 2) ポゴールでの試験地造成が終わり、基礎データの収集が進む 2 年目以降にマニュアル作成に向けて炭素固定経営試算に重点を移していくにしても、具体的な試験項目の枠組みの作成とデータ収集範囲の整理にあたっては、幅広い意見を集約し客観性をもたせる観点から長期専門家の活動と連携した短期専門家の活用が望まれる。
- 3) 一般性を確保し、需要者である企業が利用できるものとするため、民間からの専門家の招へい、国内支援委員会のなかに民間を含めるなどの幅広い対応が求められる。
- 4) 上記、マニュアル作成、プロジェクト成果の波及性を確保するためには、ポゴール試験地のみの資料では不足であり、C D M が実施されることが想定されるスマトラ等外島での試験地設定、既存データの収集分析の必要性は計画打合せ調査団 (2000 年 11 月) の時点から指摘されている。これの実施にあたっては、次の点留意する必要がある。

外島での試験地設定、データ収集は基本として委託とすること、実施の容易さのみならず、需要者の意見についても幅広く取り入れるとの点からも、委託先は造林を実施している我が国関連企業、国営企業等が望ましい。

既存データの収集、データベース化を目途とした基本設計は、将来に幅広い層から使われることを考慮すると、最初からスペシャリストが設計し一般的に使いやすいものとしておくことが得策で、そのための短期専門家派遣が必要。

森林 C D M、バイオマス関連プロジェクトが各方面から注目されプロジェクト形成される方向にあることから、プロジェクトへの日本国内の情報の伝達を充実する。

- 5) 広報については、ホームページ作成を含む短期専門家の要請等重要事項として取り組もうとしており、データベースの整理とあわせ本部の予算措置を含めた適切な対応が期待される。
- 6) 特に留意すべき技術的指導項目
 - ・ 土壌条件は、炭素固定量を規定する最も重要な因子であることから、十分な科学的資料収集と、カウンターパートの訓練及び外部委託の検討。

- ・ 土壌条件や造林方法が大幅に異なること等の観点から、外島での調査の必然性と調査すべき点のまとめ。
- ・ 木炭製造方法及び施用方法。

第 2 章 事業地調査

2 - 1 人工林における炭素固定量の定量的推定方法の開発

2 - 1 - 1 調査計画の概要

本プロジェクトでは、人工林における炭素固定量の定量的推定方法を開発するため、大きくは、新規造林地を対象とした調査と既存造林地を対象とした調査、並びにベースラインに関する調査が行われることとされている。

(1) 新規植林地でのバイオマス調査

新規造林地調査については、西ジャワ州ボゴール県のボゴール営林署管内に、以下の 3 樹種それぞれ新たに新規植林して試験地を設定することとなっており、試験地の設定、調査の開始は既に実施段階に入ろうとしている。

1) アカシア・マンギウム

パルンパンジャン事業所、Maribaya 担当区

2) メルクシ松

ルイリアン事業所、Cianten 担当区

3) フタバガキ科 (Shorea leprosula)

ジャシंगा事業所、Ngasuh 担当区

(2) 既存植林地でのバイオマス調査

本プロジェクトでは各造林樹種についての生長 (バイオマス増加) 曲線を得るため、5 年間のプロジェクト期間中に新規造林地からは得ることのできない 4 年生以上の林分の生長に関する情報を収集することが必要となっている。このため新規造林地での調査に加え、西ジャワ並びにスマトラ、カリマンタンの既存造林地での調査により生長量データの補強を行うこととされている。

(3) ベースライン・バイオマス調査

造林による正味のバイオマス増加量を知るためには、造林行為などのプロジェクト活動が行われなかった場合の元の植生によるバイオマス増加量 (ベースライン) を造林による増加分から差し引くことが必要となる。このため、本プロジェクトでは西ジャワ新規造林試験地の近傍、並びにスマトラ、カリマンタンにおいても、元の植生に住民利用区と住民利用排除区の試験地を設けて、ベースライン並びにリーケッジ (プロジェクトが実施されることにより生じるプロジェクト域外での炭素固定量の減少あるいは炭素の放出) を推定

することとされている。

2 - 1 - 2 パルンパンジャン試験地の土壌条件についての所見

本調査団による今回の現地調査は時間的制約のため、アカシア・マンギウムの新規植栽調査、同樹種既存林分の調査、ベースライン／リーケッジ調査が予定されているパルンパンジャン試験地のみを対象として行われた。

現地での説明によれば本試験地の土壌は、旧米国土壌分類の赤黄色ポドゾル性土（Red Yellow Podzolic Soil）、現行の分類によれば国連食糧農業機関（FAO）／国連教育科学文化機関（UNESCO）の Alisol 若しくは Acrisols、または U.S. Soil Taxonomy の Ultisols に相当する土壌とされる。

しかし、短時間で狭い範囲ではあったが、筆者の現地観察によれば新規植林試験地の設定予定地域の土壌は、土色がごく赤くしかも比較的輕鬆であり、Ultisols としても相対的に強度に風化した Oxisols に近い、あるいは Oxisols そのものに分類される可能性が疑われた。また、既存林分調査予定地のうち 2 年生アカシア・マンギウム造林地の土壌も上記に類似の赤みの強い強い風化を受けた土壌の可能性が指摘された。

しかし一方で、同じパルンパンジャン地域でありながら、4 年生と 6 年生のアカシア・マンギウム既存林分調査予定地の土壌は、褐色で埴質であり上記の土壌に比べて風化の程度が弱い U.S. Soil Taxonomy の Ultisols か Inceptisols あるいはまた Andisols、（FAO／UNESCO の分類によれば Alisol／Acrisols、Cambisols あるいは Andisols）である可能性が疑われた。このように本地域の試験地設定が予定されている場所の土壌は互いに大きく性質が異なる可能性を否定できず、新規植林試験と既存林分調査により得られる情報の整合性を確保するためには、可能な限り試験地間の土壌条件がそろうように計画することが必要と考えられた。

土壌条件は樹木によるバイオマス生産を規定する最も重要な一要因であることから、本パルンパンジャン試験地ばかりでなく試験地の土壌環境については U.S. Soil Taxonomy などに基づく正確な土壌分類並びに土壌の基本的性質に関する科学的情報を収集・整理しておくことが不可欠であり、短期派遣専門家ばかりでなく、現地 C／P 機関の専門家の活用が必要である。ただし、分類などのための土壌試料の化学分析については、現状では C／P 機関の分析能力の判断は難しく、また樹木、土壌の炭素分析に多くの勢力を割かざるを得ない C／P 機関の現状からすれば、外部委託による分析なども視野に入れ、信頼性の高い情報を効率的に収集する方策を今後検討する必要があると考えられた。

2 - 1 - 3 外領における調査と関連データの収集に関する所見

本プロジェクトは、企業による CDM 活動への参入を想定し、CDM 活動によってもたらさ

れる正味の炭素吸収量増加分を効率的にしかも科学的に計測・推定するための安価な手法の開発と関連情報の蓄積を目的としている。一方インドネシアにおいては、広大な荒廃地並びに人工造林地帯を擁するスマトラ、カリマンタンなど外領諸島がCDM活動の主要な場となることが想定される。ところで、外領における造林事業は以下の点でジャワ島でのそれと大きく異なる可能性が高い。

(1) 土壌条件の違い

ジャワ島は火山島であり比較的新規の火山放出物を母材とする相対的に新鮮で肥沃な土壌により広く覆われる。これに対し、スマトラやカリマンタンは第三紀の堆積岩を母材とする相対的に強い風化を受けた酸性で肥沃度の低い土壌によって広く覆われる。このため、林木による炭素固定速度はジャワ島と外領では異なる可能性が高い。ちなみにこの土壌の生産性の違いがジャワ島が多くの人口を支え、外領がそうではない最大の理由である。

(2) 造林地拵えの違い

ジャワ島では稠密な人口に対し現金収入の機会を創出するため、また地形が急な地域が多く小規模な単位による造林のため、人力による地拵えが行われる場合が多い。これに対し、スマトラやカリマンタンでは造林対象地の規模が大きく、一方でこれに応える大量の労働力確保は容易でなく、しかも地形は比較的平坦な波状地形であるため、通常、大型の機械によって造林地の地拵えが行われる。

機械による土壌の耕耘は、樹木の成長に影響を与える一方で、土壌中の有機物の分解を促進する可能性があるし、また、チガヤ草原などを対象とした耕耘の場合は、チガヤの地上部バイオマスが土壌中に鋤き込まれることで一次的に土壌中の炭素ストックが増加するなど、人力による地拵えにより植生の伐開のみが行われる場合とは大きく炭素動態が異なる可能性がある。

このため、2001年計画打合せ調査団の指摘にもあるように、波及効果の高い成果を得るためには西ジャワ各試験地の情報のみでは不十分であり、外領での試験地設定と既存情報を含む関連データの収集を次年度以降開始することが予定されている。しかし一方、プロジェクトの現有資源により、こうした試験地の設定と観測データの収集など、すべての調査活動を直営で実施することは困難と考えられ、現地の国営並びに民間の造林企業、研究開発庁の出先機関などへの委託などを十分に活用することが必要と考えられる。

2 - 1 - 4 ベースライン調査に関する所見

現在、西ジャワで実施することとなっている、住民利用排除区と住民利用区のバイオマス調

査によるベースライン／リーケッジの推定は、ベースライン／リーケッジ数値を提示するための手法の開発・検討と位置づけられる。しかしここで得られたベースライン、リーケッジは調査対象地に固有の数値であり、これをこれ以外の地域に適用することは難しい。

ところで、ベースライン炭素固定量はCDM対象地における人為を排した場合の元の植生によるバイオマス増加量から、薪炭の利用、焼畑など、人為による植生からの損失量を差し引いた量と定義される。このうち、人為を排した場合のバイオマス増加量の推定は、類型化された様々な二次林や草原植生のバイオマス増加量を当てはめることで行える可能性が高い。したがって、CDMが想定される地域の植生の類型化とそのバイオマス増加量に関する情報は利用価値が高く、これを取得・蓄積することには重要な意味がある。

一方、人為による元の植生からの損失量は、それぞれの地域に固有の様々な社会・経済的条件によって規定されるものである。したがってこの損失量を安価にしかも効率よく知るには、例えば、地域住民による焼畑の規模・頻度・手法や周辺森林に対する木質エネルギーの依存度などを地域ごとに数量化したデフォルト値を用いてマクロに推定するなどのアプローチが考えられる。しかし、本プロジェクトの一環として、このような社会経済的調査に基づくデフォルト値を様々な地域について求めること、あるいはそれに必要な社会科学的データを取得・蓄積することは、現在のプロジェクト体制と資源では実際上困難である。

したがって本プロジェクトによるベースライン調査については人為を排した場合のジャワ並びに外島の異なる植生によるバイオマス増加量に重点化するとともに、リーケッジ調査については西ジャワで現在計画されている住民利用排除区と住民利用区調査による手法検討のみを行うこととするのが望ましいと考えられた。

2 - 2 製 炭

2001年5月15日、アカシア・マンギウム植林予定地及び近辺の煉瓦工場、製材工場、製炭窯等を視察、関係者らと製炭方法並びに炭の植林への利用方法について協議した。5月16日、林業省森林・自然保全開発センター及び林産研究センターを訪問し、製炭研究の現状について説明を受けた。

2 - 2 - 1 製炭の現状

インドネシアでは古くから全土で製炭が行われているが、用途が炊事用に限られているため、製炭方法としては地域住民による伏せ焼きが主であった。1970年代に入って天然林伐採がすすみ、製炭業が盛んになるにつれてのこ屑を利用した活性炭、オガライト炭（ブリケット炭）、ココヤシのヤシがら炭の生産が始まった。これらの製品は国内消費よりもむしろ輸出用に生産され、日本、韓国、欧州連合（EU）その他へ輸出されてきた。ただし、いずれもマレ

イシア、タイなど東南アジア諸国のものに比して品質が悪く、不均一なために低価格にとどまっている。近年、石油やガスが家庭用燃料として使われるようになったため、木炭の生産は一時減少したようにみえた。しかし最近の経済危機のために木炭生産が復活するきざしがみえる。製材工場では端材とのご屑から伏せ焼きで木炭を生産する例が増えており、林地でも二次林の灌木や産業造林地の間伐材を現地で炭化して売る例が増えている。また、炭焼き労働者のグループがマレーシア等へ出稼ぎに行く例も多く、特にジャワ島の地域住民の間では炭焼きの技術がかなり普及しており、炭焼き職人が容易に見つかるはずである。製炭にはコツを知っている現地職人の雇用が必要条件である。

2 - 2 - 2 製炭技術と炭の品質

(1) 伏せ焼き

地域住民の間に最も普及している方法で、林地で1回限り使用する。生産量は少ない。地面に深さ50～60cm、4×5m程度の方形の穴を掘る。その周囲を太い丸太で土どめし、土でかため、中で乾いた木材を燃やす。炬火(おき)が十分できたら、その上に炭材となる細めの幹や枝を1～1.5mほどの厚さに並べる。その上をバナナやヤシの葉でおおい土をかける。土の厚さは煙が出ないほどにし、煙が出ると更に土をかける。囲いの一方に数か所空気の取り入れ口の孔をあけておき、反対側の囲いの丸太の間に隙間をあけておく。この孔が煙突のかわりになる。燃焼が進み煙の色が紫色がかったら土をかけて孔をふさぎそのまま放置する。5～7日後には炭が得られる。ただし、空気の入り方が多すぎると大部分燃焼して灰になり、早く火をとめると未炭化部分が残って不良品ができる。また窯の中の場所によっても炭化の程度にむらが生じるので、常に安定した性状をもった炭が得られるとは限らない。

伏せ焼きはコストがかからず、どこでもできる利点があるが、焼き損じが多く、品質が不安定なため、燃料以外の用途には適していない。農地や林地で用いる場合には粉碎する必要があるだけでなく、害の出るおそれもある。さらに、最初に大量の燃材を必要とするため、CO₂固定のための炭化方法としては適していない。

(2) 伏せ焼き改良型

製材工場で行っている製炭方法は伏せ焼きと平炉の中間型で、比較的効率よく炭化されており、炭の品質も良い。この方法は現在、インドネシア、マレーシアで普及し始めており、製材業者が関心をもっている。

最初に地面をならし、浅い溝を1m間隔に数本縦に掘る。幅30cm、深さ30cm、長さ5～10mとする。この溝が煙道になる。溝を切った周囲に杭を立て、これ板(製材した端

材)をはさんで板の塀を方形になるように立てる。一方は炊き口となるため開放しておく。炭化炉の幅は通常4～8 m、奥行き6～12 m、高さ2～3 mである。大きさは業者によって異なる。

溝の上に隙間ができるように板を並べる。その上にこれ板を縦横につめて積み上げる。火がまわりやすく燃えあがらないように密につめるのがよい。炉の前後の炊き口と煙出し口にあたる部分はやや粗く積み上げる。端材を積み終わったら上をのこ屑で厚さ50～60cmになるように覆う。

前面の炊き口にあたる部分に穴を数か所あけて着火する。十分火がまわったら炊き口と煙出し口を小さくして火を調節し5～7日間おく。炭化は炊き口の方から奥へ向かって進み、炭化すると量が減るので次第にかさが減り、割れ目が入る。煙が余分に出ないように、また火が吹き出さないように湿ったのこ屑でたえず覆い、水をかける。着火7日目頃から炊き口に近い所で炭ができ上がるので、日を追って取り出す。約2週間で炭化と取り出しが完了する。その所要時間は炉の大きさによって異なる。

この方法によると、炭化温度が低い(400～500)ために黒炭しか作れないが、比較的品質が良く、上質のものが得られる。生産された炭はレジャー用として日本へも輸出されている。粉碎して土改材にしたり、チップ状にして浄水用に用いるなど、用途が広がっている。広葉樹を原料としているため、スギ、ヒノキ、カラマツ等の炭に比べて比重が重く、燃料炭として適している。製材工場から出る端材で、長く放置されているためよく乾燥しており、炭化のための燃材を多く必要としないのが大きな利点である。

(3) 平炉 (通称スガイキルン)

平炉はのこ屑を炭化して活性炭の原料となる素炭を生産するために作られた炉で、通常大規模工場生産に適している。構造は比較的簡単で作りやすく、炭化むらが少なく、管理しやすいという利点がある。炭化原料としては通常のが用いられるが、樹皮、枝、チップなどもこの平炉で炭化されており、適用範囲が広い。この炉はインドネシアの各地に見られ、日本の技術指導による例が多い。元北越炭素の技術者、現下川森林組合顧問の須貝氏はインドネシアの活性炭製造に大きく貢献した人物である。現在計画中の炉はこの須貝氏の発案による小型の改良型である。

炉の材料は通常の煉瓦で、アカシア・マンギウム造林地の近くで生産されているもので十分間に合う。1個の値段が安く(100～200ルピア)、輸送コストが不要で煉瓦用の炉を作る職人が雇用できるなど、利点が多い。

この炉は別紙、設計書にあるとおり、幅3～4 m、奥行き6～7 mの方形とする。一方を開放し煉瓦で高さ1～1.5 mの壁で囲む。底面に溝を数本縦に作り、その表面に隙間を作っ

て煉瓦を敷く。その溝の手前に炊き口を設ける。炊き口となる面の反対側に煙突を立てる。炉を2～3個連結して作る方が効率が良くなるのが、その場合は煙突を1本にし高くする。

炭化材料を炉につめ、手前の炊き口から点火する。材料はよく乾いたものを用いた方が炭化時間が短縮でき、火付きもよい。時に着火に重油バーナーを使う。のこ屑を材料とする場合はのこ屑だけを用い、特に覆いをしない。通気のよい粗い材料（樹皮など）を用いる場合は表面をのこ屑か、土以外の粉状の材料で覆う。土を使うと後に炭と分けるのが難しくなるので注意。

火が表面に上がって燃えると、その上にのこ屑をかけ、散水して消火し、炭化を調節する。そのため、絶えず監視する必要があるので、日本などでは生産されなくなっている。炭化は7～10日で完了する。管理が十分な場合は均質な炭化物が得られるが、大きさの異なる材料が混ざると炭化むらができる。

今回はこの炉を現地に設置し、枝や樹皮・葉などを材料として、品質の安定した炭を作る予定である。炭化技術については日本側、インドネシア側双方の専門家の意見を十分取り入れ、試行錯誤を行うのが望ましい。

2 - 2 - 3 平炉による炭化の留意点

（1）炭化材料の準備

新植地については炭化材料が一定しないので、乾燥状態と大きさを調整する必要がある。地拵えのために伐採した材は林地に7～10日放置する。葉が落ちたあと、集めて簡易な雨除けの下で乾燥させる。湿ると腐朽しやすく、アリ等に食べられやすいので注意。材料の水分含量が10～15%以下になるのが望ましいが、20%程度でも炭化は可能と思われる。乾燥した材を長さ10～15cm程度、厚さ1～2cmになるように砕き、チップ化するのが望ましいが、なたで削る程度でよい。この木片を広げて更に乾燥させる。

（2）炉の建設

炉の構造は理解しやすいので、煉瓦の炉をつくった経験のある地元の職人に造らせるのがよい。可能なら須貝氏に見てもらうのが無難。完成したら乾かし、排水ができるのを確認し、煙の出方等をチェックする必要がある。炉は2連、1煙突で連続して生産できるようにする。1試験地に1基必要なため、3基を建設する。消火・防火用に必ずドラム缶等の貯水槽を置くこと。

（3）表面を覆う資材

須貝氏推薦のアルミナ繊維が入手できれば密閉度が高いので、材料が木片でも炭化は均

一に進むと思われる。もし入手が不可能な場合は通常の平炉と同様、近くの製材工場からこの屑を運んで利用する。またはトタン板等を用い、隙間を粘土で封じることにもできる。ただしこの場合は継ぎ目にかなりの土をつめる必要がある。

(4) 応急対策

万一、炭化が不十分で良質の炭が得られない時は、炉の前方から未炭化の材料を取り出し、外で燃やし、火が少なくなったら水をかけて消し炭にする方法をとる。ただし、この場合はよく燃やさないで揮発分が残り、不良炭ができるおそれがある。

2 - 3 炭の利用

植物が固定したCO₂を炭化によって無機の炭素に換え、それを農業や植林地の土壤に使用、還元し、炭素を不活性化するという趣旨は大方の理解を得ているが、これがカーボンシンクの1つとして認知されるか否かはいまだに不明である。今後の交渉過程に取り入れていくためにも、森林のカーボンシンク機能を強調するうえからも、木炭の生産とその利用は更に強調され、事業化されなければならない。

インドネシアでの木炭生産はカーボンシンクとしての役割のほかにも再生可能エネルギー(renewable energy)の1つ、燃料として利用することにも大きな意味がある。地域での木炭生産は地域住民に就業と現金収入の機会を与え、安価な燃料を底辺階層に供給し、生活に役立てることができる。近い将来、インドネシアは食糧の不足と木材、化石燃料資源の枯渇に悩まされることは目に見えており、持続可能な資源供給体制の確立を待ち望んでいると思われる。その期待に応えるためにも木炭の生産とその多用途利用、特に農林業における利用の途を拓くことには大きな意味があると考えられる。

2 - 3 - 1 インドネシアにおける木炭の多用途利用

農業国であるインドネシアでは肥料として、もみがらくん炭や木灰を使う風習があったという。焼畑耕作も灰と炭を活用する方法であるため、炭の土壤改良効果や作物への効果について説明すると、インドネシアの農業関係者はことに理解が早い。

農業では1992年以降、JICAの農業分野、大豆の研究開発プロジェクトで、もみがらくん炭の製造と農地への施用が検討された。その内容はリーダーの五十嵐孝典氏によって報告されている。もみがらくん炭製造装置は日本の関西産業株式会社製のもので、大豆等に対する作物への効果は小川(本調査団員)らの日本研究成果によるものであった。

五十嵐氏によると、くん炭と石灰の併用が有効で、ジャワ島の火山灰土壤では大豆、トウモロコシの輪作で効果が顕著であったという。スマトラ、カリマンタン等でも同様の実験が行わ

れたが、その効果は土壌条件や作物によって多少異なったという。以後徐々に炭の効果が知られるようになり、インドネシア型に改良された炉も作られている。

林産研究センターのグスタン氏によると、トウガラシの栽培に有機肥料と共に用いると増収効果があったという。現在では「炭ぼかし」という用語までできており、鶏糞やのこ屑、その他の農産廃物に炭の粉を混ぜて作る有機肥料が普及し始めているという。ただし、炭の値が高く、大量に入手できないことや、作り方が知られていないために、これから研究したいという。

ボゴール農科大学（IPB）、ガジャマダ大学等でももみがらくん炭や木炭の効用は知られるようになり、キャッサバ、大豆、陸稲栽培などにも使われ始めている。

一方林業での研究例は少なく、まだ実用的に大量に使用された例はない。フタバガキ科については1989～1990年に小川が育苗に木炭粉を使用し、2%で効果があり10%以上で有害になったことを報告している（JICA報告書、熱帯林再生プロジェクト）。その他森茂太らかもみがらくん炭を用いてフタバガキ科（Shorea spp）の育苗及び植栽試験を行い、効果があることを示した。また土壌に木炭を加えると、窒素固定菌が増加することが明らかになった（菊地・小川、熱帯林業1996）。スマトラではアカシア・マンギウム（Mangium）の樹下に粉炭を散布すると根が増加し、根粒形成が促進されることが知られており（大和、未発表）、チークの育苗に粉炭を用いると生長が促進されたともいう（ハリオノ、未発表）。

2 - 3 - 2 木炭の性質

炭は作物でも見られるように、マメ科植物の根粒形成に効果があり、他の作物や樹木でも細根の生長促進に効果があることがよく知られている。VA菌根菌の感染やアルカリ耐性の強い外生菌根菌、Rhizopogon、Pitholitus、Scleroderma、Laccariaなどの菌根形成にも炭が有効であることが知られており、日本では実用的に用いられている。

ただし、炭の効果はその質と施用量によって大きく異なり、時に有害となることがあるので、注意が必要である。特に未熟な技術や不完全な炉で生産された炭の中には過剰炭化によって灰を含むものや未炭化によって揮発分をもつものなどがある。前者はアルカリ性が強く、細根の生長や微生物の成長、特に外生菌根菌の成長に有害となる。後者にはタールや高濃度の木酢など、根の生長に有害となり、殺菌効果のある成分が含まれるなど、有害となった使用例が多い。したがって、本実験を行う前に、ポット実験を行い、施用量の限界と根の生長や根粒菌形成の状態をチェックしておくのが望ましい。

木炭は400～800の高温で炭化されているため、全く有機物を含まず、N、P、Kなどの植物栄養成分も極めて低濃度である。ただし広葉樹の樹皮や枝葉などの炭はミネラルの含有率が高く、多少の肥料効果を示すことがある。一般に材からの炭の炭素含有率は85～90%と高く、白炭では95%になるものもある。一方、樹皮等の炭では炭素が75%～85%と低く、灰分

や揮発分が多いのが一般的である。今回使用される炭は後者になると思われるので、使用前に化学分析しておくのが望ましい。

木炭は、植物細胞がそのまま炭化しているため、nm 単位の小さな孔から成り立っており、比表面積が大きい。そのため、粉碎すると保水力が高く容気量も大きくなる。また、pH 8 ~ 10 とアルカリ性が強いいため、酸性土壌を中和し、水や空気を土壌中に保つのに役立つ、いわゆる土壌改良材としての性質を備えている。そのため、炭は微生物の増殖にも適している。ただし、有機物を含まないため、一般の腐生性微生物は増殖できず、アルカリ性に弱いものも侵入できない。そのため、有機物が少ない状態でも生存できるか、植物根から炭素化合物を受け取る性質をもったものだけが増殖する。空中窒素固定菌、根粒菌、菌根菌のいくつかは、いずれもこの性質をもっている。

2 - 3 - 3 試験における木炭施用上の留意点

(1) 施用量

施用する量の単位は l (リットル) \ volume/volume とする。重量単位を用いると炭の種類による違いを比較することができなくなる。施用量は作物や林木の種類によって異なるので、予備試験が必要。さらに同一基準で施用するためには生産される炭の質も常にほぼ均一でなければならない。樹木の場合、育苗ポットでの施用量は 2 ~ 5 % で、10 % を超えない方がよい。ただし、植物によっては炭だけ (十分洗ってアルカリを除いたもの) で育つ植物もある (ランなど) 。植穴施用の場合は 20 % 程度まで許容される。植穴に樹木の根がとどまるのは 1 年以内であるため、2 年目以降は地表に散布するか、浅い溝 (20 × 30cm) を掘って埋め込む (マツでの例) 。地表に散布した場合はアカシア・マンギウム以外は、根が一般に深く入るため、さほど効果的ではない。

(2) 施用する炭の形状と添加物

農業土壌に施用する炭は通常粉炭である。2 ~ 5 mm のものが全体の 30 % 程度含まれているものが良い。ただし樹木を対象とする場合は細粉である必要はない。一般に細炭の場合は細根がよく発生するが、太い根の生長には適さず、活性炭のような微粉ではほとんど効果がない。木炭のサイズが大きくなるにつれて、太い根が出やすく、細根の量が減る。そのため、植穴へ施用する木炭は、多少大きめの木炭 (1 ~ 2 cm) が 20 % ~ 30 % 含まれていてもよい。地表へ散布する場合も細粉は流亡しやすいので、粗目のものが望ましい。

木炭にはほとんど肥料成分がないので、効果を上げたい場合は化学肥料か有機肥料を混合または添加する。農業用に用いる場合は高度化成肥料の希釈液を粉炭にかけて混合、数日間寝かせてから使用する。有機物としては鶏糞や豚糞、生ごみなどが利用される。これ

らの材料を炭と 1 : 1 若しくは 2 : 1 の割合で混合し、堆積発酵させる。いわゆる炭堆肥には特定の細菌や放線菌が増殖し、植物ホルモンや抗生物質を生産し、アンモニアを吸着するなどの働きがため、作物の成育に効果的である。

林業に用いる場合は、これらの肥料成分は必要ないか、若しくは有害となることがある。ただし火山灰土壌が対照となる場合には、Fe、Al にリン酸が結合して不溶性となるため、リン酸肥料を少量加えるか、菌根菌を効果的に感染させる必要がある。

炭は吸着力が強いので、リンに換算して 0.01 % となるよう、よう磷又はリン酸石灰を水に溶かす。ロックフォスフェートは溶けにくい、使うことができる。濃度の低いリン酸肥料を、炭を粉砕する際、炭の粉によく混ぜ、袋に入れて数日放置する。これをポット又は植穴施用に用いる。窒素は、自然状態で空中窒素固定菌が働くため、特に加える必要はない。

(3) 施用方法

育苗の場合、培土に対して 5 ~ 10 % を混合する。Shorea の場合は 2 % まで下げる方がよい。苗の根に菌根が形成されていない場合は、高濃度で与えると害の出ることがある。

- ・アカシア・マンギウムには Rhizobium (根粒菌) と VAM (VA 菌根菌、おそらく Glomus 属) が同時に感染する。双方とも自然土壌に多いので、接種する必要はない。育苗から始める場合は、2 種を同時に接種すると生長促進効果が大きい。ただしコスト高になる。
- ・ Pinus merkusii には、Suillus (アミタケ、チチアワタケ、ヌメリイグチ) などの仲間、Rhizopogon (ショウロ)、Pitholitus (コツブタケ)、Laccaria (キツネタケ) などが外生菌根を形成する。Suillus 以外は比較的アルカリ耐性が高いが、pH 7 以上になると生長しにくいので、幼苗に対しては、塊状若しくは層状に入れるのは危険。成木になると耐性が高くなるので、層状に施用してもよい。ただし、スポット若しくは溝状に施用する方が害がない。地表に散布しても根が深いため、効果は薄い。

アカシア・マンギウムと Pinus merkusii の場合は、植穴へ施用したあと、1 ~ 2 年目に成長経過を見て筋状若しくは地表に散布する。アカシア・マンギウムでは地表散布も有効である。

- ・ Shorea leprosula には Scleroderma (ニセショウロ)、Inocybe (アセタケ)、Laccaria (キツネタケ)、Russula (ベニタケ) 属などが感染しやすい。このうち Scleroderma と Laccaria は弱アルカリ性に耐えるが、他は酸性好みのため、炭が多いと菌根の形成が阻害される。また、細根が柔らかいため先端が障害を受けやすい。厚い層状施用を避けて、土と混合する方がよい。施用量は少なめにし、特に菌根形成の見られない苗(根が白色の菌糸に覆われていないもの)については量を抑えるか、若しくは施用しない

方が良い。活着、生長が始まってから、表層に薄く施用する。

炭を施用すると草本マメ科の林床植物が繁茂する場合がある。これは窒素供給源になるので、記載をしておくといよい。ただし、木本の高木性のものはPinus merkusiiやShoreaにとって将来有害となるおそれがあるので、一定期間後、除伐した方がよい。

第3章 合同調整委員会

3 - 1 年次計画

別添の年次計画のとおり、日本側専門家により作成され、合同調整委員会で承認を受けた。

3 - 2 討議内容

嶋崎チーフアドバイザーより、配付資料に基づき、プロジェクトのマスタープラン、事業計画、平成13年度活動計画、平成13年1月～4月期事業実行報告等の説明がされたあと、以下の質疑が行われた。

(1) 国家開発計画庁 (BAPPENAS)

- ・現在、インドネシアでは地方分権化が進められており、このような動きのなかで、森林・林業関連プロジェクトについても地域社会の開発、地域住民の生活向上をめざしたプロジェクトであるべき。本件プロジェクトについて、こうした社会的側面、特に地域住民をどのように参加させていく予定。

→ 植林など事業活動を進めていくうえで、地元住民を雇用するなどして地域社会との関係構築を図りたい (Sunaryo 森林・自然保全研究開発センター所長)。

→ 植林木に木炭を施用することとしているが、その木炭生産にあたっては、現地に適した手法の開発改良を想定しており、木炭生産を通じた地元住民の雇用、さらにはその手法の普及により地域社会への貢献がなされるものと考えている (嶋崎チーフアドバイザー)。

- ・一般に植林対象地はジャワ島外に見られるが、他の地域での調査は検討されているのか。

→ カリマンタン、スマトラなどでも調査を進めていく考えである (Sunaryo)。

(2) プルムプルフタニ (民営化された元・国営林業公社)

- ・プロジェクトで植林など作業を進めていくうえで、各作業の責任者はどのようなになっているのか。

→ JICA及び林業研究開発庁のプロジェクト側では、植林などの作業については、プロジェクトサイトを管轄しているKPHボゴール(ボゴール営林署)に委託する予定。今後も打合せを密にして連携を図りながら円滑に事業に進めていきたいと考えており、よろしくをお願いしたい (Fattah 林業研究開発庁長官)。

(3) 環境省

- ・プロジェクト活動によって得られたデータはどうするのか。インドネシア側も情報を利用

できるようにしてほしい。

→プロジェクトでは、ホームページを開設してデータを公開する考えである(Sunaryo)。出版、ニュースレター、セミナーその他の活動についても考えている。またアカシア試験地には試験地を見渡せるタワーを建設するなどして、現地来訪者に対する P R にも努めて参りたい(J I C A 瀧本団員)。

・共同実施活動(A I J)として国連気候変動枠組条約(U N F C C C)にどのようにして報告していくのか。日本側か？

・A I J に必要な(第三者による) Monitoring System について配布資料のなかに記されていない。

・インドネシア側としては他のプロジェクトの経験もあり A I J の手続きについては知っている。日本側の対応はどうなっているのか。

→本プロジェクトの A I J 認定に関しては、昨年 12 月に締結された討議議事録(R / D)本文に、今後両国政府で A I J 認定に向けて努力していく旨合意したところである。現在、日本の外務省の方で、そのための手続き、具体的にはノートバーバルの準備を進めていると聞いている(J I C A 佐藤専門家)。

→A I J 認定にあたっての要件、認定後のモニタリングシステムなどプロジェクトとしてもフォローすべき課題があり、本件のフォーカルポイントであるインドネシア環境省と協議を進めながら取り組んで参りたい(嶋崎チーフアドバイザー)。

(4) 林業研究開発庁

・B A P P E N A S にカウンター予算を申請するために、年間活動計画のなかに J I C A 側の事業予算を明示してほしい。

→検討して参りたい(嶋崎チーフアドバイザー)。

3 - 3 今後の検討事項

合同調整委員会では、プロジェクト案に対して特に修正はなかったが、環境省委員から A I J プロジェクトとしての期待と、A I J とすべく手続きを早急に進めるよう要請があった。このことに関しては、クリーン開発メカニズム(C D M)と関連させるとの検討もなされてきたところではあるが、早急な処理を進める観点からまず A I J としての取り組みを進めることが望ましい。

本プロジェクトは、地下部まで含めた炭素量を測定し、ベースライン、炭素固定量をモデル化することと、未利用部分について炭化し炭素の呼吸固定に貢献し得るモデルを作成するところに独自性をもつ。

この意味で、実証事業として提案型の意味合いをもつ非常に意欲的で発展の可能性をもつプロ

ジェクトと考える。また、インドネシア側の期待も大きいものがある。しかしながら、このプロジェクト独自で5年という短期間に地球規模で汎用性をもつモデルをつくるとするなら、かえって実用性のないものをつくることになりかねない。特にリーケージのような社会的なファクターを含む場合、一般性を求めるのは非常に困難と考えられる。

しかし、可能な限りの範囲で応用性の高い炭素固定造林モデル及び調査手法をめざすべきで、その意味で、外島での調査等の幅広いデータ収集が議論されてきた。更に配慮されなければならないのは、プロジェクト外情報の幅広い収集分析、プロジェクト間連携等及び理論構築に向けて、林学、自然科学、社会科学からの幅広い具体的指導・支援体制が必須であり、この点国内推進委員会の積極的支援とプロジェクト側からの国内委員会への意欲的検討要請を期待する。

第4章 将来的な検討事項についての提言

本プロジェクトの主目的が、近い将来インドネシアにおけるクリーン開発メカニズム(CDM)関連事業に民間の投資を促すことである点に留意し、以下の点が検討若しくは調査されることを期待する(民間企業が要求すると思われる情報は付属資料10.参照)。ただし、これらの項目は現在のプロジェクトになじまない、若しくは過重負担となることも懸念されるので、別組織ないしは短期専門家によって対応されることを希望する。

- (1) 外国企業、若しくは組織のインドネシアに対する投資、特に林業、森林、炭素固定関連プロジェクトの過去の実績と現状。
- (2) インドネシアの森林、林業政策の方向、法的措置、州政府権限の拡大と中央の関与の動き等、政治及び行政上の安定度に関する情報。
- (3) 民間企業が投資若しくはJoint Venture(JV)に参入する際、必要となる日本側、インドネシア側双方の法的裏づけ、契約方法、契約例、更にCarbon Creditを含む事業の、欧米、オーストラリア、カナダ等における契約例。インドネシアにこれらを適用した場合のモデル形成のための調査研究。
- (4) 本プロジェクト(ジャワ島)から大規模CDM関連事業に拡大する際のステップに関して、データの使えるもの、不要なもの、必要となるものなど、外島での調査に先立って具体的に検討しておくこと。外島での調査、フィージビリティ・スタディ(F/S)を委託する場合には、具体的な概念設定が必要。特にリーケージについて、外島での調査結果は直接事業化につながる可能性が高いため。
- (5) 本プロジェクト、及びインドネシアの林業政策、フタバガキ植林の推進、地域住民対策等を補強するために、フタバガキの育苗及び苗供給事業(種子収集、育種、繁殖法、菌根利用等を含む)。

また、以下の2点についても本実証調査との直接的な関係は見られないものの、今後、何らかのスキームを利用した調査が必要になると予想される。

- (1) 社会経済的要素、リーケージの考え方、具体的な測定方法、及びリーケージの範囲につい

での検討。社会的関係は現在、日本の植林に関心のある民間企業が最も懸念している点であることに留意。

(2) 製炭等残廃材有効利用事業(燃料用木炭、ブリケット炭、土壌改良材、活性炭、バイオマス発電を含む)の開発調査(F / S)。