

CDM植林促進技術開発事業

平成13年度調査報告書

平成14年 3 月

財団法人 国際緑化推進センター

まえがき

平成9年の国際連合気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）で採択された、京都議定書で、地球温暖化防止のため、日本は温室効果ガスの2008～2012年の平均排出量を1990年レベルより6%削減（先進国全体では平均で5%削減）することが定められた。この京都議定書には削減目標達成のための柔軟措置として、先進国・開発途上国の間で実施する「クリーン開発メカニズム（CDM）」などが盛り込まれ、日本においてもこれらの措置も視野に入れて削減目標の達成を目指すとともに、国際的な温暖化対策を積極的に推進することが求められている。

昨年11月にはモロッコのマラケシュで第7回締約国会議（COP7）が開催され、CDMの具体的な内容が決定され、森林造成による二酸化炭素の吸収がCDM事業となるための手続き等が明らかになった。このため今後CDM植林事業の策定・実施が本格的に開始されること、および2000年以降の吸収量等が温室効果ガス削減の算定対象となることから、この事業を早期に実施するための環境整備が必要となっている。

本事業は、林野庁の補助事業として平成13年度から5年間の予定で、（財）国際緑化推進センターが実施するもので、海外植林事業をCDMの枠内において実施するにあたって必要な植栽木等の成長予測及び土壌を含めた炭素吸収量の計測手法、炭素吸収量増加のための造林技術の開発を行うこと等を目的としている。本年度はインドネシア等において森林調査を、アメリカ合衆国では関係機関からCDM植林事業に関する情報収集を実施し、炭素吸収量の計測手法等の技術開発に着手した。

この事業の目的であるCDM植林事業の促進は、地球温暖化の防止、熱帯林資源の持続、地域住民の生活水準向上等のために極めて重要な課題であり、この調査事業推進の中核となっておられるCDM植林促進技術開発委員会の委員、および現地調査に参加いただいた専門家の方々、さらに、現地で調査協力を賜った各国関係機関の皆様には、この緊急課題の解決に向け格別のご理解・ご協力を賜り厚くお礼申し上げます。

また、本事業を実行するにあたって懇切なご指導を賜った、林野庁の岸 純夫 研究普及課長、調整班の赤堀聡之 前課長補佐及び原田隆行 課長補佐、香月英伸 国際研究連絡調整官、松本純治 連絡係長の各位には深く感謝を申し上げます。

この緊急課題の解決に向け格別のご理解・ご協力を賜り厚くお礼申し上げます。

平成14年 3月

（財）国際緑化推進センター
理事長 塚 本 隆 久

目 次

1. 目 的	1
2. CDMの要件及び先進国による共同実施活動事例解析	3
1) 気候変動枠組み条約におけるCDMの要件	3
2) 先進国における共同実施活動調査	8
<資料1> CDMの実施手続き	12
3. AIJパイロットプロジェクトの事例解析	15
1) AIJパイロットプロジェクトの種類と主要プロジェクトの概要	15
2) AIJプロジェクトで提案されている生態系炭素に関わる測定項目	20
3) 間接影響等森林生態系炭素測定以外の項目	21
<資料2> ポリビア・サンタクルス州 Noel Kampff 気候行動プロジェ クト (NKCAP) の炭素インベントリーとモニタリング	23
4. 森林生態系炭素蓄積量の測定	25
1) 生態系における固定炭素の種類とCDM-sinkにおける測定の必要性	25
2) 造林地におけるバイオマス測定法	26
3) 造林地のリター及び土壌炭素測定法	42
4) 造林地固定炭素測定法の今後の方向	48
5. 対象造林樹種の選定と実施計画	49
1) 地域別主要造林樹種のリストと対象種の選定	49
2) 樹種・地域別造林地固定炭素量解析の実実施計画	51
6. 造林地炭素固定量の解析	53
1) タイ国・チーク林のCDM炭素固定量の解析	53
a. 調査対象候補地の選定	53
b. 調査時期の選定	54
2) インドネシア国スマトラ島のマホガニー林、スンカイ林、マンギウム林の CDM炭素固定量調査	57
a. ブナカット周辺の対象樹種造林地のバイオマス調査	58
b. -同上-造林地の土壌炭素調査	64
3) インドネシア国東カリマンタン・スブル実験林におけるメリナ及びスンカイ 造林地及び対照地の炭素固定調査プロットの選定	71

7. 造林地造成に伴う間接影響の評価	74
1) リークエージの評価と対処法	74
<資料3> Assessment on the potentiality of reforestation and afforestation activities in mitigating the climate change	

CDMプロジェクト平成13年度報告書写真、図、表リスト

写真

1. 南スマトラJICAプロジェクトで造成された20年生マホガニー人工林 ……	82
2. Musi Hutan社の6年生アカシア・マンギウム試験林 ……	82
3. Musi Hutan社、10年生スンカイ試験林で設定された1m×2mコドラート での林床植生の採取 ……	82
4. マホガニー伐倒木の長さの測定と玉切り部位のマーキング ……	83
5. 玉切りした丸太の重量測定 (マホガニー) ……	83
6. 枝、葉など器官の分別準備 (スンカイ) ……	83
7. 枝、葉の分離と整理 (マホガニー) ……	84
8. 根の掘り起こし準備作業 (スンカイ) ……	84
9. バックホーによる根のつり上げ (アカシア・マンギウム) ……	84
10. 洗浄後の根の重量測定 (アカシア・マンギウム) ……	85
11. 1m×1mコドラートでの有機物層 (リター) の採取 (マホガニー) ……	85
12. マホガニー林の土壤断面と容積重測定試料採取 ……	85

図

1. 調査木の伐採と丸太裁断手続き ……	29
2. 枝葉分離と重量測定手続き ……	30
3. ベースライン植生・林床植生器官分離 ……	37
4. 直径と幹乾燥重量間のアロメトリー関係の事例 ……	42
5. チェンマイ・ランパン地域チーク調査地 ……	55
6. チークCDM調査候補地 (Mae Chang 管理区) ……	56
7. 胸高直径と樹高—スマトラ ……	58
8. スプル実験林対象地 ……	72

表

1. プロジェクトタイプと炭素固定量 ……	3
2. 抜粋したLULUCF AIJパイロットプログラムと他のプロジェクトの概要 —少なくとも開始初期ステージ— ……	16
3. 気候変動枠組み条約にかかるパイロットフェーズにおける共同実施活動に 向けた我が国の基本的枠組みに基づく共同実施活動農林水産省第一次認定 プロジェクト ……	17
4. AIJ炭素吸収・削減プロジェクトの概要—ケーススタディの抜粋— ……	17

5. 一部のAIJプロジェクトでベースライン確定に使われたアプローチ	19
6. 土地利用及び林業プロジェクト事例で測定し、モニターする必要がある 主要炭素プールのマトリックス	22
7. 直径分布野帳	27
8. 直径野帳	31
9. 生重量野帳	32
10. 乾重野帳	35
11. ベースライン植生野帳	39
12. 熱帯・亜熱帯地域の主な造林対象樹種と代表的造林地での成長量	50
13. 本プロジェクトで対象とする候補樹種と調査候補地域	51
14. 対象樹種・調査対象造林地と炭素固定量解析実施計画	52
15. 調査林分の概況	57
16. 胸高直径と樹高の関係式と式を利用した推定樹高	59
17. 調査林分の状態	59
18. 調査林分の林床植生の乾重量	59
19. 伐倒調査木の大きさ等	60
20. 調査木の相対成長式の係数及び決定係数	61
21. 各林分のバイオマス量と炭素固定量	62
22. 調査土壌の断面形態の特徴	65
23. 土壌の深さ別炭素含有率及び蓄積量	67
24. 各林分のリター層の炭素蓄積量	69
25. スンカイ成長経過	72
26. メリナ成長経過	72
27. リークージに関連する要因と可能なオプション	77
28. 事前調査におけるスコーピング用チェックリスト（社会環境）	80
29. 間接影響に関する注意点・対策（森林・土地利用プロジェクト）	81

1. 目 的

気候変動枠組み条約第3回締約国会議（COP3）において採択された京都議定書では、先進国が途上国で温室効果ガス削減のためのプロジェクトを実施し、これにより、途上国の持続可能な開発の達成を支援すると共に、プロジェクトにより発生する排出削減量または吸収量の一部を、先進国の排出削減約束数値達成の一部として使用することができる仕組みとして、クリーン開発メカニズム（CDM）が規定された。

このCDMについてはCOP6再開会合において、我が国は1%、炭素換算で約330万トンを上限として適用が認められるとともに、2000年1月以降のプロジェクトが対象となることも確認され、実施が日程に上ってきた。

CDMの運用実施規定の詳細は2003年に予定されているCOP9で最終的に決定されるが、COP7及びCOP8においても一部ずつではあるが、別途設立されたCDM理事会などを通して細則が決められつつある。このような国際的な情勢の推移に関わる情報の収集は、速やかな対応が得策と考えられている今後の具体的なCDMプロジェクトの実施に向けて、きわめて重要と考えられる。

一方、2008-2012年の第1約束期間においては、CDMプロジェクトの中の吸収源プロジェクトは新規造林及び再造林に限定することとなった。そのため人工林の種類及び地域における炭素固定能力の推移と量的把握、プロジェクト実施に伴う地域の社会経済や環境等への間接影響の評価が重要な解析すべき事項となった。

このような国際的な情勢に基づき、本事業においては、

1. AIJ森林プロジェクトを実施している先進国や関係機関において、森林の炭素吸収量の計測手法、炭素吸収量増加のための造林技術等に関する情報を収集するとともに東南アジア等我が国のAIJ候補造林プロジェクト等において、造林木の成長予測手法、森林の炭素吸収量の計測手法及び炭素吸収量増加のための造林技術開発に向けた現地実測調査と情報収集、
2. 1. の情報及び現地調査データ等によりプロジェクト実施箇所の条件による成長予測及び炭素吸収量の計測手法を開発、
3. 2. に基づいて造林樹種、施業パターン等の条件の違いによる炭素吸収量増加のための造林技術を開発

することなどを、現地調査を主体として推進する。

本年度は、IPCC報告の解析と米国における共同実施活動調査、インドネシア等での造林地の現地調査を行い、造林地の炭素固定量計測手法案を提案した。

CDM植林促進技術開発委員会及び小委員会

委員の構成

委員	天野 正博	森林総合研究所 森林管理研究領域長
委員	井上 敏雄	木材樹木関連技術研究組合 常務理事
委員	遠藤 康之	東京電力(株) エネルギー・環境研究所 (途中交代) 地球環境グループ・主任研究員
委員	石橋 道生	東京電力(株) エネルギー・環境研究所 (第3回委員会より) 地球環境グループマネージャー
委員	大角 泰夫	(財)国際緑化推進センター 顧問
委員	太田 誠一	森林総合研究所 立地環境研究領域長
委員	加藤 隆	森林総合研究所 林業経営・政策研究領域長
委員長	佐々木恵彦	日本大学 生物資源科学部 学部長
委員	森川 靖	早稲田大学 人間科学部 教授
(測定法小委員会委員長)		
委員	森 徳典	(財)国際緑化推進センター
委員	八木 久義	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
委員	脇 孝介	(財)国際緑化推進センター 顧問

委員会の開催

準備委員会	平成13年5月16日(水) 於：国際緑化推進センター 研修室 佐々木委員長、天野、大角、加藤、森川、脇委員 林野庁研究普及課、計画課
第1回委員会	平成13年5月23日(水) 於：国際緑化推進センター 研修室 佐々木委員長、天野、井上、遠藤、大角、太田、加藤、森川、森、 八木、脇委員 林野庁研究普及課、計画課
第2回委員会	平成13年12月26日(水) 於：林友ビル6階会議室 佐々木委員長、天野、石橋、井上、大角、太田、加藤、森川、森、 八木、脇委員 環境省、林野庁研究普及課、計画課
測定法小委員会	平成13年5月31日(水) 於：国際緑化推進センター 研修室 森川委員長、八木、森、大角委員、井上、平塚、平柳、野口研究員

2 . CDMの要件及び先進国による共同実施活動事例解析

森林総合研究所 天野 正博

1) 気候変動枠組み条約におけるCDMの要件

a. 吸収源CDM事業の背景

先進国が途上国と協力して地球温暖化防止のための事業に取り組むプログラムが1988年から始まり、森林についても森林保全や植林による大気中炭素の吸収や伐採方式の改善による排出量の削減といった事業が始まった。現在では19カ国で27プロジェクトが実施されている。総面積は350万haで南米が圧倒的に多く、面積にして83%は森林保全プロジェクトである。これまでのプロジェクトによる炭素の排出削減量や吸収量はhaあたり4～440tである。また、炭素1tを削減あるいは吸収するのに要した費用は0.1～28ドルであった。先進国が温暖化防止に関する技術、ノウハウ、資金等を提供し、途上国において具体的な事業を実施する枠組み自体はCOP1において議論されたものの、事業で獲得された炭素クレジットをどのように配分するかで議論がまとまらず、AIJ (Activities Implemented Jointly) としてボランタリーベースで具体的な知見や経験を積むことが決まった。これまでに180近くのAIJプロジェクトが始まり、吸収源部門で報告されている主な活動は、植林、森林修復、土壌炭素管理、森林保全、森林経営及びそれら複数の組み合わせである。AIJで得られた経験では炭素固定能力とその費用は表-1のようであった。

表-1 プロジェクトタイプと炭素固定量

プロジェクトタイプ	費用 (米ドル/tc)	炭素固定量 (tc/ha)
森林保全	0.1-15	4-252
森林管理	0.3-8	41-102
植林	1-28	26-328
アグロフォレストリー	0.2-10	26-56

IPCC (2000.5) より作成

表-1で明らかなように吸収源CDM事業は比較的低コストで地球温暖化を軽減できる有力なツールなる可能性がある。こうしたことから、京都議定書の削減目標達成が欧州諸国に比べ困難と見られる北米、オセアニア、日本といった国々は吸収源CDM事業を京都メカニズムに加えることを主張してきた。その中で米国は森林保全を中心とした、日本は植林を中心とした吸収源CDM事業を提唱した。しかし、COP6での交渉決裂後に米国が京都議定書から離脱したことから、第1約束期間での吸収源CDM事業は新規植林 (A) 及び再植林 (R) のみを対象にすることがCOP6再会合で決まった。昨年の秋のCOP7でCDM事業についての検討が進んだが、ほとんどは排出源削減を目指したCDM事業であり、

吸収源についてはあまり議論が進んでいない。吸収源CDM事業の具体的な内容は2002年4月にイタリアで開催される新規植林及び再植林に関するCDMワークショップを皮切りに、順次、明らかになっていくだろう。

b. 吸収源CDM事業を検討する目的

日本は京都議定書の運用ルールを定める交渉の中で、植林事業を中心とした吸収源CDM事業を認めるよう、強く主張してきた。このため、今後は第1約束期間に向けて積極的に事業の枠組みを構築に必要な情報提供が求められている。そこで、より詳細に計測手法やアカウンティング手法、CDMの効果や経済性、あるいはこれまで検出されてこなかった問題点などを明らかにすることを目的として、様々な面から吸収源CDM事業を検討し、提案することが、本事業に期待されよう。

最初にこれまでのCOPの議論の中で吸収源CDMを採用する上で問題になったことを整理すると、下記の4点になる。

- (a) プロジェクトの追加性、ベースラインを決める上での困難さ
- (b) プロジェクトの持続性
- (c) 炭素吸収量の計測とモニタリングが事業レベルで可能か
- (d) エネルギー部門に比べ長期に及ぶ吸収源CDMに要求されるホスト国の法整備

こうした疑問に答えるため、とりあえず第1約束期間は植林事業だけを吸収源CDMとして認めることになったが、まだ、途上国やEU,NGOを中心に吸収源CDMに関しいくつかの疑問が提示されている。そこで、こうした疑問はどのようにすれば解決できるのか、あるいは多少の誤解に基づいているのではないか、CDMで用いられているキーワードに沿って説明していく。

c. 追加性

追加性については様々な議論があるが、産業植林がCDMとして認められるかどうかを左右する重要な因子となるので、注目していく必要がある。CDMに吸収源を含めたくないグループはリーケージと並んでこの追加性を論点としてきた。追加性には様々な視点があるが主なものは以下の3つである。なお、追加性はCDMにベースラインを導入する基になる概念でもある。

(a) 活動の追加性

CDM事業の対象にならなければ実施されない活動や技術であり、それにより追加的に得られる吸収量が、炭素クレジットとなる。こうした活動の追加性には単なる追加的技術だけでなく、木材生産だけでは経済的に引き合わず放置されていた経済的限界地に、炭素クレジットによる追加的収益が得られることにより、新規投資が可能となる植林活動も含まれる。

(b) 資金の追加性

ほとんどの途上国が主張しており、従来のODA予算とは別の資金をCDMに用いることである。ただ、一部の国はODAによるCDM事業を主張し政治的な立場の違いが反映されていることから、この問題については深く言及しない。なお、CDM植林による炭素クレジットの獲得は他のCDM事業に比べコストが安いことから、新規投資が促される可能性は高くODAとは別の追加的投資も十分に期待できる。

(c) 環境保全上の追加性

植林事業は単一樹種によるモノカルチャーの生態系を作り出すことから、環境に負荷を与えると懸念されているが、近年は持続的な森林管理のための基準と指標や認証システムが普及しつつあり、生物多様性や安定した森林生態系の確立などに十分配慮することが求められている。CDM植林事業もこうした流れに沿って運営されるるので、環境保全上の追加性は十分に期待できる。

c-① ベースライン

CDM事業の追加性から派生してくる事項で、プロジェクトが実施されない場合の炭素吸収量をベースラインとし、炭素クレジットはそれを上回った吸収量に対してのみ与える考え方である。ベースラインの設定方法には2つの考え方があり、ひとつはプロジェクト毎に固有のベースラインを設定する方法で、もうひとつは地方、数カ国単位、それより大きな地域などのレベルで共通のベースライン（ベンチマーク）を決めようという考え方である。COP 6 再会合で排出源については規模の大きなものはプロジェクト固有のベースラインを設け、小さなものはベンチマークを用いてよいという考えになった。植林プロジェクトも同様のアプローチを採るものと思われる。

吸収源のベースラインを論ずる際の大きな問題は、温帯林、北方林と異なり熱帯林では炭素吸収量算定のもとになるバイオマス成長量を算定するためのパラメータが少ないことである。このため、植林CDM事業を強く主張している日本はパラメータ整備に貢献する必要がある。

d. プロジェクト期間あるいは持続性

プロジェクト期間が民間企業、NGO等の組織の存続を見通せないような長期にわたる場合は、CDMに参入しようというインセンティブが民間組織に醸成されない。また、CDM事業対象地を森林利用に長期間固定することにより、ホスト国の土地利用に関するオプションにあまり長い間、制約を与えることは好ましくない。モニタリングに要する費用も期間が長くなるにつれ増加する。植林CDMの対象となる途上国のコンセッションをみても、例えばインドネシアの法律（NOMOR 6 TAHUN 1999）ではその期間を35年としており、長期間にわたって保証をしてきていない。吸収源CDMプロジェクトに投資する事業体が投資に当たって長期借入金を利用する場合にも、返済期間はせいぜい30年程度である。こうしたことから、CDMプロジェクトの期間は諸条件と整合性のとれる30～40年程度が望ましいと考えられる。一方、EUや幾つかの途上国などは吸収源CDM事業を採用したくない政治的意図も含めて、大気中に放出された炭酸ガスが分解されて

温室効果を果たさなくなる99年という長期のプロジェクト期間を提唱している。しかし、吸収源を地球温暖化防止のための手段に用いる理由は、大気中の炭素を工業的に固定する技術が開発されるまでのつなぎ役であり、あまりに長いプロジェクト期間は本来の狙いからはずれたものになる。こうした点を考慮しながら、ARを主体とする吸収源CDM事業におけるプロジェクト期間を考えるべきだろう。また、熱帯における植林事業では持続的管理が重視されることから、多くの植林地は長期間にわたって森林生態系の安定性を考慮した形で維持される可能性が高い。最近では森林認証の専門家と吸収源の専門家による合同ワークショップも開催され、吸収源プロジェクトが炭素一辺倒ではなく持続性も考慮したプロジェクトデザインを目指しており、プロジェクト期間を極端に長くしなくても森林自体は維持されるだろう。

e. 不確実性

バイオマスの計測方法が技術的に難しく、それがベースライン設定にあたって科学的に不確実なものになっているとの意見があるが、レーザープロファイラーなどのリモートセンシング技術の発達は著しく、信頼限界の下限值を用いるなど控えめな吸収量の設定を行えば、大きな問題は生じない。技術革新の速度が著しく早いための確かなBusiness as usualによるベースラインの設定ができない排出削減CDM事業よりも、ベースラインは明確だといえよう。ただ、森林は絶えず森林火災や病虫獣害による蓄積減少のリスクをもつことも懸念され、こうしたことを合わせて吸収源CDMは不確実性が高いと言われる。

また、吸収源プロジェクトは地域住民の土地利用活動と競合する可能性が高いことから、プロジェクト実施前にプロジェクト対象地内で行われていた炭素排出に関連する活動が、対象地の外に移動して行われることが危惧される（リーケージ）。さらに、プロジェクトが長期にわたることから十分なモニタリングがその間、可能かどうかを加えた以下の4つが吸収源CDM事業の不確実性と考えられている。

- (a) 計測での不確実性
- (b) リスクとしての不確実性
- (c) リーケージ把握の際の不確実性
- (d) モニタリングの不確実性

e-① 計測方法

既に幹材積を推定する技術は高いレベルにあり、今後は幹材積からバイオマス量及び炭素量に換算する拡大係数、容積密度といったパラメータの整備を急ぐ必要がある。しかし、これらもデータを集積していけば解決する問題であり、技術的な限界からくる不確実性ではない。当事業が継続して実施されれば、東南アジア地域における計測精度は相当に高まるものと期待される。

e-② リスク

不確実性の中でもっとも大きな課題は植林CDM事業におけるリスクをどう評価するかという点である。例えばインドネシアの東カリマンタン州におけるアカシアマンガウム及びメリナの植林地では、8年に一度20%の植林地が火災によって焼失しているとの報告がある（住友林業株式会社、2002）。病虫獣害の被害率についても詳細なデータは集まっていないが、森林火災に比べれば蓄積が大幅に減少することはない。しかし、木材価格には大きな影響を与えることから、プロジェクトの持続性という観点では情報収集による、リスク評価とリスク管理の確立が急がれる。

e-③ リークージ

森林保全事業と異なり植林CDMはリークージが生じるメカニズムが多くの研究で明らかになってきており、排出につながるようなリークージは深刻でない。また、できるだけリークージを防止するようなプロジェクト設計も可能である。つまり、リークージを引き起こす主体は地域住民であることから、植林事業へ住民が参加することにより、ある程度リークージの防止は可能となる。一方、植林技術の普及、市場の開発といった吸収を促進するようなリークージは積極的に支援していく必要がある。

e-④ プロジェクトの境界

CDM事業のリークージや間接的影響を把握するには、あるいは吸収源により炭素クレジットを獲得するための準備作業や周辺活動などによる炭素排出を考慮する必要がある。そのため、CDMでは境界という表現でCDMによる炭素収支を、植林木だけでなくその周辺も含めて包括的に捉えようとしている。今回の事業では吸収源CDMで考慮すべき周辺活動や、プロジェクトの間接影響としてどのようなものがあるかを検討するとともに、モニタリングコストの関係も考慮しながら適切な境界設定方法を明らかにする予定である。そして、境界の設定如何によって不確実性を大幅に減少させることができる。

e-⑤ モニタリング

プロジェクト境界内の炭素収支をプロジェクト期間中はモニタリングして報告する義務がある。吸収源CDM事業ではモニタリングを求められる期間が長いと、コスト的に難しいのではないかと懸念されているが、近年のリモートセンシング技術の発達や、適切な代理指標を導入することにより、モニタリングは十分に可能と思われる。本事業でも運用可能なモニタリング手法の開発が求められている。

f. ホスト国側の受け入れ態勢

吸収源プロジェクトを受け入れるホスト国側の体制を整備する目的で、米国はUSIJI (US Initiative on Joint Implementation) という組織を作り、吸収源に関しても十数プロジェクトを実施しながらホスト国の体制作りを支援している。欧州でもオランダなどは東欧を対象に同様の支援事業を積極的に進めている。日本も排出源削減に関してはNEDOがCTI (Climate Technology Initiative) のもとで熱心に支援活動を行っているが、吸収源については1年ほど前にJICAの実証プロジェクトがインドネシアで始まったばかりで

立ち後れている。国際機関としては世界銀行がCDMやJIホスト国を対象にNSS（National Strategy Study Program）を開始し、CDM事業から下記のような利益が生ずることを狙っている。

- (a) 高い生産性や近代技術の獲得能力
- (b) 国の競争力の改善
- (c) 新規貿易市場の開放
- (d) 地域環境へのポジティブなインパクト

吸収源プロジェクトではCDM事業を通してホスト国地域住民の福祉向上を目指し、事業の実施のための制度的な障害を取り除くとともに、未整備部分の強化、プロジェクトデザインを行う能力の向上、プロジェクトの開始から炭素クレジット発行までの処理費用の軽減を図ろうとしている。

g. CDMに関するその他事項

吸収源CDM事業においては、プロジェクトによって獲得される炭素クレジットの評価方式、クレジット発生期間、CDM事業の透明性、検証性の確保などといった検討事項がある。森林の定義自体が3条3項、4項とは違ったものになる可能性もある。また、吸収源CDM事業での植林プロジェクトには炭素クレジットの大量獲得を目指した産業植林と、NGOを主体として農民が参加する小規模植林プロジェクトがある。多くの関心は大規模植林プロジェクトに向けられているが、小規模植林によるCDM事業を運営していくための技術開発も重要である。こうした問題についても今後、検討を加えていく事項に含める必要がある。

2) 先進国における共同実施活動調査

出張期間：平成13年9月24日～9月27日

場所：米国オレゴン州コバリス

討議テーマ：CDMの運用に関する諸問題の解決について

討議参加者：Winrock International Dr.Sandra Brown

CDM委員会 森川靖、天野正博委員

CDMの枠組みについては、UNFCCCの諸会議によって少しずつ明らかになってきた。まだ、ベースラインなど実際のCDMプロジェクトの運用に必要な事項については不分明な部分が多く残されているが、COP6.5において新たに設定されたCDM理事会からCOP9に向けて今後徐々に詳細が提案されてくるものと考えられる。

しかしながら、2000年1月以降のプロジェクトがCDMプロジェクトの必要要件と決められていることに加えて、登録が2005年までとなっていることから、予定されている2003年のCOP9の最終決定を待つことなく、各種情報を得て実施に向けた概要を先行的に把握することは我が国にとって得策となる。このため本プロジェクトにおいてはCDMに関わる枠組みに関するオピニオンリーダーや先行的なCDM予備プロジェクトとして位

置づけられているAIJパイロットプロジェクトの実施者との意見交換を通してCDMプロジェクトの概要を把握することとした。このような意見交換によって得られた情報は同時に我が国の行政部局による気候変動枠組み条約の中での意見展開にも側面から支援するという利点もある。

今年度は、IPCC第3次報告の主要なリードオーサーである米国Winrock InternationalのDr. Sandra Brown氏と「CDMの運用に関する諸問題」に関して意見交換し、解決方法についての見通しを得ることを目的とした。意見交換日時、討議内容、日本側委員等については下記の通りである。

日程・討議テーマ・討議参加者：

日 時：2001年9月25日

場 所：米国オレゴン州コバリス

参 加 者：Sandra Brown、森川靖、天野正博

討議テーマ：CDMの運用に関する諸問題の解決について

討議内容

計測方法

- ・森林生態系による炭素吸収量の評価についてはサンプリング調査を基本とし、各立木に番号を書き込んだタグを付けることにより正確な再測を可能にし、2時点間での吸収量の増加を科学的に計測できる。
- ・森林土壌中の炭素の変動は生態系から見れば重要なことであり、Winrockが実施しているプロジェクトでもサンプリング地点で計測を行っている。ただ、5年間というような短期間で森林土壌中の炭素量変化を検出するような計測をすることは困難である。農耕地土壌中の炭素増加量がかなりあるという米国の主張が基になって森林土壌にも拡張されているが、オハイオ大学のアル教授グループの主張は過大広告である。
- ・農耕地土壌に米国が深い関心をもつ背景は農業州出身の上院議員が、選挙対策として温暖化に絡めて農民に補助金を流せないか画策しているためである。
- ・小さな炭素吸収量しかないカーボンプールについては、費用の点を考慮して計測対象からははずす。
- ・バイオマス計測のマニュアルを作成する予定である。
※これについて森川教授が作成したマニュアルを贈呈した。大変に参考になると先方から感謝された。

枯死木の調査方法

- ・カーボンプールとして枯死木の計測は重要である。とくに、熱帯の天然林で伐採を行うような場合、伐採対象木の周辺に枯死木が発生する可能性があることから、森林保全CDMや伐採方法の変更による炭素排出削減CDMではその評価に枯死木を組み入れることは不可欠である。
- ・オレゴン大学コバリス校のマーク・ルーモンは枯死木の調査方法を研究している。彼の

方法を採用しているが、基本は可変円形プロットに十字型に設定した線に沿ったラインサンプリングである。この際に、枯死の程度、腐朽を考慮して3クラスに分類する。含有炭素量を計測するための試料もサンプル枯死木から採集する。

モニタリング

- ・モニタリングについては全てのカーボンプールについて実施するのではなく、指標となるものについて行う。一旦クレジットが発生してしまえば、その後は炭素貯蔵量が減少していないことさえモニタリングすればよい。
- ・森林保全については森林破壊が発生しているかどうかをモニタリングすれば十分であり、リモートセンシングデータで対応可能なことから、モニタリング費用は少額であろう。
- ・リモートセンシング、レーザープロファイラー、立体視型ビデオデータなど、新しい技術が開発されつつあり、モニタリングは今後ますます容易になるだろう。
- ・定点プロットはグラントゥールースとして必要性は残る。

リーケージ

- ・リーケージを防止するとともに吸収量とリーケージによる排出量をトータルとして把握するため、Watershedなどと同概念でCarbonshedという見方で地域の森林を取り扱うことを考えるべきである。
- ・リーケージについては鍵となる指標を見つけることができるとモニタリングし易い。ただ、リーケージを全く無制限に考えてしまうとCDMプロジェクトは実施できないので、何らかの限定を設けるべきだろう。

プロジェクト境界

- ・プロジェクトの境界としては空間的境界、時間的境界、概念としての境界の3つがある。先に述べたCarbonshedはこれらを包括した考え方である。
- ・産業植林による伐採木材はAR（新規植林・再植林）プロジェクトでのプロジェクト境界内に位置づけるべきである。
- ・伐採木材をCDMで考慮するときはセネガルで提案された4つの木材の評価方法のどれを採用するのか、注意する必要がある。CDMは別として国レベルで考えたとき個人的にはストック法（Sandora Brownが提案）が輸出入も平等に配慮しており良いと思っている。米国が提案した（現USDAのホーエンシュタインが発表）プロダクツ法は輸入国に木材利用の増大というメリットが生じないので好ましくないと思っている。

ベースライン

- ・プロジェクト特有のベースラインと一般的ベースラインがある。後者の場合でも何らかの指標でプロジェクト毎に修正することができる。例えばメキシコではプロジェクトがない場合の森林率をベースラインとして定めるため、人口密度と道路密度を因子としてそのときの森林率を示す表を作成した。これにより、各地域の実情に応じたベースライ

ンを設定でき、将来、社会経済環境が変動した場合にもベースラインを動的に変化させて対応することが可能である。

ARのアカウントティング方法

- ・平均貯蔵法が望ましい。産業植林によるCDMはこれにより十分に対応できるであろう。

ARの定義

- ・CDMのARに関しては3条3項とは別の定義が必要であり、できればCOP7に出席しサイドイベントでそのことを訴えたいと考えている。
- ・二次林後への植林活動も二次林の生長量をベースラインと考えれば、十分に追加性は考慮できるのでAR活動と認定できるのではないか。
- ・二次林の生長量をそのままベースラインとせず、頻繁に入る森林火災や焼き畑、薪炭材採集、林内放牧といった人為インパクトも加えたベースラインを設定すべきである。この場合、二次林の生長量は極めて少ないと考えられる。

プロジェクト期間

- ・プロジェクトとして持続性を要求する期間は30年程度にしないと民間企業がCDMに取り組もうというインセンティブが働かない。
- ・モニタリングする期間も30年程度でよい。
- ・特別報告書でプロジェクト期間のデフォルト例として100年が記載されているが、個人的には容認できない。

その他特記事項

JIFPROは今年度CDM等についての国際的なシンポジウムの開催を計画しており、国内の関係者にCDMなど京都議定書に関する情報の提供を行う好個の機会でもあり、話題提供者としてシンポジウムに参加を打診した。Brown氏は外国での講演を好まないとの噂もあったが、スケジュールを調整することで講演を快諾いただいた。また、同時に実際にAIJプロジェクトとの関係が深い同じWinrock InternationalのEcosystem Services部門のCoordinatorである Dr. John Kadyszewskiiによる計測、評価、社会経済的影響などの講演も提案された。

なお、本シンポジウムは「国際Forum」として2002年2月19日、オリンピック記念センターで開催され、我が国の関係者に多くの情報が提供されたことを付言する。

引用文献

IPCC, Land Use, Land-use Changes, and Forestry, IPCC, Cambridge University Press, 2000.5

住友林業、2002、インドネシアにおける植林の評価方法に関する調査、地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査、p115、環境省

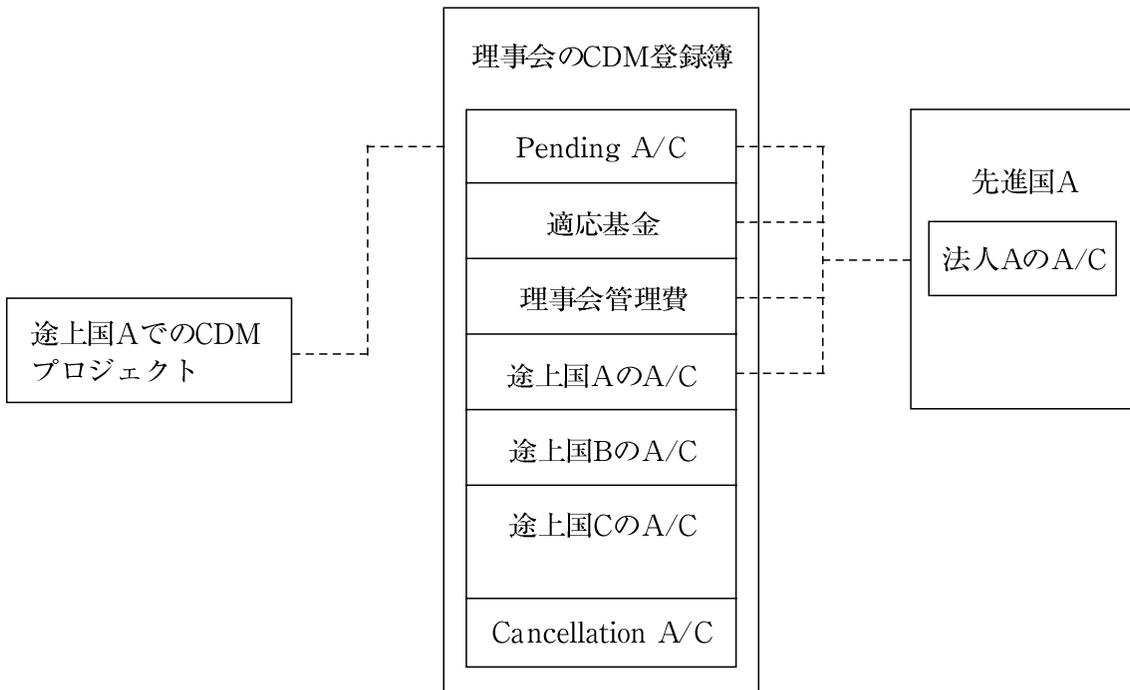
<資料 1>

CDMの実施手続き

林野庁計画課海外林業協力室資料



CER発行のイメージ図



1. 各国の参加要件

- (a) 「京都議定書」の締約国であること
- (b) 排出削減割当量を確定していること
- (c) 排出源と吸収源の見積もりのための国内制度 (system) が整っていること
- (d) 報告のための登録簿 (registry) が整っていること
- (e) 至近年の目録 (inventory) を提出していること。ただし、第1約束期間においては吸収源については目録の提出だけでよい。
- (f) 割当量に関する補足情報を提出し、割当量への加除を行っていること。

2. OEの認定 (accreditation) と指定 (designation)

- ① OE候補者は、理事会に認定を申請。
- ② 理事会は、認定基準により審査し、OEを認定
- ③ 理事会は、認定したOEの指定をCOP/MOPに提言
- ④ COP/MOPは、OEを指定
- ⑤ 理事会は、指定OEのリストを公開

3. プロジェクトの実施とクレジットの発生

(1) 適格性の確認 (validation) 及び登録 (registration)

- ⑥ プロジェクト参加者は、プロジェクトデザイン文書を作成し、指定OEに提出
- ⑦ プロジェクト参加者は、ホスト国による持続可能性の確認文書、関係国からの自発的な参加であることの確認文書を添付
- ⑧ また、ODA事業の場合は、(両国間の協議に基づき) 当該資金がODAの流用でないことの確認文書を添付
- ⑨ 指定OEが審査
 - ・利害関係者の意見が考慮されているか
 - ・環境影響評価は適切か
 - ・ベースライン、モニタリング計画は適切か、など
 - －新たな方法論は理事会が承認
 - －ただしCOP/MOPが方法論の見直しを要求したときはその方法論は使えない
- ⑩ 指定OEは、プロジェクトデザイン文書を公開し、利害関係者、NGO等の意見を聴いた上で、適格性確認を決定
- ⑪ 指定OEは、理事会へ適格性確認報告書を登録申請
- ⑫ 理事会は、適格性確認報告書を登録

(2) 検証 (verification) 及び認証 (certification)

- ⑬ 指定OEは、プロジェクト参加者のモニタリング結果のレビュー等により、排出削減を検証し、プロジェクト参加者、関係国、理事会に報告
- ⑭ 指定OEは、検証結果を書面で認証し、プロジェクト参加者、関係国、理事会に報告

(3) CERの発行

- ⑮ プロジェクト参加者は、クレジットの発行を理事会に請求
- ⑯ 理事会は、CDM登録簿管理者に対してクレジット発行を指示し、CDM登録簿管理者は、クレジットを発行
 - ・収益の一部
 - －適応基金へ 2%
 - －理事会管理費へ x%
 - ・分配合意
 - －プロジェクト参加者へ y%
 - －ホスト国へ z%

注：原文にはCOP7における決定事項の参照「項目 (paragraph)」及び「添付資料 (Appendix)」が付言されているが、本資料においては省略した。

必要に応じて原典を参照していただきたい

3 . AIJパイロットプロジェクトの事例解析

国際緑化推進センター 大角 泰夫

IPCC第3次報告時点で、京都議定書に関わる炭素排出抑制・炭素吸収プロジェクトのプロトタイプと考えられているAIJパイロットプロジェクトは、土地利用に関わる分野では全世界で27プロジェクトが認知されている（表-2）。日本も表-3に示した6件の、炭素吸収AIJ候補プロジェクトを提案しているが、相手国の事情等でまだ世界的には認知されていない。

これらのAIJプロジェクトは、実際に京都メカニズムが動き始めた段階でCDMプロジェクトに必要な要件が組み込まれていると想定されるので、これらのAIJプロジェクトを解析し、CDMプロジェクトに援用の可能性を知ることをこの項の目的の中心とした。

本項は、IPCC第3次報告、第5章「プロジェクトベースの活動」における記載を中心に取りまとめたものである。

1) AIJパイロットプロジェクトの種類と主要プロジェクトの概要

土地利用に関するAIJプロジェクトには、造林による炭素吸収と現状の保全による排出抑制が中心となるが、他にも土壌管理による土壌炭素蓄積量増加プロジェクトがある。これら27プロジェクトの中には付属書I国国内措置（RMU）が6件、付属書I国共同実施（JD）が2件あり、他19件がCDM対応プロジェクトである（表-2）。

これらのプロジェクトのうち、第1約束期間のCDMに適用される新規造林及び再造林に関わるプロジェクトは、造林による4件と社会林業・アグロフォレストリーによる3件の合計7件である。ただ他のプロジェクトも排出炭素削減に関わっているのでCDMプロジェクトには参考となる。

特に重要なAIJプロジェクトの事例を表-4に例示した。いずれの事例もコアとなる炭素排出抑制あるいは炭素吸収量の解析に加えて、社会経済効果や間接影響及び必要コストの解析が必要であることを示している。

表-4 1の事例は、JIに分類されるが、CDMプロジェクトにも通ずる内容が網羅されている。再造林とギャップ造林の組み合わせで、ベースラインは草地と推定される。プロジェクト期間は17年間に設定されており、年間吸収量は6.4tC/ha/y.と算定されている。酸性雨で枯れた森林の回復が目的であるので植栽木が再び酸性雨被害に遭う可能性があることと、亜寒帯林でこれだけの炭素吸収があるかなどの疑問があるが、ギャップ造林は植えた面積で推定できると判断される。ただ、炭素吸収量算定に使われた「CO2FIXモデル」については原典が国際環境ワークショップのプロシーディングであるので詳細は不明である。

表-2 抜粋したLULUCF AIJパイロットプログラムと他のプロジェクトの概要 - 少なくとも開始初期ステージ

Project名とHost国 (区分)	主な活動	プロジェクト情報	面積	全期間CO ₂ 算定量	haあたり固定効率
炭素蓄積増加による炭素吸収：造林、再造林、回復プロジェクト					
FACE: Kröknose & Sumava(JI) NP, チェコ	再造林 天然更新	99年間・1992開始 オランダ	14000ha	2,682,000tC	191tC/ha
RUSAFOR, (JI) ロシア	造林	42年(2箇所)60年(2箇所) 1993開始、米国	900EPA,AWN	80000	89
Klinki Forestry (CDM) コスタリカ	アグロ 造林	46年間・1997開始 米国	開始時：100 全期間：6,000	1,970,000	328
INFAPRO FACE財団 (CDM) マレーシア	補正造林	25年間実施、99年間 1992開始 オランダ	14000	3,000,000	170
FACE-オランダ (RMU) オランダ	都市林造林	1992開始 オランダ	5,000	885,000	177
FACE Elgon/Kibale (CDM) ウガンダ	森林回復	1994開始 オランダ	27,000	707,000	26
Bottomland広葉樹林回復:UtiliTree (RMU) Louisiana, 米国	河畔林再造林	70年間・1996開始 米国	32	12800	400
Western Oregon Carbon Sequestration RMU Project: UtiliTree, 米国	造林 木質物吸収	65年間・1997開始 米国	127	54500	440
Salt Lake City 都市緑化 (RMU) PacifiCorp, 米国	都市緑化	1995開始 米国	NA	5,000	NA
UNSO Arid Savanna Protection (CDM) ベニン	木質サハサ 保護・フェンス	1993開始 UN Sudan&Sahel	25,000	660-1000 ×1000	33
炭素蓄積増加による炭素吸収：土壌炭素管理					
Salicornia Project (CDM) メキシコ	乾性植物 土壌炭素	59年間・1996開始 米国	30	890	18
Saskatchewan Soil Enhance (RMU) Project, GEMCO, カナダ	土壌炭素管理	5年間・1995開始 カナダ	NA	NA	NA
現存蓄積保全による排出抑制：森林管理と伐採技術					
ICSB-NEP 1 (CDM) マレーシア	伐採法改善	40年間・1992開始 米国	1,400	58000	41
ICSB-NEP 2 UltiTree (CDM) マレーシア	伐採法改善	40年間・1997開始 米国	1,012	104,000	102
Olafo Project-Petan (CDM) Guatemala	持続林業 持続農業	40年間・1995開始 北欧3国	57800	4,920,000	85
Pacific Forest Stewardship, Or. (RMU) 米国	森林管理法 改善	1995年開始 米国	NA	242,000	NA
現存蓄積保全による排出抑制：森林保全 - 保護					
Amazon Basin, AES/Oxfam (CDM) Equador, Bolivia Peru	保護、 土地保有	1992開始 米国	1,500,000	15,000,000	10
Paraguay 森林保護, AES (CDM) パラグアイ	保護	1992開始 米国	58000	14600,000	252
ECOLAND (CDM) コスタリカ	保護	16年間・1995開始 米国	2,500	366,000	146
Rio Bravo (CDM) ベリーズ	保護 森林管理	40年間・1994開始 米国	14000保護 46406管理	2,400,000	39
Noel Kempff (CDM) ボリビア	伐採・消失 保護	30年間・1996開始 米国	~696,000	4,000,000~ 6,000,000	7
保護林プロジェクト (CDM) コスタリカ	購入と土地 利用変更	25年間・1997開始 米国	530,000	4,600,000~ 8,900,000	17
Virilla Basin Project (CDM) コスタリカ	保護再造林	25年間・1997開始 ノルウェー	52000	231,000	4
複合的社会林業					
FACE Profafor (CDM) エクアドル	小規模 農民造林	1993開始 オランダ	75000	9,660,000	129
持続的エネルギー管理 (CDM) ブルキナファソ	村落林管理	30年間・1997開始 ノルウェー	270,000	67000	0.2
アグロフォレストリー					
AES CARE (CDM) グアテマラ	アグロ 部落林	35年間・1989開始 米国	186,000	10,500,000	56
Scoler Te (CDM) メキシコ	アグロ 再造林他	30年間・1997開始 英国・フランス	当初 50 2,000	当初15000 330,000	26

表 - 3 気候変動枠組み条約にかかるパイロットフェーズにおける共同実施活動に向けた我が国の基本的枠組みに基づく共同実施活動農林水産省第一次認定プロジェクト

Project名	国内の参加主体	ホスト国と参加主体	プロジェクト概要	備考
マレーシア国サバ州における植林事業	JIFPRO	マレーシア サバ州林業公社	荒廃地の早生樹緑化 住民所得向上	山火事、未調査 相手機関の対応
インドネシア共和国西ヌサテンガラ州における植林事業	JIFPRO	インドネシア 林業省造林総局	荒廃地緑化社会林業 対象樹種	半乾燥地、 環境省予算
ケニア共和国における郷土樹種による森林造成事業	ニッセイ緑の財団	ケニア 林業研究所	生活環境改善目的の 郷土樹種混交林造成	未調査
インドネシア共和国バリ州における火山性荒廃地の植林事業	ニッセイ緑の財団	インドネシア 林業省造林総局	水源林再生と燃材確保 総合的生活改善	乾燥、未調査 相手機関の対応
インドネシア共和国東カリマンタン州における実験林造成事業	住友林業	インドネシア KT社・研究開発庁	フタバキ植林技術開発 経済的早生樹造林他	調査実施 材積推定法の改善
中国内モンゴル自治区サラハ砂漠周辺域における植林事業	地球緑化センター	中国 伊金 洛旗人民政府	砂漠化防止緑化	獣害、乾燥

表 - 4 AIJ炭素吸収・削減プロジェクトの概要 - ケーススタディの抜粋 -

プロジェクト事例 1		Krknose and Sumava 国立公園、チェコ
目的	温帯林回復と再造林	
面積とタイプ	14000haの針葉樹林	
活動内容	ポーランドの石炭火力発電に起因すると考えられる大気汚染と酸性雨で荒廃し、枯損したオウシュウトウヒ (Picea abies) 林の回復。天然更新は困難で、草草が卓越する。約7,000haを再造林、残りの7,000haをギャップ造林。プロジェクト期間は17年で、樹木生存期間を99年とする。	
GHG削減効果と算定方法	CO ₂ FIXモデルにより算定された累積吸収量は、2,682,030tC。平均C吸収効果は、192tC/haで6.4tC/ha/y。	
社会経済的効果	リクレーション、ツーリズムに対する価値の増大、200人の作業員、農業人口の吸収	
環境に対する効果	大気汚染レベルの低減を予想、生物多様性の維持・増強、地域利水効果の改善	
プロジェクトの現状	1992年に開始、5,400ha完了	
コスト評価	公的及び民間資金；\$38,000,000。 単位あたりの効率：\$14.25/tC	
参考	FACE Foundation (1998); Annual Report 1997. FACE Foundation, Am hem, Neth erland, 28pp. Witthoef-Muehlmann, A (1998); Carbon sequestration & sustainable forestry: an overview from ongoing AIJ-for-estry projects. Working paper, International Academy of the Environment, Geneva Switzerland, 37pp	
プロジェクト事例 2		(参考例) Saskatchewan 土壌活性化プロジェクト、カナダ
目的	土壌耕作法を耕耘回数の低減法に変更した場合の炭素吸収量の増加	
面積とタイプ	サスカチュワン草原耕作システムに150の試験地を設定	
プロジェクト構成	地域土壌保全局、GEMCO (温室効果ガス削減パイロットプロジェクト開始のための企業連合)、農民	
活動内容	土壌炭素ベースラインの開発目的、州の土地利用と主要土壌タイプネットワーク、将来の土壌炭素変化につなげる。土壌炭素シミュレーション (CENTURY) で解析。将来の炭素クレジットに使用。	
GHG削減効果と算定方法	CENTURYモデル	
社会経済的効果	農民に対する商品としての炭素の形成、新しい耕耘システムによる農業コストの削減	
環境に対する効果	炭素吸収量の増加、農地の炭素源維持とエロージョンの低減、地域の気候と水質の改善	
プロジェクトの現状	数年間のデータ収集、業務報告とモデルの作成	
コスト評価	未解析	
参考	Padbury, G.(1999); Soil Carbon Initiatives on Prairies. Available at http://res.agr.ca/cim/padbury.htm	
プロジェクト事例 3		Mt.Elgon - Kibale 国立公園の森林回復、ウガンダ
目的	熱帯林回復と再造林	
面積とタイプ	27000haの広葉樹及び針葉樹林	
プロジェクト構成	FACE財団-オランダ、ウガンダ国立公園局	
活動内容	2国立公園の天然林回復と郷土樹種による再造林及び山火事防止。森林荒廃防止と森林火災・伐採及び農地への転用の低減を骨子とした公園周辺のバッファゾーンでの持続的土地利用に関するIUCN援助プロジェクト参加の隣接村落との共同。プロジェクト活動期間は17年、全期間は99年間。	
GHG削減効果と算定方法	CO ₂ FIXモデルを使って、全期間 (99年) の全炭素-707,000tC。平均削減効果は、26tC/haで0.9tC/ha/y。	
社会経済的効果	再造林雇用	
環境に対する効果	エロージョン低減、水質改善、公園内の伐採と火災により森林劣化の抑制、生物多様性の保全	
プロジェクトの現状	1994年に開始、回復あるいは改植は現在 5700ha	
コスト評価	全必要経費は公的資金を使わず \$2600,000、温室効果ガス削減効率は、\$27.80/tC	
参考	FACE財団 (1998); 前述、Witthoef-Muehlmann (1998); 前述	

プロジェクト事例 4 Rio Bravo保全管理地域 (RBCMA) 炭素吸収パイロットプロジェクト、ベリーズ	
目的	熱帯林持続的経営と保護
面積とタイプ	管理保護熱帯林-14327ha、持続的森林経営林-46406ha
プロジェクト構成	ベリーズプログラム (私的保全開発機関) と自然保護局。US電力連合 (Wisconsin電力、CINergy、Detroit Edison、PacifiCorp、EEI Utilitree Carbon) 及びSuncor Energyからの予算
活動内容	A地域は、RBCMA管理地の拡大を含めて、危惧のある土地の購入も含む。保全不能の場合は、RBCMAから分離し、農地転用することもあり得る。B地域は、購入区域を含めて、RBCMAの半分について炭素吸収レベルと吸収率の増加につながると予想される持続的森林経営プログラムの展開を含む。残ったRBCMAは未攪乱の試験対照地域として保全と研究に使う。
GHG削減効果と算定方法	Winrock温室効果ガス算定・モニターソフト。40年間の吸収炭素 2,400,000tC。平均炭素吸収効率率は、31tC/haで、0.8tC/ha/y。
社会経済的効果	新設林産業工場による雇用効果。森林の商品としての価値の向上。森林モニター・管理技術の現地移転。マヤ考古学サイトの保護
環境に対する効果	農地転用から生物多様性を保全、土壌保全による水質の改善
プロジェクトの現状	40年プロジェクトの5年目
コスト評価	私的機関からの予算として \$2600,000。温室効果ガス削減効果は、\$3/tC
参考	EPA/USIJI(1998); Activities Implemented Jointly: Third Report to the Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change, 2 volumes. EPA report 236-R-98-004 US Environment Protection Agency, Washington, DC, USA, 19 (vol I) & 607(volII) pp. TNC-The Nature Conservancy (1999); Written Information for and Comments on IPCC LUCF. Special Report draft 1 for Expert review, August 1999, Witthoef-Muehlmann (1998); 前述
プロジェクト事例 5 Scolelte社会林業・炭素吸収パイロットプロジェクト、Chiapas、メキシコ	
目的	小規模農民造林による熱帯林及び高地針葉樹林再造林・社会林業
面積とタイプ	13200ha中の2,000ha (獲得予算によって面積は変動)
プロジェクト構成	地域信託連合、地域研究所 (ECOSUR)、エディンバラ大学、英国ODA、国際自動車連合、その他と多様
活動内容	候補地の再造林、森林管理及びアグロフォレストリー選択に関する農民へのアドバイス。炭素吸収利益の算定、モニタリング方法の展開に関して単位毎に農民に対して技術援助するシステムの策定。国際自動車連合は当初管理計画に対して拠金。プロジェクトは残存森林の劣化と転用を抑制し、地域利用林の持続性を確保するとともにそれらに対して予算措置することを計画。
GHG削減効果と算定方法	CO2FIXモデル使用。累積炭素吸収量はプロジェクト期間中に15,000-333,000tC。平均炭素吸収量26tC/haで0.9tC/ha/y。
社会経済的効果	持続的アグロフォレストリーによって地域経済の構築。女性と村民の福祉改善
環境に対する効果	森林の生物多様性保全と向上。森林の断片化と土壌エロージョンの抑制。森林への移住圧力の減少による緩衝機能の強化
プロジェクトの現状	当初計画は50ha。集落及び地域規模での詳細研究は完了。管理、研究及び予算措置については確立
コスト評価	公的・私的予算として全経費は\$3400,000、当初経費は\$500,000。温室効果ガス削減効果は、\$10/tC
参考	EPA/USIJI(1998); 前述、Witthoef-Muehlmann (1998); 前述、Tipper, R. & B.H. de Jong (1998); Quantification and regulation of carbon offsets from forestry: comparison of alternative methodologies, with special reference to Chiapas, Mexico. Commonwealth Forestry Review, 77, 219-228
プロジェクト事例 6 INFAPRO:Innoprise-FACE財団プロジェクト、サバ、マレーシア	
目的	天然林伐採跡地での補正造林及び森林回復
面積とタイプ	低地フタバガキ林の択伐経営によるコンセッション跡地、25000ha
プロジェクト構成	INNOPRISE (Sabah Foundationの林業部門)とFACE(Forest Absorbing CO2 Emissions)、オランダ電力庁
活動内容	文献データによれば、60年間で約4,300,000tCの吸収量。幹成長測定プロットの設定。ICSB-NEP RILプロジェクト (Tab.5-2参照)に向けたネクロマス、林床植生及び土壌炭素データ
GHG削減効果と算定方法	CO2FIXモデル使用。全生育期間に707,000tCの固定。平均炭素吸収量26tC/haで、0.9tC/ha/y。
社会経済的効果	Sabah Foundationの社会開発計画への援用経費として、\$800,000,000の木材売り上げ。全スタッフと地域、国際的機関全体に対する技術的トレーニング
環境に対する効果	少なくとも25000haの劣化択伐林の改良
プロジェクトの現状	現在開始後7年目。全期間は少なくとも25年。プロジェクト継続期間は99年間。CDMガイドラインとクレジット化が進まない場合にはこのプロジェクトは休止する。
コスト評価	私的資金\$15,000,000。温室効果ガス削減効果は、\$350/tC
参考	Stuart,M.D. & P.H. Moura-Costa (1998); Greenhouse gas mitigation: A review of international policies and initiatives. In: Policies that Work for People, Series No.8. International Institute of Environment and Development, London, UK, 27-32pp. FACE Foundation (1998); 前述、Witthoef-Muehlmann (1998); 前述

表 - 5 一部のAIIプロジェクトでベースライン確定に使われたアプローチ

ベースライン要件				
プロジェクトタイプ	固有か一般的か	ベースライン確定方法	固定か可変か	参照
排出回避				
Noel Kempf Climate Action P. ボリビア	プロジェクト固有	観察した状況から論理構築；炭素は代替地から定量	木材需要、市場樹種、森林法、森林破壊の状況で変化	Brown et al.(2000)
Reduced Impact Logging サバ、マレーシア	プロジェクト固有	条件非導入の継続から推定した論理；対象地で定量した炭素	固定	Pinard & Putz (1997)
Rio Bravo 炭素吸収P. ベリーズ	プロジェクト固有	条件非導入継続から推定した論理	固定	Programme for Belize (1997)
炭素吸収				
Scolde Te 社会林業Plot P. チアパス、メキシコ	複合	利用ニーズに基づく村落固有条件を補正した地域土地利用モデル	固定	Tipper et al.(1998)
INFAPRO熱帯雨林回復 マレーシア	プロジェクト固有	条件非導入継続から推定した論理；対象地で定量した炭素	固定	Moura-Costa et al (1996)
複合形態- 排出回避と吸収				
Protected Areas P. & 民有林P. コスタリカ	一般、JI Costa Rica Office設定 (OCIC)	土地利用現状の補正による論理構築；文献からの炭素定量	未定	SGS (1998)
Guaracabaca Climate Action P. ブラジル	プロジェクト固有	社会経済要因を加味したSpatial 土地利用モデル	可変、頻繁なモデル補正	Brown et al.(1999a)

表-4 2の事例は、農地の耕耘時の乾土効果による土壌炭素消費を、耕耘回数を減らすことによって低減するということから得られる土壌の炭素吸収量増加である。農地として成熟した土地ではたして土壌炭素を増やせるか、ちょっと疑問は残るが、考え方は炭素が減耗した荒廃地造林に適用できる。

3の事例は、天然更新と再造林、さらに森林管理の組み合わせである。対象地が国立公園でもあり、郷土樹種を造林対象としている。森林火災防止も入っており、天然更新、造林、森林管理という案件の面積配分がわからないので、全体はともかく、詳細部分についてはこのままではちょっと参考にはならない。

4の事例は、伐採あるいは農地転用を避けることによる炭素排出量の削減を目的としたプロジェクトで、第1約束期間では対象とならない形態のものである。これも事例3と同様、第2約束期間以降に考慮すべき事項が多い。ベースラインはプロジェクト固有と考えており、このプロジェクトが行われなかった場合の固定炭素量から計算している(表-5)。

5の事例は、農民に社会林業形態で造林させて、同時にリーケージを削減する効果をねらったプロジェクトで、一つ一つは小規模であるが日本のNGOが行うプロジェクトには参考になる。なお、単位としては各農民が対応するのではなく、村落を単位として行っている。対象地が比較的高所であり、乾燥が予想される地でもあるのかもしれないが、固定炭素量は比較的少なく、0.9tC/ha/y.となっている。ベースラインは一般的なベースラインとプロジェクト固有のベースラインの複合形態としており、確定に際しては「利用ニーズに基づく村落固有条件を補正した地域土地利用モデル」から推定したとしている(表-5)。

6の事例は、マレーシア・サバ州での主伐後の補正造林が主体のプロジェクトであり、択伐林のフタバガキ更新による長期の炭素固定量の増加が目的である。したがってプロジェクト期間は長い。このプロジェクトでは造林木の地上部に加えて根系、林床植生及び土壌炭素をモニターしている。予想固定炭素量は0.9tC/ha/y.である。ベースラインは、

対照地での炭素蓄積量とし、このプロジェクトを導入しない場合と比較することで固定炭素量を得ている（表－5）。ただ、特にボルネオの熱帯降雨林は二次林といえども成長量が大きく、通常のベースラインでは炭素吸収量の増加は難しいと判断され、実際にモニターすると上記の値が得られるか疑問がある。

これらの解析の中で採用されたベースラインの中心的な考え方は「もしプロジェクトがなかったら」という不確定な、ある意味ではネガティブな考え方が採用されているケースが多い。また、地域の社会経済的情勢を反映した地域に一般的なベースラインについては検討されているが、まだコンセンサスを得るまでにいたっておらず、プロジェクト固有のベースラインが多い。ベースラインについては、平成14年度のCOP8とその前に開かれるCDM理事会や技術検討委員会（SBSTA）で検討されるので、ある程度の方角を得るにはまだ時間がかかるものと考えられる。

以上の事例に加えて詳細な解析が行われている事例がIPCC第3次報告にあげられている。天然林管理プロジェクトであるので今回のCDMプロジェクトには援用しにくいですが、炭素の計算方法について重要な考え方が提示されているのでそれを要約する（資料－2参照）。

ボリビアでの天然林の農地への転用中止を主目的としたプロジェクトで、測定された項目は、①地上部樹木バイオマス（全体の60%）、②30cmまでの土壌炭素（18%）、③根（12%）、④枯死木（7%）、⑤林床植生と有機物層（約3%）である。この割合の変異の幅は95%水準で±4%程度で誤差範囲とされている。炭素獲得量の計算は、

伐採中止により、

$$\text{炭素獲得量} = \Delta \text{生バイオマスC} + \Delta \text{枯死バイオマスC} + \Delta \text{木材C}$$

なお、

$$\Delta \text{生バイオマスC} = (\text{伐採で損傷したバイオマスC} + \text{木材で搬出されたC}) \times \text{成長計数}$$

$$\Delta \text{枯死バイオマスC} = (\text{伐採による損傷が原因の枯死バイオマス} \times \text{分解計数})$$

$$\Delta \text{木質生産物C} = (\text{搬出木材} \times \text{長期貯留産物への転換率})$$

として計算される。ただし、まだ依然として多くの問題が残っているので、今後順次検討が必要であるとしている。

また、林地転換中止による土壌炭素が加わる

$$\text{炭素獲得量} = \Delta \text{全バイオマスC} + \Delta \text{土壌C}$$

2) AIJプロジェクトで提案されている生態系炭素に関わる測定項目

AIJプロジェクトを進めた結果、森林生態系の炭素測定についてはプロジェクトタイプ毎に測定項目の必要性の強弱がある（表－6）。

第1約束期間におけるCDM炭素吸収プロジェクトでは新規造林と再造林が認められているが、この表では炭素吸収タイプの中の植林とアグロフォレストリータイプ、及びおそらく短伐期燃材植林が相当すると考えられる。

これによれば、植林タイプでは植栽木の地上部バイオマス量と木質生産物量が必須測定項目で、根バイオマス量と土壌炭素量は測定した方がよい。林床植生については量的

に少ないことから測定する必要がないとされている。ただし、林床植生の中での樹木バイオマスは測定が必要な項目と考えられる。リッターと粗大枯死バイオマスは条件に応じて測定することになろうとされている。詳細についての記載がないので不明であるが、リッター及び粗大枯死バイオマスが多量発生すると考えられるうっ閉後の植栽地では適用する必要があるものと推察される。

一方、アグロフォレストリータイプでは樹木バイオマスと作物を含む草本バイオマスの測定が必須で、土壌炭素は測定した方がよいとされている。根バイオマスと木質生産物は、おそらく成長が進んだ段階で測定することになろう。リッター等枯死バイオマスの測定は必要がないとされているが、アグロで育成した植栽地がうっ閉し、作物生産を中止した後には通常の植栽地と同じ扱いが必要ではないかと推察される。

短伐期燃材林タイプでは、樹木バイオマスと土壌炭素の測定が必須で、他に根バイオマス測定が必要な場合があるとされている。

以上を取りまとめると、森川らが本報告書にまとめた現在JIFPROで行っている造林地でのバイオマス測定法はこれらの全ての要因を測定することにしており、優れた方法と考えられる。なお、炭素計算に当たっては、プロジェクト面積、活動内容、プロジェクト期間、測定に使った方法とモデル、プロジェクトの現状報告などが求められている。

3) 間接影響等森林生態系炭素測定以外の項目

土地利用ベースの炭素削減プロジェクトケーススタディー（表-4）において炭素削減量及び炭素吸収量以外に解析されている項目としては、前記の活動内容の他にプロジェクトの社会経済的影響、環境への影響、コスト解析などである。

社会経済的影響：リーケージなどと密接な関係があるので比較的細かな観察が求められる可能性がある。これらのAIJプロジェクトから見えてくるキーワードは、レクリエーション・エコツーリズム促進、雇用促進、森林の価値向上、技術開発・移転促進、地域経済活性化、女性・村民福祉向上、収入増と社会開発への援用などで、今後CDMプロジェクトを開始する場合はこれらのキーワードの解析が求められると考えられる。

環境への影響：特に環境に対する正の効果について記載している。これらのプロジェクトで使われているキーワードは、大気汚染レベルの低減、生物多様性の保全、地域理水効果の改善、エロージョンの低減、水質改善、森林劣化抑制、緩衝機能の強化、森林断片化の抑制などで効果としては重複するものが含まれている。いずれにせよ、切り口を換えるとプロジェクトの目的となる項目が並べられている。さらに、これらのキーワードを通して、おそらく生物多様性条約や森林の持続的管理に関する国際的枠組みとのリンクが必要となってくる可能性がある。

コスト解析：化石炭素の取引が主眼の一つとなっており、その意味ではコスト計算はきわめて重要である。また、ODA予算を避ける約束もあり、予算の出所が何処にあるかについても重要な項目となっている。これらの事例ではこのような観点から予算の総額と予算の出所について記載されている。ただ、必須要件としてモニタリングと報告義務があるがこれらにかかる経費についてはまだ記載されていない。第1約束期間のCDM-

sinkプロジェクトで決定された造林関係のケーススタディーでは、事例1では\$14.25tC、事例3では\$27.8tC、事例5では\$10tCと森林管理プロジェクトに比較して高いのが特徴である。ただ、ベースラインの問題もある天然更新を含む事例6では\$3.5tCとなっている。これらの経費にモニタリングと報告にかかる経費を加えるとこれらの炭素固定経費はより上昇するものと考えられる。排出削減を含むJI及びCDMプロジェクトについて欧州等で想定されているコストは \$60-100/tC と考えられているのでCDM-sinkプロジェクトは効果的である可能性が高いと予想される。

これらの他に、CDMプロジェクトではリーケージの問題やベースラインの問題などがあるが、これらの問題についての具体的な方法についてはまだ決められておらず、今後のCOPにおいて徐々に具体化されてくるものと考えられる。

表 - 6 土地利用及び林業プロジェクト事例で測定し、モニターする必要がある主要炭素プールのマトリックス

プロジェクトタイプ	生バイオマス			炭素プール 枯死バイオマス		土壌	木質産物
	樹木	草本	根	細小	粗大		
排出削減							
- 森林消失防止	◎	□	○	□	◎	○	□
- 低インパクト伐採	◎	□	○	□	◎	□	□
- 森林管理法改善	◎	□	○	□	◎	□	◎
炭素吸収							
- 植林	◎	×	○	□	□	○	◎
- アグロフォレストリー	◎	◎	□	×	×	○	□
- 土壌炭素管理	×	×	□	□	×	◎	×
炭素代替							
- 短伐期燃料材植林	◎	×	□	×	×	◎	*

注： *は化石燃料の炭素貯蔵量

凡例：◎ 必須項目、○ 推奨項目、× 不要項目、□ プロジェクトの進み具合で 必要項目

<資料 2> ボリビア・サンタクルス州 Noel Kampff 気候行動プロジェクト(NKCAP)の炭素インベントリーとモニタリング

プロジェクトはNoel Kampff Mercado国立公園の新規拡張部分に位置する約634,000ha。NKCAP開始以前は、拡張地域の森林の多くは約15年間以上高い質を維持していた。伐採に加えて、農地転換圧が発生した (Brown et al., 2000)。この森林は次のように6区分される：常緑高木林、つる植物成育地、浸水高木林、浸水低木林、つる植物混交地、火入れ跡地林。

炭素プールのインベントリーとモニタリング方法は、MacDicken (1997a) に準拠。炭素インベントリーは、全体に網羅した625の固定試験地のデータによる。各森林タイプのサンプルプロットは期初値からの変異量に基づき、95%有意差の確度 ($\pm 10\%$) レベル。nested-plot design (直径が最小になった) 固定地と炭素蓄積は、各プロットについて次の項目を測定して計算した；直径5cm以上の全木、林床植生、有機物層、枯死木及び深さ30cmまでの土壌。ネクロマスはCairns et al. (1997) の方法によるT/R率から推定。公園拡張地域の全炭素量は、約115mtCで、このほとんどは地上部樹木バイオマス (60%)、次に30cmまでの土壌炭素 (18%)、根 (12%)、枯死木 (7%)。林床植生と有機物層は全体の約3%。95%水準の確度は $\pm 4\%$ でサンプリング誤差の範囲。回帰と測定誤差は考慮せず

伐採の中止

この活動による炭素獲得量は用材木を伐採せず、残存予定木の損傷を避けることに起因する。伐採がプロジェクト期間以降も継続すると仮定した場合、伐木と木材搬出に基づく主要炭素プールの変化の概算量はプロジェクトがない場合のベースラインと仮定される。この活動での主要炭素プールは地上部樹木バイオマス、枯死木バイオマス、林産物である。ボリビアは最近新森林法を發布し、森林伐採についての規定を作った。この情報は、プロジェクト期間中にプロジェクト地域の森林がどの程度伐採されるかを判定するのに活用できる。周辺地域のコンセッションからのデータ及びコンセッション管理計画の分析から木材量 ($m^3/ha/y.$) が推定できる。

伐採活動による炭素蓄積量の変化は近傍の対照地のコンセッションで推定する。伐採後の更新木の成長速度と同様に樹木伐採と関連業務によって発生する枯死バイオマスを計測するために固定試験地を設定する。枯死バイオマスは伐採木の樹冠と根株及び他の木の損傷から。収穫バイオマスに対する枯死バイオマス炭素の割合はこの固定試験地から決める。

伐採中止による 炭素獲得量 = Δ 生バイオマスC + Δ 枯死バイオマスC + Δ 木材C
 Δ はプロジェクトがある場合とない場合の差。年間の獲得量は、年間伐採面積、伐採率、及び伐採による損傷に基づいたシナリオからのすべての変化を勘案した炭素算定モデルを使って計算する。

Δ 生バイオマスC = (伐採で損傷したバイオマスC + 木材で搬出されたC) \times 成長計数
生バイオマスの変化を算定するには、対照地のコンセッションでの伐採前後のバイオマスを測定する。その差が生バイオマス炭素の変化となる。しかし、この方法の問題点は二つの大きな炭素ストックが引き算されていることである。たとえばどちらのストック

に関するエラーが小さくとも、パーセントで表される差に関するエラーは大きくなると考えられる。この問題を解消するために、生バイオマスの変化を直接測定する。プロジェクトの設定、非設定間の生バイオマスの変化は伐採行為による木材搬出と残存木の損傷に起因する（上記のカッコ書の量）。面積単位で表され、年間の伐採面積を乗じたカッコ内の量は、残存木の成長に対する伐採の影響を補正しないで全生バイオマス量の変化を与える。伐採後時間がたっていない場所で木材収穫が残存木の成長を促進するか、減退させるかについては明確ではない。大径木の伐採と残存木の損傷はむしろ伐採後の数年間、面積あたりの林分バイオマス成長を促進するよりは減退させるかもしれない。伐採を中止したり、方法を変えるタイプのプロジェクトについては、残存木の成長に対する伐採の影響は測定されねばならない。対照地でのセットになった伐採・非伐採試験場のモニタリングはプロジェクト期間成長因子の強度を観測するにはまだ道半ばである。

Δ 枯死バイオマスC = (伐採による損傷が原因の枯死バイオマス × 分解計数)

伐採中止あるいは軽減関連のプロジェクトでは、枯死木はプールとして残るし、伐採がこのプールを増大させるので無視できない。というわけで、伐採の中止は枯死バイオマス炭素ストックを減らし、プロジェクトが行われた場合のストックは行われなかった場合より少ない。しかしながら、枯死バイオマスプールは有機物分解についての補正が必要である。有機物分解補正係数の算定は文献に基づく（Delaney et al., 1998）が、現場での計数の改善は現在進行中である。

Δ 木質生産物C = (搬出木材 × 長期貯留産物への転換率)

伐採中止は新たな生産が減るので長期木質生産物プールを減少させる。というわけで、木質生産物プールへの変化量はマイナス。サンタクルス地域で収穫された木材は限られた樹種であり、供給が減ったことにより、どこからでも供給が始まることにはならないかもしれない。NKCAPでは長期貯留木質生産物につながる丸太の割合はブラジルの例についての論文から引用した（Winjum et al., 1998）。採材時に発生する廃材（約半分が最初の鋸引き時に鋸屑になる）は伐採年に酸化されると仮定。

プロジェクトの設定・非設定時の差異は、設定した場合は生存バイオマスプールが多く、枯死と木質生産物プールが非設定時より多いということである。

農地転用中止

このプロジェクトでの炭素獲得は森林バイオマスと土壌バイオマスの炭素消失が少なくなることで得られる。プロジェクト非設定時のベースラインはプロジェクト隣接地での人口動態の解析によって得られる。NKCAP周辺の林地から農地への転用に関連する二つの要因は、人口増加とそれに伴う農地の要求である。森林消失シナリオの作成に当たって、地域への移住は農地要求に火をつける。

林地転換中止による 炭素獲得量 = Δ 全バイオマスC + Δ 土壌C

バイオマスの変化に伴う炭素のロスは皆伐地域の生産物及び森林バイオマス中の炭素（樹木、林床植生、有機物層、枯死木、根の合計）と農作物バイオマスとの差として算定される。土壌炭素の変化は、Detwiler (1986) による熱帯林土壌の転用ついでの方法に準拠して、皆伐地の生産物、平均的な森林土壌炭素及び平均的な土壌酸化率として算定される。

4. 森林生態系炭素蓄積量の測定

1) 生態系における固定炭素の種類とCDM-sinkにおける測定の必要性

早稲田大学 森川 靖

CDMにおける排出削減と炭素吸収量は、1990年時点の総排出量の1%を上限とすることが第6回気候変動枠組み条約締約国会議再開会合で決められた。日本はこれによって約330万tCを上限として非付属書I国との間で炭素排出削減と吸収を進めることができることとなった。また、2008-2012の第1約束期間においては、炭素吸収CDM（以下CDM-sink）プロジェクトは新規造林と再造林に限られることも決定された。

CDM-sinkにおける森林の炭素吸収量の測定は、前章に示したAIJパイロットプロジェクトを参考に行うことが現時点では最も妥当と考えられる。AIJプロジェクトの中で詳細な解析が行われたボリビアの天然林管理の事例では森林生態系の固定炭素は、樹木地上部、樹木地下部、林床植生、有機物層、枯死木及び30cmまでの土壌について測定している。熱帯天然林でのこの事例では、生態系炭素量は、順に60%、12%、林床植生と有機物層一括で3%、7%及び18%となっている（資料-2）。

対象要件である造林の場合、CDMが始まる2000年1月以降の若い造林地が中心となるので有機物層と枯死木炭素はそれほど多くないし、土壌炭素については固定炭素量が多く、荒廃地の森林化によって固定量がさらに大きくなる可能性は高いが、測定地間の誤差が大きいことと分析経費が比較的高いこともあり、これらについてはIPCCの報告でも処置に迷いがある。IPCC報告でまとめられた森林の炭素固定量を評価する際の測定項目は表-6に示したが、今回対象となる一般的な造林プロジェクトでは樹木地上部（林床樹木を含む）と間伐等による木材伐採量が必須で、地下部と土壌は測定した方がよいとされる項目である。また、有機物層と枯死樹木遺体も、おそらく森林がうっ閉した段階で計測が必要となるものと考えられる。アグロフォレストリーによる造林もほぼ類似の内容となっているが、作物を含む草本バイオマスの測定が必須、逆に有機物層と枯死樹木遺体は不必要とされている。これらを総合すると以下の式で森林の炭素固定量が解析されることになろう。

すなわち、

$$\begin{array}{l} \text{森林生態系固定炭素量} = \text{樹木炭素} + \text{林床炭素} + \text{枯死木炭素} + \text{土壌炭素} \\ \text{天然林事例} \quad 100\% \quad \quad 60\%+12\% \quad \quad 3\% \quad \quad 7\% \quad \quad 18\% \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{地上部+地下部} \quad \quad \text{含有機物層} \quad \text{枯死立木+倒木} \quad 0\sim 30\text{cm} \end{array}$$

注：Sandra Brown氏等によるBolivia Noel Kampff AIJ Projectの事例

実際には森林を造成したことなどによる固定炭素の通常処置に比べた増加量が蓄積炭素の増加量として計上されるので基本的には次の式で表される数値が必要となる。

$$\text{固定炭素増加量(tC/ha)} = \text{人工林固定炭素量} - \text{通常処置による固定炭素量(ベースライン)}$$

この場合のベースラインは固定炭素増加量を計算する地域固定の値で、現在プロジェクト地域という限定された広がりで行うか、あるいはより広い自然・社会条件がほぼ同一地域に普遍的な数値として扱うか、現在も締約国会議で検討されているのでより詳細な基準が設定されるのは2003年のCOP9前となろう。したがってここではベースラインの選定方法については検討しないが、予想されるベースラインの炭素の測定法は造林地の炭素測定と同様であるので提案した。

以上をまとめると、今回のCDM-sinkプロジェクトにおいては、造林木地上部・地下部バイオマス、木質林床植生、有機物層、枯死樹木遺体、土壌及び間伐等による木質産物伐採量の計測が必要と結論される。さらに、アグロフォレストリーによる造林の場合は作物生産量の計測が必要で、有機物層と枯死樹木遺体については省略が可能と考えられる。

2) 造林地におけるバイオマス測定法

早稲田大学 森川 靖

すでにJIFPROは造林地バイオマス測定マニュアルを作成しており（JIFPRO及びJOPP 森川監修、2001）、地上部の測定法については確立している。地下部、林床植生等の項目について今年度の野外調査における実測法を基に、その測定法について記載する。

[人工林樹木地上部]

1. 測定プロットの設定

目標とする造林地に方形のプロットを設定する。プロットの最も狭い辺はプロット内の樹木の平均樹高より広く取るものとする。たとえば平均樹高が15mの場合、プロットの一辺は15m以上とする。言い換えるとプロットは15m×15mより大きなサイズでなくてはならない。

林縁効果によるプロットのバイオマス量の過大評価を避ける目的で、測定プロットは林分の辺縁部あるいは林冠疎開部分から2～3列は除いて設定する必要がある。というのはこのような場所での樹木成長は良好な光条件のためにプロット全体の平均成長量より通常大きいからである。

2. 測定手順

1) プロットの基本情報

プロットのサイズ、場所、傾斜、方位及び土壌タイプを記載する。

用具：野帳、地形図、プロット識別テープ、50m巻き尺あるいは計測縄、磁石

2) 毎木調査

プロット内の全立木の胸高直径（DBH）を測定し、直径分布野帳（Diameter Distribution）に記載する（表-7）。野外データとして現実の状況を反映させる必要があることから、枯死木あるいは欠損木がある場合は、同野帳に記載する。このよう

3. 供試木

プロット全体を代表すると考えられる造林木を1プロットあたり5~6本選木する。供試木はDBHのレンジが上述の直径分布野帳で求められたDBH分布を勘案して小径木~大径木の範囲で選木する。

- 1) 供試木の伐倒はチェーンソーや鋸で行う。供試木は地上0.3mで伐採する。伐採時の受け口部分は伐採木樹幹部の全重量に算入する必要がある、保存する。伐採にともなって落下した生枝、枯れ枝はそれぞれ保存し、後の重量測定に供する(図-1)。
- 2) 残った根株は0.3mの長さの樹幹部重量を測定するために地表部から伐採する。この重量は樹幹部全重量に算入する。
- 3) 全ての太枝は樹幹及び根株から切り離し、重量測定する。この場合、幹に残存する枯れ枝も切り離し、重量測定に供する。
- 4) 樹幹を丸太に裁断する前に樹高を測定する。

地上から1.3m、3.3m、5.3m・・・というように裁断部位をマークしておく(作業がやりやすくなる("1.3m"は樹木が地表部0.3mで伐採されているので、伐採樹幹部分の基底部から1mということである)。

もう一つ、後でデータ記載のエラーを避けるために丸太の樹幹部を裁断時にマークする(たとえば地上から0.3m-1.3m部分の丸太は"0.3-1.3"、1.3m-2.3m部分のものは"1.3-2.3"、・・・というように)。

<注意>

(選木した5、6本の)各供試木は番号を付ける。また、裁断した丸太は同じ(供試木)番号のものを一緒にする。裁断する丸太の長さは供試木の大きさによって変えても良い。

- 5) 裁断する際に各丸太の元口径を正確に測定するためにマークした部位で採材する。採材の長径と短径を測定する。なお、バーク付きとバークなしの長径と短径を測定すること。測定値は直径野帳(Diameter)に記載する(表-8)。
- 6) 各丸太重量を測定し、生重量野帳(Fresh Weight)に記載する(表-9)。
重量測定にはいろんな種類のバネ秤を使うと良い。

用具：のこぎりあるいはチェーンソー、チョーク、巻き尺、バネ秤(1kg、5kg、10kg、30kg、100kgなど)

4. 供試木の各組織部位重量の測定

- 1) 枯死太枝と生太枝を分ける。
- 2) 次に全ての生太枝から小枝を全て取り払う(小枝と葉)。取り払った太枝と小枝は別々のビニールシートに分ける(図-2)。
- 3) 小枝についた葉を全て取り払う。枝部分と葉部分を別々のビニールシートに分ける。
- 4) 太枝重量を計測し、生重量野帳に記載する。ビニールシートに太枝を包むか、あるいは束ねて縛ってバネ秤で重量測定するのが簡便である。ビニールシートあるいはロープの風袋を引いて、重量を記載する。
- 5) 小枝の重量を測定する。適当な大きさのビニール袋に詰めるか、ビニールシートに包んで重量を測定すると良い。なお、ビニール袋あるいはビニールシートの風袋を差

し引いて生重量野帳に記載する。

6) 最後に葉全量を測定し、生重量野帳に記載する。葉も前者と同様適当な大きさの袋に詰めるかあるいはビニールシートに包んで重量測定すると良い。風袋を差し引くことを忘れないで、野帳に記載する。

<注> 小枝重量が大きい場合：サンプル抽出による推定ができる。まず、供試木の全葉付き小枝重量を測定する。ついで全量の中から供試木全体を代表すると考えられる1/3から1/4のサンプルを抽出する。後の作業は4に同じである。

サンプルによる小枝の重量と葉の重量の比率を枝と葉の全重量に用いることによって、全小枝、全葉が推定される。

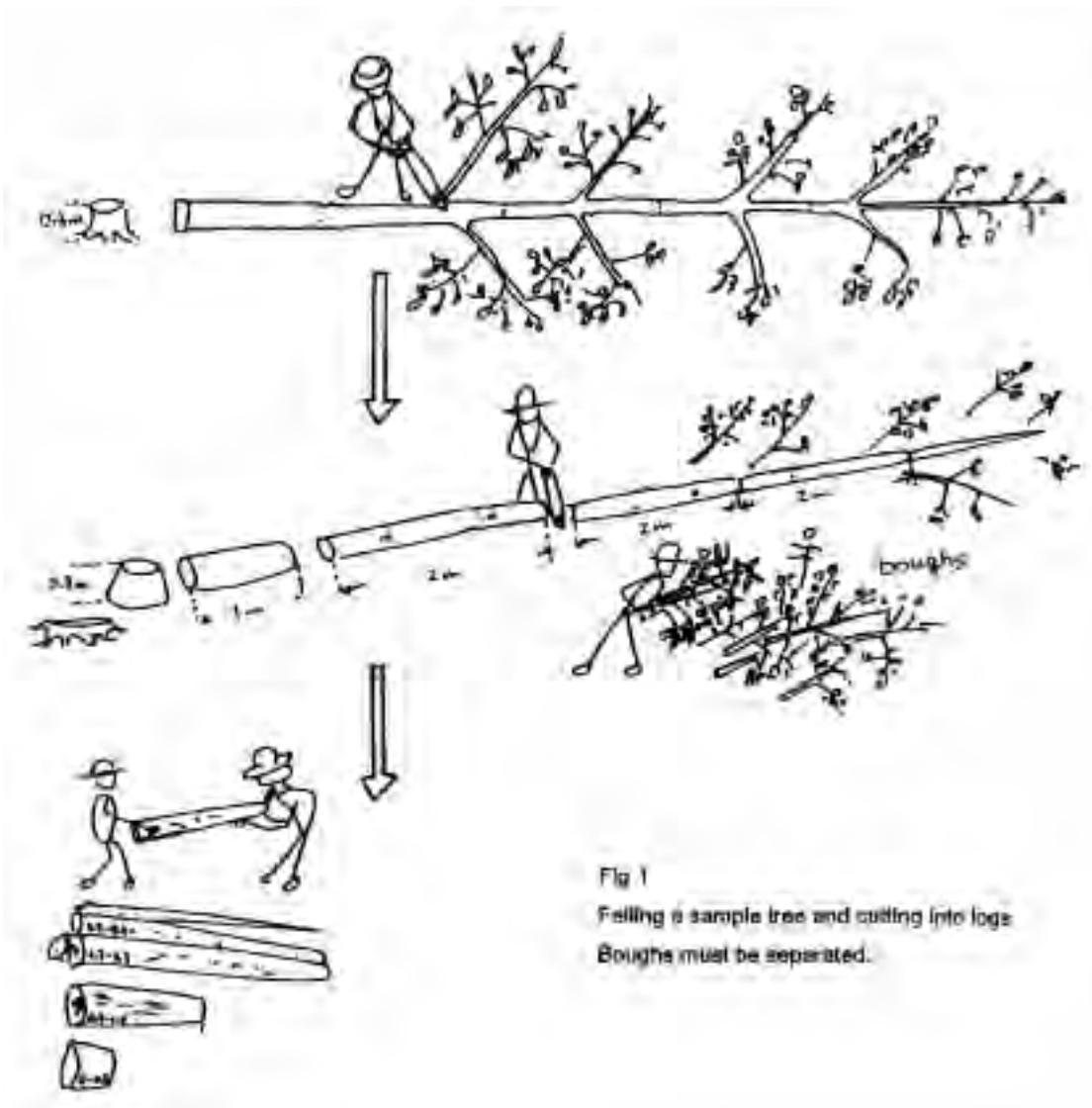


図 - 1 調査木の伐採と丸太裁断手続き

Fig 2

Clearing small branches from boughs and separating them in to twigs and leaves, then weighing them by various spring scales

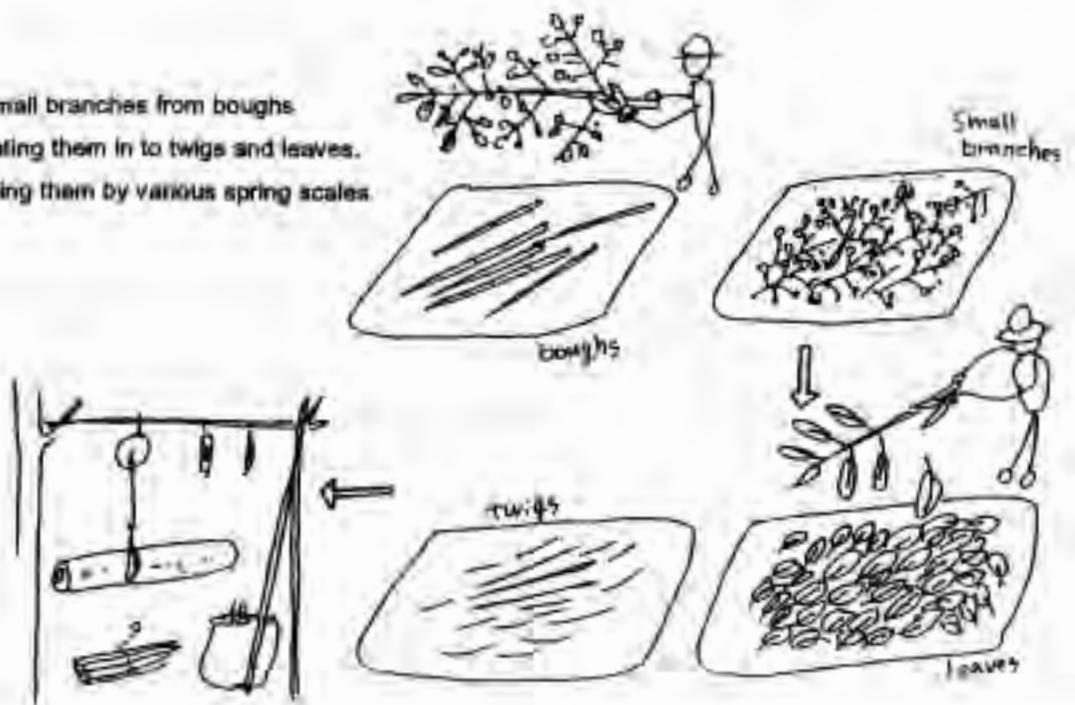


図 - 2 枝葉分離と重量測定手続き

表 - 9 生重量野帳

Fresh Weight

date / / name

tree age tree NO Height m DBH cm

Log	Weight	tare
0-0.3m		
0.3-1.3m		
1.3-3.3m		
3.3-5.3m		
5.3-7.3m		
7.3-9.3m		
9.3-11.3m		
11.3-13.3m		
13.3-15.3m		
15.3-17.3m		
17.3-19.3m		
19.3-21.3m		
21.3-23.3m		
23.3-25.3m		
25.3-27.3m		
27.3-29.3m		
27.3-29.3m		

	Total Weight	tare
Boughs		
Twigs		
Leaves		

* if the small branches are large amount, fill the table below and estimate the weight of twigs and leaves

	Total Weight	tare
Entire Small Branches		
Sample Twigs		
Sample Leaves		

note

7) 枯れ枝の全量を測定する。

枝重量と葉重量の割合は以下の式で計算する。枝と葉の全重量はこの式と全小枝重量から算定する。

$$EW_{\text{twig}} = \frac{SW_{\text{twig}}}{SW_{\text{leaf}} + SW_{\text{twig}}} \times EWS_{\text{branch}}$$

$$EW_{\text{leaf}} = \frac{SW_{\text{leaf}}}{SW_{\text{leaf}} + SW_{\text{twig}}} \times EWS_{\text{branch}}$$

ここで、 EW_{twig} 、 EW_{leaf} 、 EWS_{branch} は供試木の枝全重量、葉全重量、小枝全重量を表す。 SW_{twig} と SW_{leaf} は枝と葉の各重量である。

5. 乾燥重量測定

乾燥重量計測用サンプルを幹、バーク、太枝、小枝、枯れ枝及び葉のサンプルを抽出する。乾燥と重量測定のために別々の紙袋に各部位のサンプルを詰める。紙袋には、供試木番号と組織部位を示す識別番号等を記載しておく。紙袋に採取されたサンプルは速やかに生重量を測定し、乾重野帳 (Dry Weight) に記載する (表-10)。風袋を測定し、野帳に記載することを忘れないようにする。少量のサンプルから重量推計を行うので、誤差を最小限にするため、重量測定には電子天秤 (2kgあるいは5kg) のような正確な測定ができる計測器を使うことが必要である。

1) 太枝及び枯れ枝

サンプルはいろんな直径のものを選び、10cm程度の長さにカットする。カットされた木片を供試木番号をはっきり記載した紙袋につめる。好適なサンプル量はだいたい0.5kg~2kg程度である。

2) 小枝

サンプルは長さ10cm程度にカットし、紙袋に詰める。好適なサンプル量はだいたい0.3kg~2kgである。

3) 葉

サンプルはそのまま紙袋に詰める。好適な量はだいたい0.3kg~2kgである。

4) 材幹とバーク

伐倒した材幹の位置を示す"0.3-1.3"、"1.3-3.3"……とマークした丸太 (の元口) を厚さ2.0cm~4.0cmの円盤に切り取る。円盤についたバークをはがす。バークをはがした円盤とバークを供試木番号と丸太の位置 ("0.3-1.3"……) を明記した紙袋に入れる。円盤が大きすぎる場合は裁断してもよい。

用具：小のこぎり、剪定ハサミ、ビニールシート (大)、大・小紙袋、小ビニール袋、バネ秤、電子天秤 (台型)

5) 葉面積指数解析用試料

別個に葉から20枚程度を採取し、小ビニール袋に密閉保存し、実験室に持ち帰る。実験室に持帰れない場合は、宿泊施設内の冷凍冷蔵庫の冷凍室で葉を一度殺しておくが良い。

6. サンプルの乾燥

サンプルは循環型の乾燥機で乾燥する。樹幹のサンプルと太枝、枯れ枝のサンプルは4日間（96時間）80-90℃で乾燥させる。バーク、小枝及び葉のサンプルは、同様機械、温度で2日間（48時間）乾燥させる。サンプルの乾燥重量を測定し、乾重野帳（Dry Weight）に記載し、各組織部位の水分含量を算定する。

[人工林樹木地下部]

1. 測定プロット及び供試木の選定

地上部バイオマスを測定した供試木を対象とする。地下部も全試料木を対象とすることが望ましいが、作業行程や林地の攪乱も考慮すると、最低限の測定となる。

供試木のサイズ及び形態から、林分の平均的と考えられる個体を少なくとも1本選定する。なお、選定に当たっては重機導入も考慮されるので、作業のしやすさも重要である。

供試木番号を生重量野帳 (Fresh weight) 及び乾重野帳 (Dry Weight) に記載する。

2. 供試木の掘り取り

供試木は地上部が伐採されているので、根株が裸出した状態にある。

まず、根株の周りの土壌を除去し、主要な根が展開している方向を確認する。人力で掘り出す場合はそのまま土壌除去を進めるが、重機によって掘り取る場合は主根の展開方向を確認する。主根が直下に展開している場合は垂直方向、地表部に展開している場合は水平方向に圧力をかける必要がある。垂直方向の場合は、掘り出した根株にワイヤーをかけ、パワーショベルで引き上げる。水平方向の場合は、そのままブルドーザーで押し、掘り取る。なお、チェンブロックで引き上げる方法もあるが、少人数で扱えるチェンブロック許容量は500kg程度までであるので、比較的小さい個体に適用が可能である。

掘り取りに際して、かなり大きめの根の一部が残されるが、それらは採取する。細かな根は、供試木のサイズにもよるが、全体に対する割合がそれほど多くないので丁寧な採取は必要としない。目的が細根の分布あるいは細根の成長量推定などと違い、根全量であることに限られることはない。

掘り取った根は、おおまかに土を落とした後、水洗いで土を落とす。土が残っているとかかなりの誤差となるので丁寧に行う。

用具等：重機、チェーンソー、ショベル等土掘り具、チェンブロック（小径木で可能）

3. 地下部重量の測定

洗浄が済んだ地下部は、秤量ができるサイズにチェーンソー等で切り離し、ビニールシートに包むかロープで束ね、バネ秤で重量を測定する。測定値は地上部と同様、生重量野帳 (Fresh Weight) に供試木番号を付して記載する。ビニールシート及びロープの風袋を記載することを忘れない。

用具：チェーンソー、バネ秤、ロープ、のこぎり

4. 乾燥重量測定のためのサンプル抽出

大、中、小根を選び全体の中で平均的な割合となるように、長さ10cm程度に切り取り、紙袋に詰める。紙袋には、供試木番号と地下部であることを明記し、速やかに生重量を測定し、乾重野帳 (Dry Weight) に記載する。風袋を測定し、野帳に記載することを忘れないように。なお、重量測定には地上部と同じく正確な秤量が必要であるので電子天秤を使う。

好適なサンプル量は、0.5kg～2kg程度である。

用具：のこぎり、剪定ハサミ、紙袋、電子天秤

5. サンプルの乾燥

地上部樹幹部及び太枝部と同じ方法で行う。すなわち、80-90℃、4日間、循環型乾燥機で乾燥させ、乾燥重量を計測後水分含量を算定する。

[林床植生]

林冠が閉鎖した植栽地では、林床植生はそれほど多くはない。しかし、乾季に落葉するような樹種の人工林では林床植生もかなりある場合がある。林床植生はIPCC報告では造林地での測定要件ではないが、一方で造林地全体のバイオマス量評価には林床植生量も必要となることが予想される。

なお、アグロフォレストリーによって造林する場合は、作物及び雑草木の炭素固定量を量ることが必須要件となろう。

1. 測定プロットの設定

測定プロットは地上部測定プロット内に設定する。

林床植生が薄く、木本植物が少ない場合は省略して良い。

地上部測定プロット内で平均的な林床密度のある場所を選び、林床植物平均高を勘案して、プロットサイズを決める。通常は、2m×2m方形プロットを1カ所選定する。植生高が10数cmのような場合は0.5m×0.5m程度でよい。

2. 林床植生の刈り取りと重量計測

プロット内全ての林床植物の地上部を刈り取り、ビニールシートに集める。樹木バイオマスと草本バイオマスに区分し、ビニールシートに包むかビニール袋に入れて重量をバネ秤で計測する (図-3)。

Fig 3

Setting a plot and cutting all plants in it.

Separating them into grasses, shrub leaves and shrub stems.

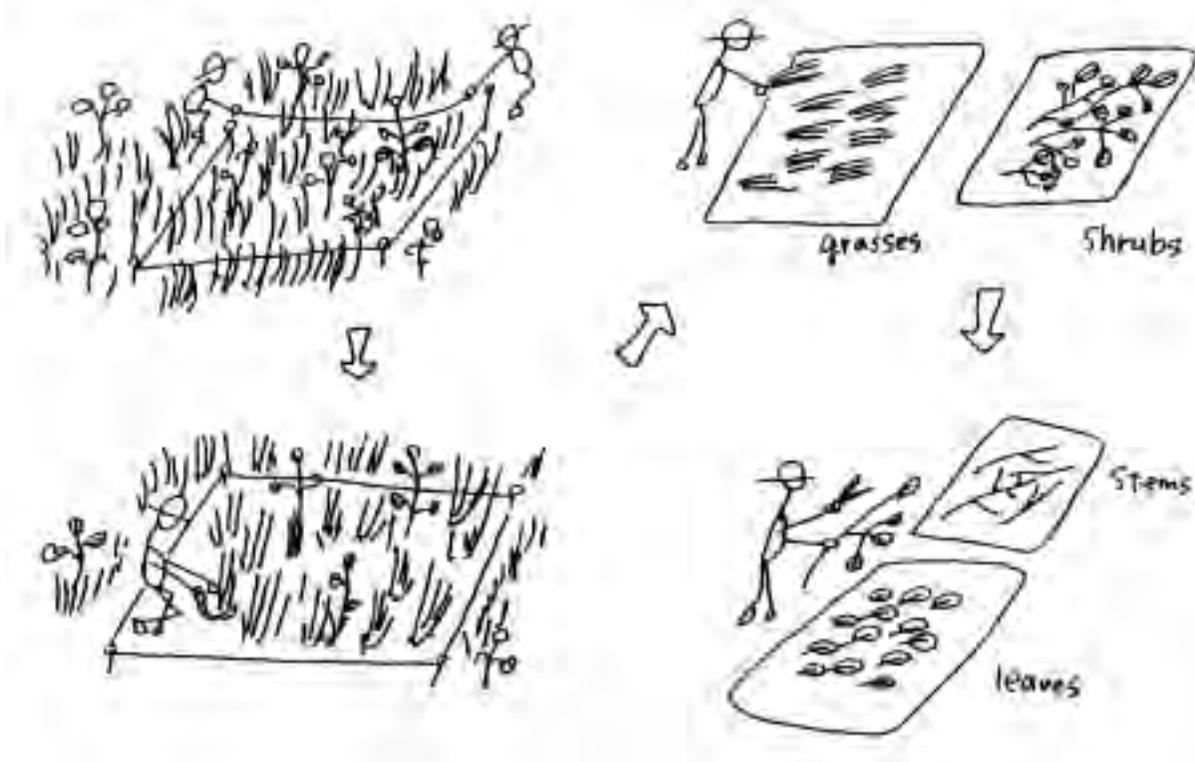


図 - 3 ベースライン植生・林床植生器官分離

測定値は生重量野帳 (Fresh Weight) にプロット名と樹木あるいは草本の区別を付して記載する。ビニールシートあるいはビニール袋の風袋を忘れないように。

樹木、草本の全量測定後、1/3~1/4についてそれぞれ、葉、枝、幹(茎)にわけ、重量測定を行う。

なお、アグロフォレストリーの場合、作物については農民あるいは関係者立ち会いで予想収穫量を聞き取り、一部を乾燥係数測定のために抜き取り調査を行うこともあろう。調査方法については、今後、実際の調査現地の様子にあわせて行うことになる。

3. 乾燥重量測定のためのサンプル抽出

乾燥重量計測用サンプルは上記2項に記載した生重量測定用試料と同様であるが、樹木と草本のサンプルを別々に行う。乾燥重量測定のために、プロット名と樹木か草本かを記載した紙袋に別々につめる。抽出されたサンプルは速やかに生重量を測定し、乾重

野帳 (Dry Weight) に記載する。風袋を測定、記載することを忘れないように。

樹木林床植生：木片と枝、葉を0.5～2kg程度採取し、サンプル番号を記載した紙袋に詰め、生重量を測定する。

草本林床植生と作物：サンプルはそのまま番号を付した紙袋に詰める。好適な量はおよそ0.5kg～2kgである。

4. サンプルの乾燥

サンプルは循環型乾燥機で乾燥する。乾燥条件は、樹木の場合は80-90℃で4日間、草本・作物の場合は同温度で2日間が適当である。サンプルの乾燥重量を測定し、乾重野帳 (Dry Weight) に記載し、区分毎の水分含量を算定する。

[ベースライン植生のバイオマスの測定－草地、灌木林あるいは天然再生林]

植栽地のベースラインを選定することは、大変難しい。植栽時と同様の条件であったこと、すなわち草原地への植栽であれば草原、二次林後の植栽であれば二次林であろうが、これらの現地での判断が難しい場合が多い。聞き取り調査にもたよる必要があるが、なかなか植生の履歴はわからない。今後、測定地の選定に各国共通の指針が作成されるであろうが、現段階では、このような指針のないことから、以下の推定手順を提案する。

1. 測定プロットの選定と設定

植栽地と同じ履歴を持つ植生を植栽地近傍から選定する。この場合、植栽地と同じような地形条件であることが望ましい。アランアランのような草地であれば、すでに述べた林床植生の調査と同様である。

灌木林であれば、植栽時に行った刈り払い、あるいは地ごしらえ後のように、植栽地と同じ土地履歴をもっている場所を選定する。

方形プロットを対象とする灌木林に設定する。プロットの短辺はプロット内の平均灌木高より長くする。たとえば、灌木の平均高が2mである場合、プロットの短辺は2m以上必要で、言い換えるとプロットは2m×2mより大きくする。

林縁効果によるバイオマス量の過大評価を避けるため、林縁部あるいは林冠疎開部から2～3mの部分避けてプロットを設定する。このような林縁部の灌木成長は受光量が多いので通常成長がプロット内より良好となり過大評価となる。

2. 測定

植生高がおよそ3m程度の場合、すでに述べた林床植生調査と同様である。以下に、植生高がおよそ5mをこえるような場合について記述する (図-3)。

プロット内の灌木林の優占種5種を決定する。この場合、本数優占、空間優占 (バイオマス優占、1本でもバイオマス量としては大きい場合など) かによってその順位を定める。

表 - 11 ベースライン植生野帳

Biomass in Glassland

Plot No _____ Plot Area _____ date _____ name _____
 m X m / /

Total Fresh Weight

	Total Fresh Weight	Tare
Grass		
Stem		
Leaves		

Drying samples

sample NO		Fresh Weight with Paper Bag	Dry Weight with Paper Bag
	Grass		
	Stem		
	Leaves		

Tare (paper bag)

Fresh Weight	
Dry Weight	

note

地上部全体を刈り取り、優占種それぞれとその他にわけ、ビニールシートやヒモを利用してその全生重量を測定する。分類されているそれぞれから、1/3～1/4をサンプリング抽出する（全量に対する相似性を十分考慮すること）。

サンプリング試料が樹木であれば木部と葉部に分け、重量それぞれ測定し、灌木林バイオマス野帳（Biomass in Grassland）に記載する（表-11）。

造林地バイオマス測定と同様の方法でサンプル抽出し、草本、灌木葉、灌木木部を乾燥し、水分含量を測定する。

用具：造林地バイオマスと同じ

[造林地バイオマスの測定]

1. 各供試木の全乾燥重量の算定

供試木各組織部位の全乾燥重量（TDW）は、全生重量（TFW）、抽出サンプルの生重量（SFW）及び乾燥重量（SDW）から計算する。

<大枝、葉、小枝>

$$TDW = \frac{SDW}{SFW} \times TFW$$

<幹、樹皮>

$$TDW_{trunc} = \frac{SFW_{trunc}}{SFW_{trunc} + SFW_{bark}} \times TFW_{trunc + bark}$$

$$TDW_{bark} = \frac{SFW_{bark}}{SFW_{trunc} + SFW_{bark}} \times TFW_{trunc + bark}$$

2. アロメトリー（相対成長式）によるバイオマスの算定

<アロメトリー関係>

対象地での各器官のバイオマスは、供試木のDBHと各器官の全乾燥重量（TDW）とのアロメトリー関係から算定できる（図-4）。アロメトリー関係は次の式で表される。

$$TDW = a \cdot (DBH^2)^b$$

あるいは

$$\ln TDW = \ln a + b \cdot (DBH^2)$$

なお、aとbは係数である。この係数は試験対象地に近いサイトでの同一樹種のバイオマスを推計するのに適用する。

サイトの各立木の各器官のTDWはこの式とサイトのDBH分布データを使って推計する。（すなわち、特定樹種の各種データが得られ、アロメトリー関係が得られれば、

DBHを測定するだけで地域の同一種の各器官のバイオマス量が推計できるということである。)

<バイオマス>

単位面積あたりのバイオマス量は次の式で算定する。

$$BM = \frac{\text{sumTDW}}{\text{AREA}}$$

ここで、

sumTDW：対象地の各立木の全乾重の合計（乾重 t）

AREA：対象地の面積（ha = 10000m²）

BM：対象地のバイオマス量（t 乾重/ha）

この乾重を炭素に換算するときは、通常0.5が換算係数となる。

年平均乾重量増加割合は（MAI, t 乾重/ha/年）次式で計算する。

$$MAI = \frac{BM}{t}$$

tは対象地の林齢

3. 葉面積指数（LAI）

LAIは次式で計算する

$$BM_{\text{leaf}} = \frac{LA_{\text{sample}}}{DW_{\text{sample}}} \times 0.01$$

ここで、

BM_{leaf}：対象地の葉のバイオマス（t乾重/ha）

LA_{sample}：LAI試料の葉面積（cm²）

DW_{sample}：LAI試料の乾重（g乾重）

<注意>

LAI測定葉はその全葉面積（葉面積計による）測定後、循環式乾燥機で2日間乾燥し、重量を測定する。

[灌木林あるいは二次林のバイオマス測定]

各器官の全乾重（TDW）を全生重、各器官の試料の生重（TFW）及び試料の乾重（SFW）を使って算定する。

$$TDW = \frac{SDW}{SFW} \times TFW$$

その上で次式を使って各バイオマス（BM: t乾重/ha）を算定する。

$$BM = \frac{TDW \times 10}{A}$$

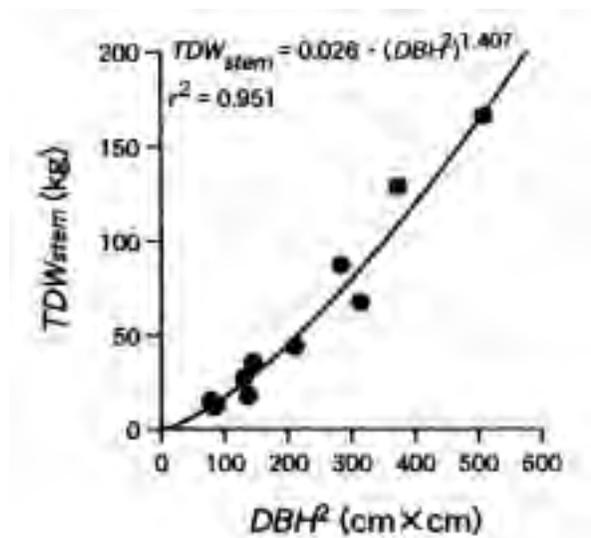


図 - 4 直径と幹乾燥重量間のアロメトリー関係の事例

ここで、

TDW：各器官の全乾重 (kg)

A：プロット面積 (m²)

[枯死バイオマスの測定]

枯死バイオマスには、立ち枯れ木や倒木等の粗大バイオマスと経年的に発生する落葉・落枝のような通称リターと呼ばれる地表に堆積する「土壤有機物」が主要素である。若齢の植林地では発生しないが、うっ閉後の競合によって発生する。したがってうっ閉した植林地では固定された炭素としての測定が必要である。

立ち枯れ木の場合は、プロット内全ての枯死木の胸高直径を測定して、同じプロットの生立木の相対成長関係式を用いて固定炭素量を測定する。また、根元あるいは胸高以下で倒伏したり折損した枯死木は胸高に当たる部位での直径を測定して同様の相対成長式で固定炭素量を測定する。この場合、植林以前の枯死木は必ず除外し、不明確な個体は測定からはずす。

この解析には、「枯死木野帳 (Snag) - 調整中」を用いる。

リターについては次項にあるように土壤有機物として測定する。

用具：直径巻き尺

3) 造林地のリター及び土壤炭素測定法

森林総合研究所 太田 誠一

リター及び土壤における蓄積炭素の測定法は個別には種々の方法があるが、CDM目的のために独自にデザインされた統一的方法は存在しないため、一定の標準的方法を提示しそのマニュアル化が必要となっている。

なお、この方法は今年度のインドネシアでの調査から適用するものとし、問題点が生じた場合は適宜改善する。

1. 森林生態系の固定炭素量測定手順

人工林におけるバイオマス炭素の測定は、前述のように造林木の樹高に応じたサイズの調査プロットを設定し、その中で樹木の地上部及び地下部バイオマス量を計測することによって行われる。これに林床植生中の炭素、枯死木の固定炭素、リター蓄積炭素、土壌炭素量を足し上げたものが人工林の固定炭素量となる。

これらの各要素について固定炭素を測定する場合、炭素固定量測定プロットをそれぞれに設定する必要があるが、樹木中の固定炭素を樹木の伐倒や堀上など破壊調査によって実施する場合は、同一の測定プロット内で各要素について次の順番で測定を行うのが合理的である。

リター採取 → 林床植生調査 → 土壌資料採取 → 地上部伐倒調査 → 地下部堀上調査

すなわち、地表攪乱を避けるため、最も影響を受けやすいリター採取を林床植生調査に先立って行い、ついで林床植生の刈取・採取、さらに同じ場所で土壌試料の採取を行う。

一方、リターや土壌試料の採取は破壊調査であるため、周辺の造林木や植生の成長へ影響を及ぼす可能性を否定できない。このためある程度の広がりのある造林地やベースライン調査対象地においてリターならびに土壌炭素量の経年変化を定期的に調査する場合は、樹木・植生の生長量を継続観測する調査区とは別に、同様の林分・土壌条件を備えた場所にリター、土壌試料採取用の調査区を設けて調査を行うことを推奨する。

2. リター蓄積炭素の測定法

リターとは地表面に堆積した有機物のことで、土壌学では「有機物層、A₀層あるいはO層」と呼称される。これはさらに、新鮮落葉・落枝からなるL層、ある程度分解されたF層、分解の進んだH層に区分される、これら全ての層が測定の対象となる。

寒冷環境下では有機物分解が遅延するため比較的厚くリターが堆積するが、高温多湿な湿潤熱帯では有機物分解が迅速に進行するため、CDM実施が想定される熱帯諸国の多くの造林地では恐らくL層が中心となり、その量も一般には多くないと予想される。そのため、リター層が生態系全体の炭素に占めるの割合は一般に低く、クレジット発生側にあることもあって、作業効率を考え場合によってはリター測定を省略する選択肢もあり得るであろう。ただ、閉鎖後時間が経過した人工林では枯死木の発生があるし、また、ユーカリ、アカシア、マツ類などの場合、分解が進まずF層やH層を含め比較的多量のリターが堆積することもあるため、このような場合には時間・労力をかけて測定する価値のあることもある。いずれにせよ、実際の調査林分の状況と対費用効果を考慮しつつ、リターの測定・解析の必要性の有無を見極めるのが適当である。なお、枯死木、倒木の固定炭素測定については前項に記載した。

<リターの採取>

リター量の測定は、林床植生の刈り取り調査を行う場合は同一のプロットあるいは近傍の同様の条件を具備する地で行うのが合理的である。本事業の例では、森川の地上部調査法に準じて設定した林床植生用のプロット2箇所をそれぞれ4分割し、平均的なリター量の部分を1分割選び、堆積リターの採取・計量を行い、各林分毎に2カ所のリター量の測定を行っている。

なお、一般に森林下のリター層の分布は不均一な場合が少なくなく、またその変動は個々の森林によって異なるため、リター量の正確な経時変動を知るためには予備調査を行い許容誤差の必要サンプリング数をあらかじめ決定しておくことが必要となる。また、地上に落ちた枝などの大型のリター（コースリター：coarse litter）は、主に落葉などからなる堆積有機物層のリター（ファインリター：fine litter）よりもさらに不均一に分布する傾向があるため、これを正確に評価する場合は、堆積有機物とは別に予備調査に従って立案したサンプリング計画に従って採取・測定を行うことが望ましい。なお、倒木や枯死木に由来すると考えられる幹・枝は極力排除する。

ファインリターは、面積既知（通常50cm*50cm~100cm*100cm程度のサイズのことが多い）の枠を必要数、地表に設定し、枠内のリターを全てかき集めてビニール袋などに入れて実験室に持ち帰る。リター採取用の枠は折れ尺を二本組み合わせたり、塩ビパイプや木材などであらかじめ作成しておいた組立式の枠を用いても良いが、自転車のタイヤが壊れず持ち運びにも便利で使いやすい。

コースリターは一般に、より広い面積から採取する場合は想定されるが、量が少なければ全量を実験室に持ち帰り、量が多い場合は全重量を現場で秤量し一部を実験室に持ち帰る。

なお、ファインリターとコースリターの境界は調査事例によって直径2cm、直径10cmなどさまざまであり、決まった方法はないが投入可能な労力、期待する精度などを勘案して決定することになる。

<リター重量の測定と炭素蓄積量の算出>

実験室に持ち帰ったリター試料は風乾した後を秤量し（風乾重量）、一部をバイオマス試料などと同様の方法で通風乾燥機などにより乾燥し乾燥係数を算出する。乾燥係数を用いて風乾重量から単位面積当たりの乾燥リター量（トン/haが広く使われる）を算出する。大型の通風乾燥機などが利用可能で多数・多量の試料の乾燥を行える場合は、リターの全量を乾燥し乾燥重量を直接測定することも可能である。

コースリターについても同様に、一部試料を用いて乾燥係数を測定し、単位面積当たりの乾燥重量を算出する。

リター炭素量は得られたリター量にそれぞれの炭素濃度を乗じてを算出する。炭素量の分析は、NCアナライザー、CNコーダーなど専用の測定機器や重クロム酸を使った通常の化学分析によるのが望ましいが、設備、コストなどの関係でこれら方法が困難な場合は、灼熱損量を測定し間接的に炭素量に近似換算する方法も援用可能である。この方法はマッフル炉に天秤とデシケータがあれば可能であり実用的であるが、あらかじめ灼熱

損料と炭素濃度との関係を調べておく必要がある。このため、この両者の関係は本事業プロジェクトにおいて計測しておくべき重要項目の一つといえる。

また、湿潤熱帯林では通常、有機物層の大半がL層であるので、その場合、簡易には、地上部バイオマスの炭素濃度を代用してリター炭素量を推定することも不可能ではない。しかし、相対的にリターの分解が進み鉱質土壌との混和が進んでいる場合、通常バイオマスの炭素濃度を用いると誤差が大きくなるので注意が必要である。

<本調査事業におけるリッター蓄積炭素量測定のための具体的な進め方>

リター計測野帳 (Litter) を用いる。

- (1) 地上部調査地内外に0.25~1m²程度の既知面積の調査プロットを必要箇所を設定する。
- (2) 境界部を自転車のタイヤや折れ尺などで押さえ、ナイフや剪定ハサミで境界上のリターを切り、区画内リターを集め (ミミズの糞など主に鉱質土壌からなる物は含まない)、プロット毎にビニール袋などに入れて実験室に持ち帰る。
- (3) 実験室に持ち帰った各プロット試料は風乾して、それぞれの総風乾重量を計測する。
- (4) 紙袋 (15cm×30cm程度) に風乾試料の一部を採り、85度で乾燥し、乾燥係数を算出する。
- (5) 乾燥試料の一部を用いて炭素濃度の測定を行う。(有機物層が主にL層からなり、バイオマス炭素濃度でリター炭素含量を代用する場合は本プロセス省略。)
- (6) プロット毎の風乾重量、乾燥係数、プロット面積、炭素濃度から面積あたりの固定炭素量を算出する。
- (7) 全プロットの平均を求めリター固定炭素量とする。
- (8) 枝などの大型リターは、地上部調査地内外に4~9m²程度のプロットを必要数設定し、上記リターの測定に準じて炭素量を算出する。
- (9) ファインリター炭素とコースリター炭素を合計して、リッター蓄積炭素量とする。

用具：1m折れ尺 (4本) あるいは1m塩ビ管 (4本)、剪定鋏、ビニール袋、紙袋、電子天秤

3. 土壌炭素蓄積量の測定法

一般に、土壌炭素蓄積量は成熟した天然林では比較的安定し大きく変動することはないと考えられているが、森林伐採や新規造林など人為活動に伴って変動することが知られている。この蓄積量の変動が熱帯地域でどの程度であるかについての情報必ずしも十分に蓄積されていないが、人工造林に伴う変動の可能性は高い。したがって、新規造林とその成熟過程における土壌炭素の変化をモニターし定量的に明らかにすることが必要であり、その基本データとして各種造林地やベースライン植生における土壌炭素現存量の測定が重要となる。

<土壌炭素測定プロットの設定>

CDMにおける土壌炭素は各炭素測定対象人工林で計測・推定するため、樹木炭素測定

プロットと同質の土壤の場所で行う必要があるが、土壤試料の採取は破壊調査となるため伐倒調査を行う場合はこれに先立ちリター調査とともに実施する。伐倒調査を行わない場合でも土壤試料の採取による攪乱の樹木成長への影響を避けるため成長モニタリング用のプロットとは別に土壤試料採取用のプロットを設定して調査を行うことが必要である。また、一般に土壤炭素は場所による変動が大きいことが少なくなく、またその変動は個々の森林で異なるため、土壤炭素量の正確な分布とその経時変動を知るためには予備調査を行い許容誤差の必要サンプリング数をあらかじめ決定しておくことが必要である。

土壤炭素には細根やリッターからの移入による回転の速い画分と、土壤の無機成分と強く結合した寿命の長い画分があると考えられているが、CDMの場合は前者の回転の早い炭素の変化量が主な対象となると考えられ、造林に伴う細根やリッターなど炭素源の変動影響を受けやすい範囲での炭素変動測定に高い優先度を与えるべきである。従って、投入可能な労力などの関係で、深さ70cmや100cmなど下層までの炭素蓄積を測定することができない場合は、細根の主要分布範囲である表層土壤部分を測定対象範囲とすることが適当である。

一方、ベースライン的な動きの遅い土壤炭素についてもベースライン算定における基礎データとして測定の必要があり、樹木炭素測定プロットについて同様に測定する必要がある。

<炭素測定用試料の採取と秤量>

上記のように回転の速い土壤炭素画分は地上部リターの供給を常に受けている最表層部と細根の分部範囲に偏在することが知られている。通常、細根やリッターの影響を強く受ける範囲は20cm程度と考えられるが、場所によってはそれより深い場合もある。したがって本調査事業においては、米国のAIJプロジェクトでも導入されているように、許容範囲を考慮して深さ30cmまでの土壤炭素測定を行う。

炭素蓄積量とその変動は最終的には単位面積当りで算出するため、分析用の土壤試料は既知容積の容器を用いて採取する。本調査では土壤学的情報の優先度は高くなく、一定の深さまでの炭素蓄積とその変動を知ることが重要であるため、土壤層位は考慮せず単純に機械的に地表から30cmの土壤を採取してよい。

ただし、今年度分の本調査事業の調査では、初年度であり、土壤炭素量のみならず炭素分布の様相を土壤層位との関連で把握することも目的とし、A層とB層からの採取が行われている。なお、AB両層が細分される場合は各細分層から採取し、採取深度は上記のように30cmとするが、同一の土壤層がそれより下まで分布した場合はその層まで採取されている。また、明度が4以下の場合は同様に50cmに達した層まで採取することとされている。

採取方法については公定法はないが、一つの方法としては通常の100ccあるいは400ccの円筒で表層から順次採取する方法で30cmまで採取する方法がある。わが国の森林土壤は礫を多く含むなど不均一性が高いため、400ccの採土円筒が広く用いられてきたが、一般に埴質な熱帯の土壤の場合は作業性の点で100ccの採土円筒を用い、同一の深さから複数

の土壤試料を採取するほうが能率がよい場合が少なくない。また、円筒を用いる場合、採取試料数は土壤の不均一性を考慮すれば多いにこしたことはないが、現実的な繰り返し回数は100ccの場合3-4回の、400cc円筒の場合は1-2回となろう。この方法のバリエーションとして、円筒採取器で上から順次30cmまで採取する方法もあり、次の方法と同じく、比較的簡便な方法として検討の価値があるが、中程度以上の根があると採取が困難な場合もある。もう一つの方法としては、10cm×10cm×30cm程度の弁当箱様金属容器を使い円筒採取と同じ方法で試料を採取する方法が考えられるが、サイズがやや大きいので採取に時間がかかること、ひずみがかかりやすいので容器の変形が起こるなどの欠点が想定され検討を要する。

採取した土壤は、各採取層毎にビニール袋に一括して入れ実験室に持ち帰り、バットなどに広げて生きた植物根を分別しつつ風乾する。風乾し終えた各土壤試料はそれぞれ全重量を測定した後、2mmの篩で篩別し2mm以下の風乾細土、2mm以上を礫とし篩別した礫の重量も測定しておく。風乾土の全重から礫の重さを減じて風乾細土の重量を計算する。風乾細土は十分混和して、一部（採用する分析法によるが通常数十g程度）を分取し乳鉢や粉砕機を用いて0.02mm程度まで粉砕し風乾細微土を調製し土壤炭素分析試料とする。一方で風乾細土を用いて乾燥係数を測定し、容積重を算定する。土壤中の炭素分析は通常の湿式もしくは乾式燃焼法に従って分析する。

本事業の場合はC/Nコーダー法など乾式燃焼法を用いるが、C/Nコーダーなどが使用できない場合は重クロム酸による湿式燃焼法を用いる。なお、石灰質母材などで土壤pHが7以上の場合、無機炭素を含んでいる可能性があるため、前処理を行うか、無機炭素を別に測定する必要がある。ただし湿潤熱帯の場合は仮に石灰岩母材であっても、強度の溶脱のため無機炭素を含むことはごくまれである。また、灼熱損量から推定する方法もあるが、炭酸塩や他の加熱で重量変化の大きい成分が含まれることがあるので、積極的には推奨できない。

各深さ毎に測定した容積重から各層毎の体積あたりの炭素量を計算し、各層の炭素量を足し上げて30cmまでの炭素量を求める。これらのデータから単位面積あたり（通常haあたり）の土壤炭素量を算出し、tC/haで表示する。

<本調査事業における土壤炭素測定の具体的進め方>

土壤炭素測定野帳（Soil carbon）を利用する。

- (1) 場所の設定－樹木バイオマス測定プロット内外で区域の平均的地形・植生を選び、3-4カ所。
- (2) 断面を50cmまで掘り、各層の区分と記載を行う。
- (3) 地表部から層毎に400cc円筒もしくは100cc円筒で土壤を採取する。円筒採取は層の中心で行い、各層から400ccの場合は1個、100ccの場合は3-4個の試料を採取する。
- (4) 円筒は切れるナイフと剪定鋏を使い注意深く採取する。また、たまたま存在した円筒境界の大根や石は案分配分し、採取する。
- (5) 採取した土壤は地名と層名を記載したビニール袋に移し、分析試料とする。

－ここまで現地－

- (6) 各採取試料は生きた根を除去しつつ風乾し、全重を秤量する。風袋を引くことをわすれないように。
- (7) 2mmの篩で2mm以下の風乾細土と2mm以上の礫に篩い分けて礫の重量を測定し、風乾細土の重量を算出する。
- (8) 風乾細土の一部を分け取り乾燥係数を測定し、単位体積あたりの乾土重量（容積重）を計算する。
- (9) 他の一部を採取して0.02mm程度まで粉碎した試料を用いて炭素含量の測定を行う。なお、炭素含量測定は信頼のおける機関に外注した方が効率的である。
- (10) 各層毎に体積あたりの炭素を算定してこれを合計し、単位面積あたりの炭素量を算出する。
- (11) 分別した根は乾燥し重量を測定した後、有機物の炭素含有率を乗じて炭素量を算出する。
- (12) 土壤炭素量は、根+土壤炭素の含量とし、ha換算値として表示する。

用具：スコップ・クワ、剪定鋏、土壤調査コテ、ナイフ・包丁、100ccあるいは400cc採土円筒、ビニール袋、電子天秤（2kg）、2mm篩、通風乾燥機

以下自前で分析する場合：CNオートアナライザーと薬品類、重クロム酸分析装置一組と薬品類

4) 造林地固定炭素測定法の今後の方向

国際緑化推進センター 大角 泰夫

CDMプロジェクトにおいては、上記の方法あるいはより簡便化した方法によって個別の固定炭素量が測定されることとなる。その場合、固定炭素量の計測はおそらくCDMプロジェクトが開始されるとモニタリングが必須条件になるので定期的にプロジェクト内の固定炭素量を測定することとなる。

CDMに関わってくる造林地の固定炭素量をモニターする場合、2000年以降の造林地という規定があるので、若齢造林地が対象になる。したがって、このような若齢造林地では炭素固定量の動きの少ない項目である「林床植生」、「有機物層」、「枯死木」、「土壌」、「ベースライン植生」および「ベースライン土壌」については毎回測定する必要はないものと考えられる。特に土壤炭素については荒廃地の造林でも急激には炭素固定量が増えないと考えられるので、開始時と約束期間終了時に測定することが得策であろう。ただし、この測定頻度はCDM理事会で詳細が決定されることになっているので、決定の内容にしたがって適宜今後対応することとなろう。

また、今回提案した造林地の固定炭素測定法は、客観的な方法として認定される必要があることも予想されるので執筆者によって学術誌などに公表されることが求められるかもしれない。

5 . 対象造林樹種の選定と実施計画

国際緑化推進センター 森 徳典、大角 泰夫

1) 地域別主要造林樹種のリストと対象種の選定

本プロジェクトはCDM-sinkによる炭素固定量を推定するための造林地固定炭素の測定法、CDMに対応した炭素固定に好適な樹種の抽出及び造林技術の開発ならびに間接影響の解析が主目的であり、外業調査が2年間と限られているため、検討すべき地域と樹種については期間内に対応できる計画の策定が重要である。そのため対象樹種については既存の文献等によってCDM対象地域である開発途上国において広く造林対象となっているか、今後拡大が予想される樹種に集中し、対象地域も今後造林が活発化すると予想される東南アジア地域に調査の焦点を合わせた。

樹種選定にはまず全熱帯の造林対象樹種のスクリーニングを行い、その上で一次選考した樹種から熱帯、亜熱帯地域での造林の現状と今後の見通しから樹種をさらに絞り込み、最終的には10種程度とすることを目標とした。

一次選考にあたっては、1995年以前の全世界の熱帯・亜熱帯地域の樹種別成長データが広く取りまとめられているJIFPROによる「熱帯林の成長データ集録 その1とその2」(西川他、1996)を参考とした。この文献からスクリーニングされた造林樹種とそれらの成長は表-12に示した。なお、全世界で広い造林面積があり、多くの成長データがある、*Acacia mangium*と*Eucalyptus spp.*はリストから除いてある。

次にこれらの一次選考に残った樹種から、成長に適した気候条件及び年間成長速度などを勘案し、地域別に本プロジェクトで取り上げる必要性の高い樹種を選別した。この際、近年熱帯諸国で新たに導入されるか、拡大が予想される樹種、例えば*Peronema canescens*やフタバガキ科植物の*Shorea*属等も委員会等での意見を参考に検討に加えた。一方、本プロジェクトと併行してJICA・CDMプロジェクトがインドネシアを中心に進められており、この中でも樹種別の炭素吸収量を測定することになっている。効率化を図るため、JICAプロジェクトで対象とされているフタバガキ科植物については本プロジェクトの対象種から除外することとした。また、効率的な解析のため調査対象国をインドネシア及びタイとし、他の国については現地調査対象国からはずした。

結果として、表-13にあげた10種を対象とすることとし、調査対象造林地については、タイにおいては林業公社造林地、インドネシアについては、林業公社、旧JICAプロジェクト、住友林業、JIFPRO等による造林地とした。対象以外の地域・樹種については可能な限り文献によって解析することとした。

西川他 (1996)：熱帯林の成長データ (その1)、pp.1-322、国際緑化推進センター

西川他 (1996)：熱帯林の成長データ (その2)、pp.1-297、国際緑化推進センター

表 - 12 熱帯・亜熱帯地域の主な造林対象樹種と代表的造林地での成長量

樹種	対象国	測定時林齢	年平均成長量 (m ³ /yr)
(針葉樹)			
<i>Pinus caribaea</i>	Malaysia	12	207
	Fiji	15	223
	Brazil	10~12	192
	Tanzania	9~12	284
<i>Pinus kasiya</i>	Philippines	30~55	29
	Malawi	21~29	164
<i>Pinus elliotti</i>	S.Africa	35	226
<i>Pinus luchuensis</i>	Taiwan	12~28	178
<i>Pinus massoniana</i>	China	30	138
<i>Pinus merkusii</i>	Indonesia	20~30	253
	Thailand	15~25	117
<i>Pinus roxburghii</i>	Pakistan	50~70	64
<i>Cryptomeria japonica</i>	India	30~50	339
	Brazil	15~30	247
<i>Agathis dammara</i>	Indonesia	20~40	265
<i>Araucaria cunninghamii</i>	P.N.G.	10	400
<i>Araucaria angustifolia</i>	Brazil	20~30	203
(広葉樹)			
<i>Dipterocarpus baudii</i>	Malaysia	22~31	102
<i>Shorea robusta</i>	India	20~50	102
other dipterocarps			N.A.
<i>Acacia auriculiformis</i>	Malaysia	11~12	168
<i>Acacia decurrens</i>	Indonesia	6~10	301
<i>Acacia nilotica</i>	India	10~25	91
<i>Paraserianthes falcataria</i>	Indonesia	6~10	550
	Philippines	3~8	480
<i>Cassia siamea</i>	Nigeria	10	116
<i>Dalbergia latifolia</i>	Indonesia	20~40	201
<i>Dalbergia sissoo</i>	Pakistan	15~20	113
<i>Pterocarpus dalbergioides</i>	India	10~40	127
<i>Azadirachta indica</i>	Nigeria	7~9	137
<i>Cedrela odorata</i>	Nigeria	25~32	122
<i>Swietenia macrophylla</i>	Indonesia	20~40	161
	Philippines	40~50	132
<i>Ochroma bicolor</i>	Indonesia	4~10	801
<i>Terminalia ivorensis</i>	Nigeria	11~31	133
<i>Terminalia superba</i>	Nigeria	18	124
<i>Anthocephalus chinensis</i>	Indonesia	3~12	21.1
	Philippines	11~12	27.8
<i>Gmelina arborea</i>	Philippines	10~13	320
	Malaysia	7~11	327
	Ghana	10~13	383
<i>Tectona grandis</i>	India	20~40	94
	Indonesia	20~40	178
	Tanzania	45	11.0
	Nigeria	13~61	10.3
	Equador	21~50	26.5

表 - 13 本プロジェクトで対象とする候補樹種と調査候補地域

樹 種	気候帯	対象国・地域	備考
<i>Acacia mangium</i>	熱帯多雨林	インドネシア・スマトラ	
<i>Azadirachta indica</i>	熱帯季節林	インドネシア・ロンボック	乾燥地
<i>Cassia siamea</i>	熱帯季節林	インドネシア・ロンボック	乾燥地
<i>Dalbergia latifolia</i>	熱帯季節林	インドネシア・ロンボック	乾燥地
<i>Gmelina arborea</i>	熱帯多雨林	インドネシア・カリマンタン	
<i>Paraserianthes falcataria</i>	熱帯多雨林	インドネシア・中部ジャワ	
<i>Peronema canescens</i>	熱帯多雨林	インドネシア・スマトラ	
	熱帯多雨林	インドネシア・カリマンタン	
<i>Pinus merkusii</i>	熱帯多雨林	インドネシア・中部ジャワ	
<i>Swietenia macrophylla</i>	熱帯多雨林	インドネシア・スマトラ	
<i>Tectona grandis</i>	熱帯季節林	タイ・北部	
	熱帯季節林	インドネシア・中部ジャワ	

2) 樹種・地域別造林地固定炭素量解析の実施計画

2年間の現地調査による樹種毎の炭素固定量解析においては、特に重要な樹種の場合予備的な調査が必要な場合があり、この条件を勘案した実施計画を策定した。また、CDMの枠組みではベースラインとなる植生による炭素固定量も測定する必要があり、地域で代表的な「不作為植生」の選定と炭素固定量調査を行うこととした。なお、ベースライン植生の炭素固定量解析はJICAプロジェクトにおいても重点的に行われる予定であるので、本プロジェクトでは必要最小限に絞ることとした。

本プロジェクトで対象とした樹種の調査予定造林地と調査実施時期を表-14に示した。平成13年度は5樹種について調査が完了しており、解析結果の概要は本報告書の中に示した。また、タイのチークを含む4樹種については調査地の設定、あるいは造林木の炭素固定量が解析されている。次年度は残る樹種と項目の解析を進める予定である。ベースラインについても同様に計画に従って進めることとした。

本プロジェクトで対象とした樹種以外についてもすでに他のプロジェクトでバイオマス解析が行われている事例がある。特にタイ・サケラートで行われたバイオマス調査では、*Acacia mangium*、*A. auriculiformis*、*Eucalyptus camaldulensis*、*Dalbergia cochichinensis*、*Pterocarpus macrocarpus*及び*Xylia kerii*の地上部と地下部及び林床植生の炭素固定量が把握されており（加茂、2001）、CDM-sink炭素固定量解析のための要件のうち、リターと土壤炭素が未測定であるのみである。予算的に可能であれば、平成15年度以降に未測定部分を測定し、成果の充実を図ることが得策であろう。

加茂皓一（2001）：タイにおける環境影響現地調査、開発途上国人工林環境調査事業調査報告書、pp.58-134、海外産業植林センター

表 - 14 対象樹種・調査対象造林地と炭素固定量解析実施計画

樹種	調査対象造林地	実施時期	
		予備調査	本調査
<i>Acacia mangium</i>	MHP社産業造林地（Benakat）	13	13
<i>Azadirachta indica</i>	JIFPRO造林地（Lombok）	14	14
<i>Cassia siamea</i>	JIFPRO造林地（Lombok）	14	14
<i>Dalbergia latifolia</i>	JIFPRO造林地（Lombok）	14	14
<i>Gmelina arborea</i>	KTI社産業造林地（Sebulu）	13	14
<i>Paraserianthes falcataria</i>	PERHUTANI造林地（Yogyakarta）	▲	14
<i>Peronema canescens</i>	MHP社造林地（旧JICA）（Benakat）	13	13
	KTI社造林地（Sebulu）	13	14
<i>Pinus merkusii</i>	PERHUTANI造林地（Purwarejo）	▲	14
<i>Swietenia macrophylla</i>	MHP社造林地（旧JICA）（Benakat）	13	13
<i>Tectona grandis</i>	PERHUTANI造林地（Kebumen）	▲	14
	FIO造林地（Lampang）	13	14
（以下ベースライン）			
<i>Macaranga</i> 二次林	KTI社管理地	14	14
<i>Lantana</i> 灌木林	JIFPRO造林地（Lombok）	既解析	
雑灌木林	MHP社管理地	13	13
<i>Imperata</i> 草地	KTI社管理地	14	14

：別プロジェクトで樹木バイオマス測定済み

6 . 造林地炭素固定量の解析

1) タイ国・チーク林のCDM炭素固定量の解析

国際緑化推進センター 脇 孝介、森 徳典、大角 泰夫

出張期間：平成13年8月19日～8月28日

調査者：タイ国王室林野局造林研究部 Mr.Chingchai Viriyabuncha (全体調整と樹木)、
Ms.Kantinan Peawsa (樹木) 及びMs.Sirirat Janmahasatien (土壌)
JIFPRO 長塚及び中山 (調整)、脇、森及び大角 (委員会委員)

熱帯季節林地帯で古くから広く造林が進められてきたチーク (*Tectona grandis*) は、耐久性が高く、細胞間にワックスを含み良好な触感があるため、内装材や木工品の素材として極めて高い評価を得ており、現在もタイやインドネシアなどにおいて精力的に造林が進められている。熱帯の造林樹種中で比較的長い伐期の樹種としては最も普遍的な樹種であり、今後も造林の継続、拡大が予想されるため、CDMにおいては考慮すべき樹種である。

タイでのチーク造林は全国的規模で行われているが、自然立地的には北部が中心である。チークはラオス・タイ北部からミャンマー、インドにかけて自然分布するクマツヅラ科の樹高40mに達する雨緑林樹種で、熱帯の主な造林対象樹のメリナ (*Gmelina arborea*) 及びスンカイ (*Peronema canescens*) も近縁種である。チークは石灰質岩石に親和性があり、気候的には降雨林より乾季がある季節林に適しているとされており、好適な成長を期待する場合は立地環境の選択が必要と考えられている。

チークの造林地はタイ国内できわめて広い面積があり、造林地が分散していること、またチークは乾季に落葉すること、葉食性昆虫に食害されやすいことなどから、CDM固定炭素量を知るためには平均的な成長があるプロットの選定と地上部の木部・葉部、地下部、林床植生、土壌等の調査に適した時期の判定が重要である。したがって平成13年度の調査では、炭素固定量調査林分の選定と平成14年度の調査時期の決定を行った。

a. 調査対象候補地の選定

タイでのチーク造林の中心であるチェンマイ (Chiang Mai) - ランパン (Lampang) 周辺のチーク造林地を対象とした。対象地は、図-5に示したように①Mae Hopra、②Mae Chaem、③Mae Li、④Mae Chang、⑤Thung Kwiengの5森林管理区である。いずれもRFD (王室林野局) 造林研究部の継続調査プロットである。

各造林地でそれぞれ10～15の継続調査プロットの地上部成長量を毎木調査した。また、いずれの造林地も林齢、造林方法、保育状況等林分のバイオマス生産に関連する事項を調査した。それらの結果を勘案して固定炭素量調査に適したプロットを検討したが、全ての造林地で好適なプロットが存在した。したがってどの造林地もCDM調査の対象にできるが、調査の際のアクセスから、道路網が完備しているチェンマイ近郊の①Mae

Hopraとランパン近郊の④Mae Changを候補地として選定した。両管理区の中で、④は①よりアクセスが良く、④を第一候補として選定し、実際の調査の時間配分によっては①も対象とすることにした。また、固定炭素量調査では、伐採と地下部の掘り起こし作業が必要であり、特に地下部調査にはバックホー等重機の導入が効率的であることから造林地内の道路状況が重要な選定条件となる。実際の調査が予想される雨季を想定すると④にはより安定した全天候型仕様の林道が作設されていることも選定の理由である。

Mae Chang管理区には13プロットが設定されており（図-6）、植栽年次は1972年から1985年まで幅広い。図中の急傾斜山塊はいずれも石灰岩山地で、緩傾斜地は堆積岩が基盤であるが、石灰岩山地からの堆積物と元々の堆積岩の風化物で構成されている。したがって土壌は石灰岩山地から離れるに従って石灰岩以外の影響を受ける。

固定量調査ではなるべく古い造林地を選んだ方が得られる情報量が多いので適切であるが、その後の成長や植林地の取り扱いも勘案して選定する必要がある。タイのチーク植林地では通常工程である10年毎の間伐も考慮する必要がある。その結果、石灰岩の影響を強く受け、成長も中庸であるNo.80プロットを第1候補として選定し、その比較としてより若年性のNo.77を第2候補とした。また、実際の調査時の状況によってはこれらのプロットが調査できないことも勘案して第3候補としてNo.71プロットを予備として選定した。

No.80プロットは1980年に4×4m植栽間隔で植えられ、21年生である。No.77プロットは1985年植栽の16年生で2×4m間隔、予備プロットのNo.71は主伐に近い1976年植栽、25年生である。次年度の調査では、これらのうち1プロットにおいて地下部調査を行い、T/R率を算定する。なお、他の調査項目は前掲の森川・太田の方法に準拠することとしている。

b. 調査時期の選定

チークは前述のように乾季に落葉する。炭素固定量を調べるには葉の量も測定する必要がある。したがって10月～4月と開葉直後の5月は避けることになる。また、食葉性昆虫が発生しやすい樹種であるので、大発生の時期は避ける必要がある。通常この害虫の発生時期はタイでは7月中旬以降と考えられているので、6月～7月の調査が適切と考えられる。

また、同時に土壌炭素を測定する必要もあり、土壌調査が可能な時期に設定する必要がある。石灰質土壌の特徴として、土壌素材がきわめて細粒質であり、降雨が少ないと乾燥による収縮によって極端に硬化する。硬化土壌はショベルでの掘削が困難で、乾季の土壌調査はなるべく避けたい。したがって、雨季が始まって植栽木や林床植生の根が伸長している時期が最も適切と考えられ、6月～9月に調査することが適切と考えられる。

まとめ

今回の調査で60プロット以上の毎木調査による経年成長量の調査結果は得られており、その中から代表的なプロットを選定した。具体的な成長データは今回調査しなかった地下部、林床植生、土壌炭素を加えて次年度以降に報告する。



図 - 5 チェンマイ・ランパン地域チーク調査地

สวนป่าแม่จาง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

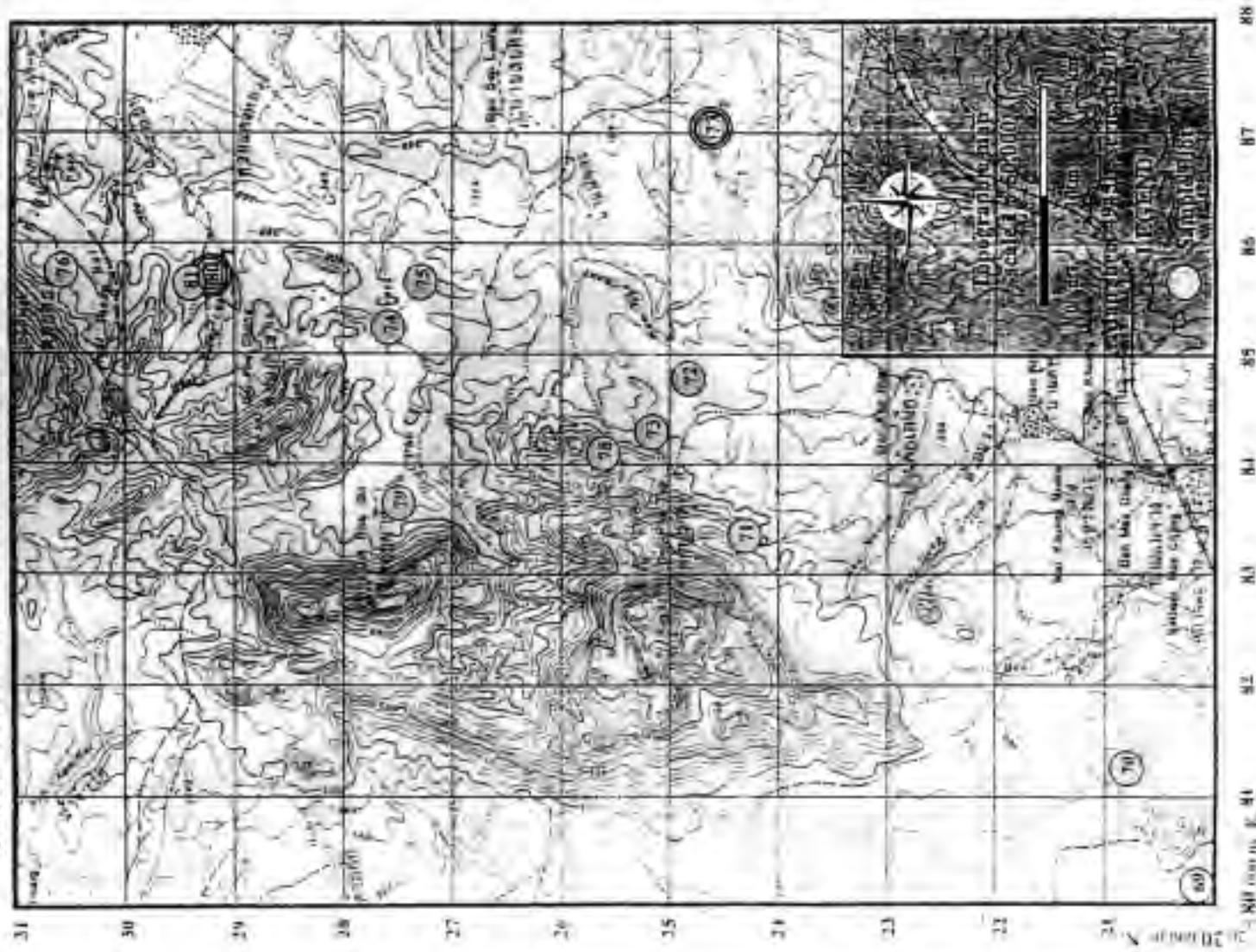


图 - 6 チークCDM調査候補地 (Mae Chang 管理区)

2) インドネシア国スマトラ島のマホガニー (*S.macrophylla*) 林、スンカイ (*P.canecsens*) 林、マンギウム (*A.mangium*) 林のCDM炭素固定量調査

早稲田大学 森川 靖

(1) 調査年月日 平成13年9月5日から9月15日

(2) 調査者

森川 靖 早稲田大学人間科学部教授
同上研究室生 2名

八木 久義 東京大学大学院農学生命科学研究科教授
同上研究室生 2名

Sukaesih Pradjadinata インドネシア森林自然保護研究開発センター

大角 泰夫 国際緑化推進センター 技術顧問

長塚 耀一 国際緑化推進センター 企画部長

(3) 調査場所

① 南スマトラ ムアラニエム郡 (20年生マホガニー)
旧JICA南スマトラ造林プロジェクトサイト・国有林

② 南スマトラ ムアラニエム郡 (10年生スンカイ)
PT.Musi Hutan Persada社有林

③ 南スマトラ ムアラニエム郡 (6年生マンギウム)
PT.Musi Hutan Persada社有林

(4) 調査林分の林況

各調査林分の概況は表-15に示す通りであった。

表 - 15 調査林分の概況

樹種	植栽年 年	林齢 年	植栽間隔 m×m	面積 m ²	傾斜 °	海拔 m	土壌
マホガニー	1981	20	1.5×4	2,500	8	130	Acrisol
スンカイ	1991	10	4×4	2,500	0	150	Acrisol
マンギウム	1995	6	2.5×4	2,000	0	100	Acrisol
同	1995	6	3.5×2	2,000	0	100	Acrisol
同	1995	6	3×4	2,000	0	100	Acrisol
同	1995	6	3×3.5	2,000	0	100	Acrisol
同	1995	6	2.5×4	2,000	0	100	Acrisol

マホガニー林分は、JICA (国際協力事業団) プロジェクトにより造成されたもので、植林前まではアランアラン草原だった。スンカイ林分、マンギウム林分はインドネシア

のPT.Musi Hutan Persada社により造成されたもので、植林前までは農民による焼き畑や放牧が行われていたと考えられる。

マホガニー林分、マンギウム林分においては、実生からの稚樹が林床に多く見られた。とくにマンギウムは生育条件があまり良くない林道沿いでも稚樹が多数見られた。マンギウムは、光条件が良好であれば極めて更新容易な樹種といえよう。スンカイは土地条件が合わなかったようで、近傍の二次林よりも、樹高成長などから判断して成長量が劣っているようだった。

a . ブナカット周辺の対象樹種造林地のバイオマス調査

早稲田大学 森川 靖

(1) 成長調査

それぞれの林分は規則的な間隔で列状に植林されていた。そこで、それぞれ標準的な場所に100本（10×10）程度を囲い込むかたちで調査プロットをもうけ、全本数の胸高直径とバイオマス測定用のサンプル木について樹高を測定した。各調査林分の胸高直径と樹高の関係は図-7に示す通り相対成長関係を満足した。この相対成長式を用いて推定した調査プロットの平均樹高は表-16に示した。

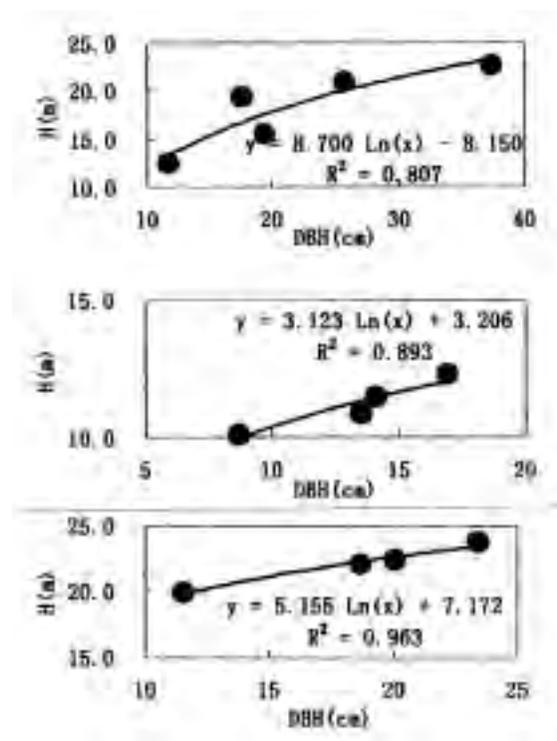


図-7 胸高直径と樹高の関係（上からマホガニー、スンカイ、マンギウム）

表 - 16 胸高直径と樹高の関係式と式を利用した推定樹高

$$H=A \times \text{Ln}(\text{DBH}) - B$$

樹種	林齢	A	B	R2	平均DBH	推定H
マホガニー	20	8.700	8.150	0.807	17.57	16.79
スンカイ	10	3.123	-3.206	0.893	13.74	11.39
マンギウム	6	5.155	-7.172	0.963	19.53	22.49

各調査林分の密度、平均胸高直径、樹高等を表-17に示す。なお樹高は胸高直径の毎木調査から相対成長式を利用した推定値である。

表 - 17 調査林分の状態

樹種	マホガニー	スンカイ	マンギウム				
	林齢	植栽間隔	立木密度	平均DBH	DBH Max-Min	平均樹高	
マホガニー	20	10	6	6	6	6	6
スンカイ	1.5×4	4×4	2.5×4	3.5×2	3×4	3×3.5	2.5×4
マンギウム	1116.67	446.43	822.22	1369.05	787.04	876.80	902.78
マホガニー	17.57	13.74	19.53	16.86	19.63	21.22	19.37
スンカイ	0.7-4.46	7.6-18.2	11.5-27.2	9.4-28.8	8.7-29.8	11.1-30.0	9.0-32.1
マンギウム	16.79	11.39	22.49	22.49	22.49	22.49	22.49

次に、林内2ヶ所に1m×1mのサブプロットを設置し、そこに含まれる林床植生を全量刈取りし、生重量を測定後、乾重量を求めた。それらの結果を表-18に示す。

表 - 18 調査林分の林床植生の乾重量

	マホガニー	スンカイ	マンギウム
林齢	20	10	6
植生量 (t/ha)	1.69	3.49	1.02

(2) バイオマス調査

マホガニー林では5本、スンカイ林、マンギウム林ではそれぞれ4本を伐倒し調査木とした。それぞれの調査木は胸高直径の分布より、小から大へ均等に分散するよう選んだ。

樹体各部位のバイオマス調査方法は、本報告書の調査法に示した方法によった。各調査木の諸量は表-19の通りである。得られた相対成長式 $Dw=A(D^2)^B$ の係数を表-20に示す。

表 - 19 伐倒調査木の大きさ等

樹種 番号	マホガニー				
	1	2	3	4	5
林 齢	20	20	20	20	20
胸高直径 (cm)	19.3	25.7	11.7	37.4	17.6
樹 高 (m)	15.50	21.20	12.40	22.70	19.50
皮付き材積 (m ³)	0.18	0.46	0.06	1.00	0.20
皮なし材積 (m ³)	0.16	0.38	0.05	0.86	0.17

樹種 番号	スンカイ			
	1	2	3	4
林 齢	10	10	10	10
胸高直径 (cm)	16.9	13.5	14.1	8.7
樹 高 (m)	12.30	10.90	11.50	10.10
皮付き材積 (m ³)	0.13	0.08	0.08	0.03
皮なし材積 (m ³)	0.11	0.06	0.07	0.02

樹種 番号	マンギウム			
	1	2	3	4
林 齢	6	6	6	6
胸高直径 (cm)	18.7	20.1	11.5	23.4
樹 高 (m)	22.00	22.40	19.90	23.80
皮付き材積 (m ³)	0.27	0.28	0.09	0.44
皮なし材積 (m ³)	0.22	0.25	0.07	0.38

表 - 20 調査木の相対成長式の係数及び決定係数

樹種 係数	マホガニー			スンカイ			マンギウム		
	A	B	R2	A	B	R2	A	B	R2
材部	0.0928	1.1732	0.9792	0.0652	1.1735	0.9950	0.1500	1.1089	0.9767
樹皮	0.0097	1.2251	0.9526	0.0126	1.1735	0.9950	0.0240	1.1089	0.9767
枝	0.00002	2.27186	0.95317	0.0644	1.0769	0.9856	0.0046	1.4090	0.9193
葉	0.0047	1.1709	0.9294	0.0410	0.8591	0.5847	0.0001	1.8650	0.9652
根	0.0399	1.1798	0.9769	0.0263	1.1735	0.9950	0.0344	1.1089	0.9767
地上部	0.0506	1.3370	0.9949	0.1640	1.1218	0.9915	0.1328	1.1994	0.9662
全樹体	0.0824	1.3006	0.9925	0.1895	1.1307	0.9922	0.1643	1.1872	0.9677

地下部については、それぞれの林分の調査木から平均的なものと作業の容易さを基準として1本を選出し計測した。この調査木の根の重量と幹部の重量の比率を用いて、それぞれの調査木の根の重量を求めた。根の引き抜きには重機を用い、その際に切れた細根は全量にくらべて著しく小さいことから採取しなかった。

以上の結果から推定した林分あたりのバイオマス量を表-21に示す。

表 - 21 各林分のバイオマス量及び炭素固定量

樹 齡	マホガニー スンカイ			マンギウム			
	20	10	6	6	6	6	6
立木密度(本数/ha)	1116.67	446.43	822.22	1369.05	787.04	876.80	902.78
胸高断面積 (cm ² /ha)	43.91	7.15	25.47	31.94	25.18	32.05	27.61
皮付き樹幹材積 (m ³ /ha)	437.39	47.80	234.96	287.39	233.94	300.42	254.49
乾重量 (t/ha)							
材部	162.95	15.06	94.01	114.68	93.67	120.41	101.82
樹皮	24.06	2.91	15.04	18.35	14.99	19.27	16.29
枝	63.46	8.86	29.39	32.72	30.22	40.04	31.81
葉	8.13	1.76	6.31	6.48	6.71	9.12	6.85
地上部	258.60	28.58	144.75	172.23	145.59	188.83	156.77
根	73.20	6.07	21.56	26.30	21.48	27.61	23.35
全樹体	331.80	34.66	166.31	198.53	167.07	216.44	180.12
全植生	333.49	38.15	167.33	199.55	168.09	217.46	181.14
炭素量 (tC/ha)							
地上部	129.30	14.29	72.37	86.12	72.80	94.42	78.39
全樹体	165.90	17.33	83.15	99.27	83.54	108.22	90.06
全植生	166.75	19.08	83.67	99.78	84.05	108.73	90.57
年成長率							
地上部 (tDw/ha.y)	12.93	2.86	24.12	28.71	24.26	31.47	26.13
全樹体 (tDw/ha.y)	16.59	3.47	27.72	33.09	27.84	36.07	30.02
全植生 (tDw/ha)	16.67	3.82	27.89	33.26	28.02	36.24	30.19
全樹体 (tC/ha.y)	8.30	1.74	13.86	16.55	13.92	18.04	15.01
材積 (m ³ /ha.y)	21.87	4.78	39.16	47.90	38.99	50.07	42.42
葉面積指数	10.90	1.66	5.19	5.33	5.52	7.50	5.63

林分あたりのバイオマス量について、JICAプロジェクトによる環境造林のマホガニーが年平均成長量（全樹体）で16.59（tDw/ha.y）と高い数値であった。これは20年経った現在においても、環境造林が植生の回復とバイオマスの蓄積に成功していることを示している。また、林内には多くのマホガニーの稚樹も確認できたことから、環境造林後は天然更新技術の導入も可能であることを示唆している。また、植栽地の周辺（他樹種の造林地や二次林の存在）の植生状況を反映し、多くの鳥の鳴き声も確認できたことから、環境造林による地域生態系の回復も進行しているようだ。

有用樹種の造成を目的としたスンカイの試験林 (trial forest) では、年平均成長量でベースラインを超えることができていなかった。スンカイの成長習性がこの試験林のある立地に適さなかったと思われる。したがって、環境造林に結うよう樹種を加える場合、立地に適した樹種選定が極めて重要である。今後はこの経験を活かし、サイトの選定に十分な配慮が求められる。

マンギウムについては、モンスーンアジア各地のマンギウム林のデータと比較しても平均的なバイオマス量である。今回は植栽間隔が多少異なる林分で比較調査を行ったが、バイオマス量には大きな影響はなかった。

PT.Musi Hutan Persada社の大規模マンギウム植林については、単一樹種の一斉造林ということで、いろいろな影響が考えられる。産業植林を目的とすることから、7～8年伐期の短期ローテーションであり、収穫による栄養塩類の林外への持ち出しから、土壤劣化が心配される。また、植林地造成前からいた住民が植栽地へ転出し、転出先で移動耕作を行うとすれば、今後、CDM実施上の大きなマイナス評価となる。地域住民への配慮がどのようになされているのか、今後の調査が必要である。前述のようなマホガニー林、あるいはその他の植生がモザイク状にある場合と異なり、単一樹種の大面積植林であることから、生物多様性が低いことも予想された。植栽地と保全地を適正に配置する施業体系の構築が急務であろう。短い間隔で伐採を繰り返すことによる土壤への影響や森林に生息している多くの生物への影響なども、今後は視野に入れた調査研究が今後、重要である。

産業植林であっても、持続可能な土地利用が重要である。PT.Musi Hutan Persada社によるマンギウムの造成が始まり、現在は2～3回目の伐採を行っているとのことだが、持続可能な人工林管理なのかどうか、短期ローテーションによる収穫量の低下があるのか、など継続的に調査していく必要がある。

b. ブナカット周辺の対象樹種造林地の土壌炭素調査

－熱帯地域における人工造林による土壌への炭素固定量の評価－

東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻
八木久義、益守真也、野田恭子、平柳好一、野口 亮

(1) はじめに

熱帯地域で行われている人工造林による炭素吸収量計測手法を開発する一環として、インドネシア共和国南スマトラ州に造成されたマホガニー、スンカイ、及びマンギウム造林地において、それぞれのブナカット周辺地域地表に堆積した落葉落枝層（リター層）及び土壌に固定されている炭素量の測定を行い、検討を加えた。

(2) 調査地及び調査・分析方法

調査地は、インドネシア共和国南スマトラ州ブナカット地区に分布する、かつてわが国の国際協力事業団によって行われた『インドネシア南スマトラ森林造成技術協力プロジェクト』により植栽された20年生のマホガニー (*Swietenia macrophylla*) 造林地、及び同南スマトラ州パレンバン市近郊のPT MUSI HUTAN PERSADA社の INDUSTRIAL FOREST PLANTATION内にある10年生のスンカイ (*Peronema canescens*) と6年生のマンギウム (*Acacia mangium*) 造林地である。

それらの人工林内に設定された20m×20mのサイズの地上部バイオマス調査プロット内において、一定の深さまでの土壌及び地表に堆積したリター層に蓄積された炭素量を明らかにするために試料の採取を行った。

なお、調査期間と調査者は前述のとおりである。

(2) -1 土壌炭素蓄積量測定法

土壌については、各バイオマス調査プロット内で、植栽樹木や林床植生の成長状態、地形、及びリターの堆積状態などが平均的なところ3カ所で、試孔を掘り、断面を調整し層位を区分したのち記載を行い、細根が集散的に分布すると共にリター層からの移入による炭素が主として分布すると考えられる地表から深さ30cm（米国のAIJプロジェクトでもこの深さが採用されている）までに入る全層位から、炭素含有率分析用の土壌及び容積重測定用の円筒土壌を採取した。

また、上述の細根やリターの分解に伴いもたらされる回転の速い炭素が少なく、土壌鉱質物と強く結合した動きの遅い炭素が主として分布すると考えられる深さ30～50cmの部位からも炭素含有率分析用の土壌試料を採取した。

採取した土壌試料は自然乾燥後十分混和し、2mmの円孔篩で礫・細土・根に分別し、それらを秤量した。土壌の炭素については、細土の一部をメノウ乳鉢で磨砕してからC/Nコーダーにより炭素含有率を測定した。

土壌容積重については、現地にて採取時円筒重量を秤量後自然乾燥し、2mmの円孔篩で礫・細土・根に分別し、それぞれを秤量後それらを日本に持ち帰り、定法によりそれ

それぞれの比重を求め容積重を算出した。

なお、深さ30～50cmの部位から円筒を採取する時間や処理する時間に余裕がなく、また、その部分はいずれもその直上の次表層と土色や堅さなどに大きな違いが認められなかったことから、その部分の容積重は直上の次表層の値で代用した。

また、分別した根については、既知の有機物の炭素含有率を乗じることによってその炭素量を算出した。

(2) - 2 リター炭素蓄積量測定法

また、リター層についても、土壤炭素蓄積量測定法と同様に、各プロット内で植栽樹木や林床植生の成長状態、地形、及びリターの堆積状態などが平均的なところ3カ所に、1m×1mの方形区をとり、それらの内側に堆積している有機物を全てかき集めて採取した。現地にて生重を秤量後、日本に持ち帰り、風乾後粉碎し、C/Nコーダーで炭素含有率を測定すると共に乾燥係数を測定し、1m×1mの方形区内に堆積したリター層に含まれる炭素量、ひいては面積当たりのリター炭素蓄積量を算定した。

(3) 結果

マホガニー、スンカイ、及びマンギウム造林地の土壤の断面形態の特徴は以下のとおりである。

なお、表中の腐植含有率は、富む：10～5%、含む：5～2%、乏し：2%以下であり、土性（粒径組成）は、C：埴土、CL：埴壤土、L：壤土、根の分布量（面積比率）は、富む：20～10%、含む：10～5%、有り：5%未満である。

表 - 22 調査土壤の断面形態の特徴

■マホガニー造林地土壤								
番号	層位	深さ(cm)	土色	腐植	土性	構造	水湿状態	根
No.1	A	0-6	7.5YR3/3	富む	(L)C	角塊状	やや乾	含む
	AB	6-24	7.5YR4/4	やや含む	C	弱角塊状	やや乾	含む
	B ₁	24-44	7.5YR4.5/5	乏し	C		潤	有り
	B ₂	44-50	7.5YR5/6	乏し	C		潤	有り
No.2	A	0-6	7.5YR3/3	富む	(L)C	角塊状	潤	やや含む
	B ₁	6-30	7.5YR4.5/5	乏し	C	弱角塊状	潤	含む
	B ₂	30-50	7.5YR5/6	乏し	C		潤	有り
No.3	A	0-4	7.5YR3/3	富む	(L)C	角塊状	やや乾	富む
	AB	4-22	7.5YR4/4	やや含む	C	弱角塊状	やや乾	含む
	B ₁	22-30	7.5YR5/5.5	乏し	C		やや乾	有り
	B ₂	30-	7.5YR5/6	乏し	C		潤	有り

■スンカイ造林地土壌								
番号	層位	深さ(cm)	土色	腐植	土性	構造	水湿状態	根
No.1	A ₁	0-6	10YR3/3	富む	CL	角塊状	やや乾	富む
	A ₂	16-30	7.5YR4.5/5	含む	CL	弱角塊状	潤	含む
	B	30-50	7.5YR5/6	やや含む	CL		潤	有り
No.2	A ₁	0-20	10YR3/3	富む	CL	角塊状	やや乾	富む
	A ₂	20-30	10YR4/5	含む	CL	弱角塊状	やや乾	やや含む
	B	30-50	7.5YR5/6	やや含む	CL		潤	有り
No.3	A ₁	0-10	10YR3/4	富む	CL	角塊状	やや乾	やや富む
	A ₂	10-30	10YR4/5	やや富む	CL	弱角塊状	やや乾	含む
	B	30-50	7.5YR5/6	やや含む	CL		潤	有り
■マンガウム造林地土壌								
番号	層位	深さ(cm)	土色	腐植	土性	構造	水湿状態	根
No.1	A	0-10	10YR4/4	含む	CL	角塊状	潤	やや富む
	AB	10-30	7.5YR5/6	やや含む	C	堅密	潤	含む
	B	30-50	7.5YR5/7	乏し	C		潤	有り
No.2	A	0-8	10YR4/5	含む	CL	弱角塊状	潤	やや富む
	Ag	8-16	7.5YR4.5/2	やや含む	(L)C	堅密	潤	含む
	B ₁	16-30	7.5YR4.5/6	乏し	C		潤	有り
	B ₂	30-50	7.5YR5/6	乏し	C		潤	有り
No.3	A	0-8	7.5YR4/5	含む	L	弱角塊状	潤	富む
	Ag	8-10	7.5YR4/2.5	やや含む	(L)C	堅密	潤	含む
	B ₁	10-25	7.5YR5/6	乏し	C		潤	有り
	B ₂	25-50	7.5YR6/7	乏し	C		潤	有り

マホガニー造林地は、緩やかな波状丘陵地の緩斜面上に1981年に造成されたものである。土壌の形態的特徴としては、腐植（有機物）の集積が進んだ暗褐色の薄い表層（A層）の直下に腐植に汚染された次表層（AB層）が認められ（No.1及び3土壌）、植栽木の成長に伴って腐植の集積が進行しつつあることが窺われる。土壌の粒径組成（土性）はいずれも全層的に細粒質（埴質）で、下層土が明赤褐色を呈することから、米国のSoil TaxonomyによるUltisol、或いはFAO/UNESCOの世界土壌図によるAcrisol系統の土壌であると考えられる。

スンカイ造林地は、平坦な台地状のところに1993年に造成されたもので、土性はいずれも埴壤土であり、全層的に腐植の集積が進んでいる。特に表層から30cm深までは概して一様に腐植が集積しており、わが国の黒色土に似た断面形態を呈する。腐植の集積量が比較的多く、しかも30cm深まで一様なところから、かつての農耕の影響が強く残留し

た結果ではないかと推察される。

マンギウム造林地も平坦地に造成されたものであるが、その地表は地形改変を受けている可能性がある。土性は全体的に埴質で土層が堅密であり、表層直下にグライ斑が認められる (No.2 及び3 土壌) ところから、それらの土壌の表層直下では年間のある時期に一時的な停滞水が生じることが考えられる。

それらの土壌の分析結果は表-23のとおりである。

表 - 23 土壌の深さ別炭素含有率及び蓄積量

■マホガニー造林地土壌						
番号	深さ (cm)	炭素含 有率 (%)	炭素換算量 (g/400cc)	根炭素換算量 (g/400cc)	炭素蓄積量 (t/ha/層位)	炭素蓄積量 (t/ha/30cm) (t/ha/30-50cm)
No.1	0-6	3.03	13.2	1.1	21.4	57.9
	6-24	1.28	6.6	0.1	29.9	
	24-30	0.89	4.4	—	6.6	
	30-44	0.89	4.4	—	15.5	
	44-50	0.80	4.0	—	6.0	
No.2	0-6	3.46	13.1	0.4	20.2	46.2
	6-30	0.92	4.2	0.1	26.0	
	30-50	0.74	4.1	0.1	20.6	
No.3	0-4	3.62	15.2	0.4	15.6	56.5
	4-22	1.19	6.2	0.3	29.3	
	22-30	1.01	5.8	—	11.7	
■スンカイ造林地土壌						
番号	深さ (cm)	炭素含 有率 (%)	炭素換算量 (g/400cc)	根炭素換算量 (g/400cc)	炭素蓄積量 (t/ha/層位)	炭素蓄積量 (t/ha/30cm) (t/ha/30-50cm)
No.1	0-16	3.94	14.6	1.8	65.6	97.5
	16-30	2.09	9.0	0.2	31.9	
	30-50	1.46	6.3	0.1	31.7	
No.2	0-20	3.51	12.8	2.4	76.0	106.6
	20-30	2.46	11.9	0.4	30.6	
	30-50	1.67	8.1	—	40.4	
No.3	0-10	2.91	12.4	0.7	32.7	94.9
	10-30	2.85	12.1	0.3	62.3	
	30-50	1.39	5.9	0.1	30.2	

■マンギウム造林地土壌						
番号	深さ (cm)	炭素含 有率 (%)	炭素換算量 (g/400cc)	根炭素換算量 (g/400cc)	炭素蓄積量 (t/ha/層位)	炭素蓄積量 (t/ha/30cm) (t/ha/30-50cm)
No.1	0-10	2.58	12.3	0.4	31.8	70.3 17.6
	10-30	1.75	7.3	0.4	38.6	
	30-50	0.85	3.5	—	17.6	
No.2	0-8	2.37	9.3	0.4	19.4	62.0 30.2
	8-16	2.13	9.9	0.4	20.7	
	16-30	1.33	6.0	0.2	21.9	
	30-50	1.33	6.0	—	30.2	
No.3	0-8	2.51	11.0	0.2	22.5	55.1 21.3
	8-10	2.34	10.0	0.9	5.5	
	10-25	1.14	5.7	0.1	21.8	
	25-30	0.86	4.3	—	5.3	
	30-50	0.86	4.3	—	21.3	

表層から30cm深までの土壌中に蓄積した炭素量は、マホガニー造林地では46.2～57.9t/ha、平均で約50t/ha、スンカイ造林地では94.9～106.6t/ha、平均で約100t/ha、マンギウム造林地では55.1～70.3t/ha、平均で約60t/haであり、蓄積炭素量はスンカイ造林地、マンギウム造林地、マホガニー造林地の順であった。

また、30cm～50cm深の土壌中の蓄積炭素量も、マホガニー造林地では20.6～21.5t/ha、平均で約21t/ha、スンカイ造林地では30.2～40.4t/ha、平均で約34t/ha、マンギウム造林地では17.6～30.2t/ha、平均で約23t/haであり、スンカイ造林地、マンギウム造林地、マホガニー造林地の順であった。

スンカイ造林地の土壌断面内の根の分布状態は他の二樹種のそれと大同小異であり、造林後の経過年数も他の2樹種と比較して少ないことなどから、スンカイ造林地の土壌はかつて行われた農耕の影響などによりもともと腐植の集積が進んでいたことが想定される。また、30～50cm深の部位に蓄積された炭素量は表層から30cm深までの土壌中に蓄積した炭素量の約30～40%に相当した。

それらの炭素は、更新が頻繁に行われる細根や地表に堆積したりター層などの分解・移入に由来する、いわゆる動きやすい炭素と異なり、土壌鉱質物と強く結合した動きの遅い炭素と考えられるところから、30～50cm深の部位に蓄積された炭素量は、人工造林による土壌中への炭素固定量を算定する際のベースラインを決めるための重要な基礎データを提供するものと思われる。

次に、各調査林分の林床に堆積した落葉落枝からなるリターを分析した結果は、表-24のとおりである。

表 - 24 各林分のリター層の炭素蓄積量

■マホガニー造林地								
番号	質的区分	乾燥前 A (g)	乾燥後 B (g)	B/A	採取リター量 (g/m ²)	炭素量 (t/ha)	総炭素量 (t/ha)	林分平均 (t/ha)
No.1	非木質	509	84.5	0.17	2068	1.71	4.82	
	木質	643	191.3	0.30	2090	3.11		
No.2	非木質	667	125.9	0.19	2378	2.24	3.13	
	木質	249	54.7	0.22	809	0.89		
No.3	非木質	670	124.2	0.19	2078	1.93	3.67	3.88
	木質	436	107.6	0.25	1417	1.75		
■スンカイ造林地								
番号	質的区分	乾燥前 A (g)	乾燥後 B (g)	B/A	採取リター量 (g/m ²)	炭素量 (t/ha)	総炭素量 (t/ha)	林分平均 (t/ha)
No.1	非木質	103	97.9	0.95	588	2.80	2.80	
	木質	-	-	-	-	-		
No.2	非木質	128	90.8	0.71	1418	5.02	5.87	
	木質	98	39.5	0.41	418	0.85		
No.3	非木質	134	124.6	0.93	668	3.10	3.74	4.14
	木質	64	57.2	0.89	143	0.64		
■マンギウム造林地								
番号	質的区分	乾燥前 A (g)	乾燥後 B (g)	B/A	採取リター量 (g/m ²)	炭素量 (t/ha)	総炭素量 (t/ha)	林分平均 (t/ha)
No.1	非木質	334	188.4	0.56	3338	9.42	9.42	
	木質	-	-	-	-	-		
No.2	非木質	206	115.6	0.56	3368	9.44	9.44	
	木質	-	-	-	-	-		
No.3	非木質	291	182.5	0.63	2938	9.23	9.23	9.36
	木質	-	-	-	-	-		

リターは構成要素別に主として落葉類からなる非木質部と落枝からなる木質部に区分して分析した。マンガウム造林地の林床ではほとんど落枝が認められず、また、スンカイ造林地では僅かに採取された程度であったが、マホガニー造林地では落枝の炭素量がリター全体の炭素量の約半分近くを占めていた。樹種特性もさることながら、林令の影響が大きく利いているものと思われる。

リター層の総炭素量では、マンガウム造林地の9.36t/haが最も大きく、次いでスンカイ造林地の4.14t/ha、マホガニー造林地の3.88t/haであった。このように樹種によって大きく異なるのは、樹種特性と共にその落葉落枝などの分解特性も大きく影響していることを窺わせる。

それらのリター層の総炭素量の、表層から30cm深までの土壤中に蓄積している炭素量に対する割合は、マホガニー造林地では約8%、スンカイ造林地では約4%であったが、マンガウム造林地では約15%に相当した。

人工造林による土壌表層へのリターによる炭素固定量を評価する際には、加齢による落枝の増大傾向やリターの分解の難易など、樹種特性を十分に考慮する必要がある。

[参考文献]

- (1) 土壌圏の科学。東京大学農学部編、朝倉書店、1997
- (2) 土壌養分分析法。土壌養分測定法委員会編、養賢堂、1970
- (3) 熱帯の土壌。八木久義、国際緑化推進センター、1994
- (4) 森林立地調査法。森林立地調査法編集委員会編、博友社、1999
- (5) 続熱帯土壌学提要。ブーリング著（菅原道太郎ら訳）、日本イリゲーションクラブ、1981

3) インドネシア国・東カリマンタン・スブル実験林におけるメリナ及び スンカイ造林地及び対照地の炭素固定量調査プロットの選定

住友林業 楠本 洋一
熱帯林再生技術研究組合 井上 敏雄

出張期間：平成14年2月26日～3月4日

調査者：クタイティンバー・インドネシア スブル実験林 松根駐在員（住友林業）
CDM委員会 井上敏雄、大角泰夫委員、楠本洋一調査員（住友林業）

熱帯地域における造林樹種には様々な樹種があるが、近年注目されている樹種としてスンカイ (*Peronema canescens*) とメリナ (*Gmelina arborea*) がある。スンカイはインドネシア原産の樹種で、樹高20～30m、直径70cm程度になる高木であり、インドネシア、マレーシア、タイ等で造林が進められている¹⁾。メリナはインド原産の樹種で、樹高20～30m以上に達し、豊富な種子生産と活着の容易さに加え、旺盛な成長と高い萌芽力のため以前から造林樹種として注目されてきた²⁾。また、両樹種とも、その材質の良さから合板や家具材に広く使用されており、経済価値も高い樹種である。以上のことから、これら2樹種の造林は今後も拡大することが予想され、CDM調査において注目すべき樹種であると考えられる。そこで本調査では、スンカイ及びメリナ造林地における森林バイオマス及びベースラインを明らかにするために必要な試験地の選定を目的とした。

調査対象地には、1991年より住友林業株式会社、住友林業の現地合弁会社であるPT. Kutai Timber Indonesia、インドネシア林業省及び東京大学が共同研究を行っているインドネシア共和国東カリマンタン州スブル地区とした。本試験地では、熱帯林再生の技術開発を目的とした実験林プロジェクトが実施されており、試験地内にはスンカイ及びメリナの植栽地も複数設定されている。なお、実験林プロジェクトは、1991年10月から2001年3月までの10年間、林野庁管轄の「熱帯林再生技術研究組合 (RETROF)」の研究事業に参加し、推進された。本調査においては、森林植生については住友林業株式会社が、土壌については東京大学造林学研究室が担当する。

1. 森林バイオマス

スブル実験林内のスンカイ及びメリナ造林地を対象とした。主要な造林地は図8の通りである。これらの造林地では植栽後継続して成長データを収集しており、その結果を表-25及び表-26に示した。バイオマスを測定する際は、樹齢が若いと個体の成長量に幅が出るため、定常的な成長データを予測することが出来ない。そのため、出来るだけ高齢級の林分において調査すべきであるが、その他に植栽後の年間成長量等も考慮に入れて調査コードラートを設定しなければならない。そこでデータをもとに高齢級かつ平均的な成長を示す林分を選択した結果、スンカイはBlock 83-1、メリナはBlock 10-10においてコードラートの設定を行うことが最も適当と考えられた。Block 83-1は1996年植栽の6年生、Block 10-10は1992年植栽の9年生である。樹高は共に10m前後であるため、それらの

表 - 25 スンカイ成長経過

No.	Area (ha)	Planted Seedlings	Planted Date	Measurement				Remark
				Measured Date	Elapsed Time (days)	Avg. DBH (cm)	Avg. Height (m)	
B10-9	0.20	390	92/11/22	01/12/06	3301	10.5	9.6	
B64-3-3	0.08	163	98/08/09	00/05/09	639	ND	0.8	Mixed Planting
B107-2	0.80	900	01/01/27	01/10/26	272	ND	0.6	
B83-1	2.23	3089	96/01/09			9±	8±	Detail checking
L31-3	2.00	1071	98/08/12	01/10/20	1165	6.3	3.9	
L31-6	0.84	1250	98/09/24	02/01/26	1220	6.0	5.3	Mixed Planting
L33-3	1.25	1343	00/11/09	01/10/23	348	ND	0.5	
L33-4	1.70	2258	00/11/17	01/10/24	341	ND	0.6	

表 - 26 メリナ成長経過

No.	Area (ha)	Planted Seedlings	Planted Date	Measurement				Remark
				Measured Date	Elapsed Time (days)	Avg. DBH (cm)	Avg. Height (m)	
B10-10	0.20	330	92/11/20	02/01/24	3352	13.1	13.4	
B64-3-4	0.09	189	98/08/10	00/05/11	640	ND	0.9	Mixed planting
B115	1.20	1330	00/09/18	01/11/09	417	ND	1.3	
L23	2.15	2300	00/10/28	01/11/20	388	ND	1.7	
L31-5	2.25	4710	98/09/23	01/10/04	1107	9.9	11.8	
L31-6	0.83	1250	98/08/04	02/01/26	1271	12.9	12.0	Mixed planting

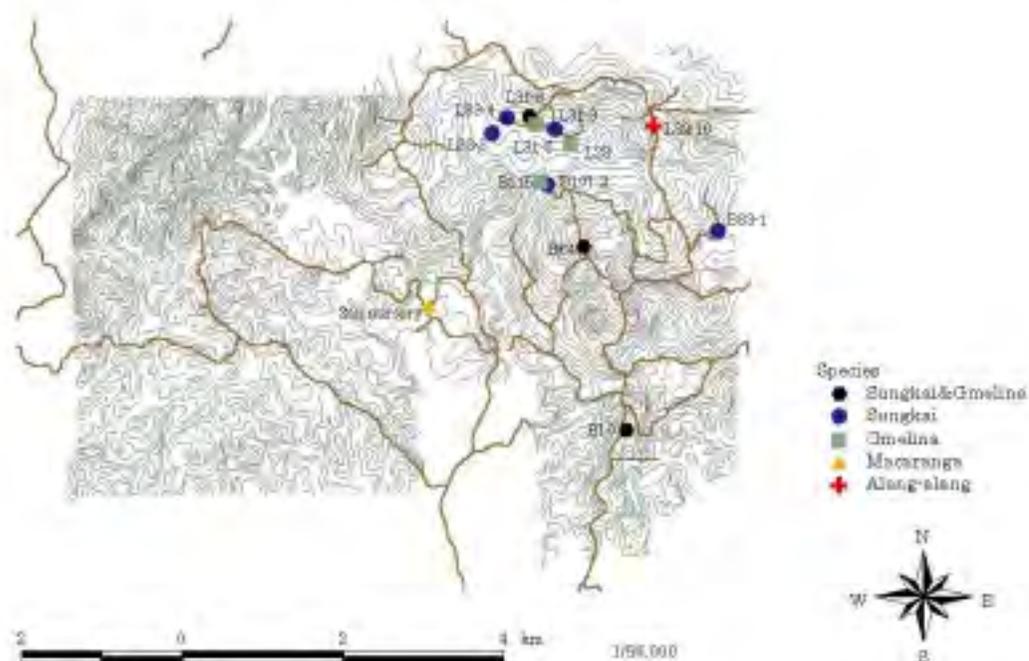


図 - 8 . スプル実験林対象地

造林地において1辺15mの方形区を設定し、調査対象地とした。なお、その際は林縁効果によるバイオマス量の過大評価を避けるために、辺縁部、林冠疎開部分から2～3列を除いてコドラートを設定している。

2002年度の調査ではこれらのコドラートにおいて地上部、地下部のバイオマスを測定する。また、併せてコドラート内に複数の小プロットを設定し、林床植生バイオマス、リター固定炭素、土壤炭素を測定する。なお、具体的な調査方法は森川・太田の方法に準拠するものとする。

2. ベースラインのバイオマス

インドネシアにおける焼畑跡地あるいは山火事跡地における代表的な一次植生として、マカランガ及びアランアランが挙げられる。マカランガは初期成長が早いため、焼畑や山火事等による攪乱後に形成される2次林の優先種であるが、数年で成長は鈍化し、10年程度で更新する（橋本、私信）。本調査においても、4年生のマカランガ林では既に枯死木が散見され、長期的且つ継続的なバイオマスの蓄積は行われないと考えられた。また、攪乱が複数回にわたり起こった場合は、その後にアランアラン草原が形成され、樹木の進入は困難となる。以上のことから、スブル実験林内において、ベースライン調査地として以下の2地点を選定した。マカランガが優先する2次林としては第2苗畑近傍を、アランアランが優先する草地としてLocation 32-10を選定した。第2苗畑近傍並びにLocation 32-10は共に山火事跡地であり、被害後は一切の施業が行われていない。

2002年度の調査では、これらの調査地において地上部のバイオマス並びに土壤炭素を測定する予定である。なお、具体的な調査方法としては、森川・太田の方法に準拠する予定としている。

まとめ

本調査では、過去の経年成長データから適当な造林地を選択し、調査コドラートの設定を行った。2002年度の調査では、これらのコドラートにおいて地上部、地下部、林床植生のバイオマス並びにリター固定炭素、土壤炭素を測定、解析し、報告する予定である。

引用文献

- 1) 森徳典ほか：熱帯樹種の造林特性 第1巻、217-221 (1996)
- 2) 森徳典ほか：熱帯樹種の造林特性 第2巻、244-249 (1996)

7．造林地造成に伴う間接影響の評価

1) リークエージの評価と対処法

森林総合研究所 加藤 隆

CDMの具体的実施に向けた主要な検討課題の一つに、リークエージ (leakage) の取り扱いの問題がある。森林分野でのリークエージの取り扱いについては、IPCC特別報告書第5章において取りまとめがなされているが、内容はそれまでの議論を整理したもので、表現もやや抽象的なものにとどまり、多くの点で検討の余地が残されたものとなっている。リークエージを適切に評価しその対処法を事業計画に組み込む事は、CDM事業に取り組む上での不可欠の要件であり、事業実施のガイドラインやマニュアルの作成に向けた国際的な取り組みの中でさらなる検討が続けられているところとなっている。ここでは、その後の検討の基礎となっているIPCC特別報告¹⁾でのリークエージの取り扱いをめぐる議論の要点をまとめることにする。また、CDM事業を永続的なものにする上で、地域社会への配慮をどのように事業計画に組み込み、実施していくかが重要な要件になるが、これに関連して計画段階での社会経済的影響評価のための主な調査項目を参考のために示す。

a. リークエージの定義

リークエージは、「プロジェクトの活動の結果として、プロジェクトの境界外で予期しない温室効果ガス吸収量の減少ないし増加が生じること」と定義される。例えば、プロジェクトの境界内で焼き畑などを行っていた農民がプロジェクトの外へ移動を余儀なくされ、そこで新たに森林を伐開し焼き畑を行った場合、結果として炭素が排出されることになる。こうした境界外での排出量の増加がリークエージと呼ばれる。

また、プロジェクトでの活動は予期した以上の温室効果ガスの吸収量を獲得するかもしれないが、その場合はプラスのリークエージが生じる。例えば、プロジェクトが土地保全に効果的なアグロフォレストリーや被覆作物の栽培、製材工場の効率性の向上といった新たな土地管理方法や技術の導入を図り、それらがプロジェクトの境界外でも広く採用されるようになっていった場合、温室効果ガスの純吸収量は、当初の予想よりも大きなものとなる。

b. リークエージの評価

1) リークエージの因果関係による分類

リークエージは様々な因果関係のものに分けられる。ここでは森林及び土地利用プロジェクトに最も関連の深いものについて示す。

①市場効果 (market effect)

プロジェクトの活動の結果、供給が減少したり需要が予想以上に増大したりすることによって、需要と供給の均衡が大きく変化した場合に、市場効果が生じる。例えば、大

規模な植林プロジェクトからの木材生産量の増加によって地域の木材価格が下落し、その影響で近隣の植林地が牧草地やその他のバイオマス量の低い土地利用形態に置き換わるようなケースである。

②活動のシフト (activity-shifting)

プロジェクトでの炭素の損失を引き起こす活動が、プロジェクトの境界外での活動に置き換えられた場合に生じる。例えば、プロジェクト内で焼き畑で生計をたてていた農民が、境界外に移住を余儀なくされ、そこで新たに森林を伐開し焼き畑を始めるような場合がこれに該当する。

③国内あるいは国際的政策の変更

そのほか国内あるいは国際的な政策の変更もリーケージの発生につながる場合がある。例えば政府が温室効果ガスの総排出量を減少させるよう政策を採用した場合、その分が規制の緩い国への工場の移転などを通じて他の国々に転嫁される可能性がある。

2) リーケージの潜在性 (potential)

これまでのケーススタディによって、土地利用をめぐる地域の状況の変化 (landscape dynamics) を注視することで、プロジェクトの活動によってリーケージが生じる可能性があるか否か、高いか低いかを推し量るシグナル (signal) が得られることがわかってきている。

①リーケージの潜在性がないか低い場合：

土地利用をめぐる競争が少ないか、ない場合には、プロジェクトの活動の影響が境界外に及ぶことはあまりなく、リーケージの潜在性は最小にとどまる。

②リーケージの潜在性が中庸あるいは高い場合：

土地利用をめぐる競争がみられる場合、あるいは人口増加や輸出用木材の伐採あるいは農産物生産、自給農業、薪炭材不足等、森林減少につながる様々な要素が観察され、それらが相互に関連しあっているような状況の下では、プロジェクトの影響はその活動の範囲を超えて広がることになる。

c. リーケージのモニタリング方法

リーケージのモニタリング方法を定める上での重要な要素として、モニタリングの範囲の設定と指標の選択の2つがあげられる。

1) 対象地域の設定

リーケージのモニタリングは、プロジェクトの活動が行われている範囲を越えたより広い地域が対象となる。モニタリングの境界 (boundary) として設定される可能性があるのは、プロジェクトレベル、地区／地域レベル、世界レベルの3つである。

○プロジェクト活動の境界

土地利用に競合がないかごくわずかな場合、プロジェクトの影響が境界を越えて広がることはほとんどないため、モニタリングの範囲はプロジェクトの境界内に限られることになる。

○地区／地域的境界

土地利用に競合がみられるか、他地域への移住や人口増加、薪炭材採取等の要素が土地利用に影響を与えているような状況の下では、プロジェクトの影響は直接的な活動の境界を越えて広がる可能性があり、モニタリングの範囲はプロジェクトの境界を越えた地区あるいは地域に広げられることになる。

○世界市場の境界

輸出用の木材の伐採や農産物生産を行っているプロジェクトが生産活動を制限したような場合、プロジェクトは需要を低下させることが出来ないため、供給と需要の均衡にアンバランスが生じその結果として、リーケージが発生することになる。このような場合、地域の製品生産やフローに関する調査、あるいは工場の調査をすることによって、リーケージをモニタリングすることが出来る。

2) 鍵となる指標 (key indicators) によるモニタリング

リーケージをモニタリングする方法として、土地利用や管理方法に変化をもたらす需要の動きを表す鍵となる指標（例えば木材、薪炭材、耕作地に対する需要）を選定し、その変化を監視するやり方が提案されている。ここでの鍵となる指標は需要される (demanded) 生産物のアウトプットである。

代替的な方法を提供することなしに、アウトプットを減少させたり資源に対するアクセスを制限するプロジェクトの場合、プロジェクト内に居住する人々が、他の資源を求めて移動するためにリーケージを生じることになる。また、伝統的な伐採作業を、環境への影響を軽減した伐採作業に置き換えるプロジェクトの活動がリーケージを生じているか否かをモニタリングする際に、木材のアウトプットが指標となるであろう。プロジェクトからの木材のアウトプットが減少しているのに、価格水準や需要に変化がないような場合、プロジェクトからの木材の減少分を補うために他の地域で追加的な伐採が行われるためリーケージが生じる可能性がある。このやり方だと、世界市場や近隣のコンセッションにおける伐採の強度を追跡する必要がなくなり、代わりにアウトプットを指標としてリーケージの潜在性をモニタリングすることができる。

表-27は、炭素排出をもたらす需要に対するプロジェクトの取り組みに基づいて、土地利用変化及び林業に関連したプロジェクトの活動から生じるリーケージをモニタリングする指標を示したものである。

表 - 27 リークージに関連する要因と可能なオプション

プロジェクトの構成要素	置換される活動	リークージの目安となる状態	リークージの可能性	管理の戦略
排出の回避				
森林の保全	伝統的な木材伐採活動	木材のアウトプットの減少又は停止	高い	境界地域におけるプランテーションなど代替木材源の開発、バッファー地域における持続可能な伐採の導入、プロジェクトのGHG利益（吸収量）の再計算
	農地への転換	農業生産の減少	高い	持続可能な林業等代替収入源の創出、農業生産性向上の取り組みの追加
持続可能な林業、低影響伐採、天然林管理	伝統的な木材伐採活動	短期間におけるアウトプットの減少と、長期間におけるアウトプットの増大	普通	短期間におけるGHG利益（吸収源）の再算定、代替木材源の開発
		木材のアウトプットの減少	高い	GHG利益（吸収源）の再算定
炭素吸収				
アグロフォレストリー、土壌保全、植林地、防風林の改良	現在の農業活動	アウトプットの増大と近隣の土地開発のための資源の無統制	普通	近隣の森林保護、持続可能な林業の実施
	薪炭材の採取	共有財産資源、サイト外の市場における需要	普通	移転可能な技術の採用
農業生産性の向上	現在の農業活動	近隣の土地開発のための資源の無統制	普通	近隣の森林保護、持続可能な林業の実施

プロジェクトの構成要素：現在までにLULUCFプロジェクトで実施された活動。

置換される活動：これらの活動は、典型的に農産物、薪、及び木材を生産する。これらの活動の結果による、必要な資源のアウトプットやアクセスの減少は、リークージを生じさせる。

リークージの目安となる状態：リークージに対して脆弱になる可能性のある構成要素の状態。代替の提案なしに資源に対するアクセスが減少するプロジェクトは、リークージを生じ易い。資源のアウトプットに対する中立的な影響があるプロジェクトが拡大するか、代替を提供する場合、リークージを避けることが出来る。

リークージの可能性：短期または長期におけるプロジェクトのリークージの可能性（普通又は高い）の評価に関する提案。指標は定性的であるため、これらの名称の厳密な定義はない。「高い」は、緩和策がない場合、リークージが生じる。木材が最も重要な資源である場合、リークージは短期間又は長期間生じる。例えば、持続可能な林業プロジェクトは短期間において木材のアウトプットを減少させるが、結局プロジェクトサイトは、若木がダメージを受けないため、伝統的な伐採方法に比べ高い生産性を持つことになる。

管理の戦略：現在のプロジェクトにおいて、リークージの低減又は回避の可能性のある戦略の提案（あるケースではプロジェクトの影響の再算定になる）。

d. リークージへの対処オプション

リークージに対処するために次の2つのアプローチが採用ないし提案されている。一つは、プロジェクトの計画の中にリークージへの対応策を組み込む、あるいは温室効果ガスの純吸収量を再計算するという、プロジェクトレベルでの対処法である。もう一つは、地域あるいは国家レベルでのベースラインを開発するか、あるいはプロジェクトの類型ないし特質にあわせてリスク係数を設定するといった、マクロレベルでのアプローチである。前者のプロジェクトレベルでの対処法の実行性が低いと考えられる場合に採用することが提案されている。

1) プロジェクトレベルのアプローチ

もしプロジェクトがリークージを生じやすいものであれば、計画時においてその可能性を確認し、追加的な活動を組み込むことが出来る。また、プロジェクト開始後にリークージが生じている証拠が得られた場合、リークージを軽減するような追加的な活動を行うか、あるいはそれを監視し温室効果ガスの純吸収量の再計算を行うことになる。

①プロジェクトの計画に関連した要素

プロジェクトとその周辺地域の社会経済条件あるいは自然条件の違いによって、リークージを回避する上での助けとなるような、いくつかの要素を見いだせることが明かになってきている。

- ・その一つに、プロジェクトの活動と温室効果ガスの吸収の維持に対するインセンティブを生むような社会経済的利益を地域住民に対して提供することがあげられる。
- ・また、周辺の住民がまねることが出来るような移転可能な技術を採用し、プロジェクトでの温室効果ガスの吸収につながる活動が周辺地域にも広がるよう仕向ける、といったことがあげられる。
- ・さらに、複数の構成要素からなるプロジェクトの活動もリークージの回避の助けとなる。様々な要素を組み合わせることで、土地利用の変化を引き起こす様々な需要に対処することが出来るようになる。

②温室効果ガスの純吸収量の再推計

プロジェクトによって、リークージは必ずしも事業開始当初から回避出来るものでなく、また追加的な活動によっても軽減出来ない場合がありうる。このようなケースでは、温室効果ガスの吸収量の再計算がなされている。

プロジェクトの実施者が、予期されたアウトプットの不足分を定量化することが出来るならば、リークージの発生量も定量化することが出来るであろう。その場合、プロジェクトの評価者は、アウトプットの減少分を補うために、森林のどれくらいの面積が伐採され耕作地に転換されるかを計測しなければならない。

2) マクロレベルのアプローチ

プロジェクトレベルでのアプローチに対する代替案として、いくつかのマクロレベル

のアプローチが提案されている。これには、経験に基づくセクター (sectoral)、国家 (national)、あるいは地域 (regional) レベルでのベースラインの推計、リーケージのリスクに関する補正係数の算定とそれに基づく温室効果ガスの純吸収量の算定結果の調整、が含まれる。

①国家及び地域ベースライン

ベースラインの対象をより広い地理的範囲に拡大することにより、リーケージは内部化する。そのために、土地利用の変化と管理に関する国家、地域、セクターレベルのベースラインの設定が提案されている。このアプローチは、開発の権利が取引されるという概念に基づくものである。こうした取引が実際に行われれば、開発が許可されている森林における炭素吸収のサービスが、森林を開発する代わりに売却されることになる。

②危険プレミアム及び補正係数

リーケージを定量化する複雑さを克服するために提案されているもので、プロジェクトの推計結果はこの係数を用いて補正される。これらの係数は地域あるいは国家レベルにおいて、プロジェクトの類型に応じて設定される。この危険プレミアムあるいは補正係数によって、プロジェクトが主張できる温室効果ガスの吸収量は推計値の一部ということになる。すなわち、温室効果ガスの純吸収量の一定の割合がリーケージのリスクに備えた緩衝分 (buffer) として留保されるのである。

e. リーケージを伴わない社会経済的影響の評価と対策

プロジェクトの活動は、プロジェクトの境界内あるいは周辺地域に対して予期しない直接的、間接的影響を及ぼす可能性があり、その中にはリーケージを伴わない事柄も多く含まれる。プロジェクトの実施主体は、事業を持続的なものにするために、こうした周辺地域に対するリーケージを伴わない影響に関しても、事前にその内容と可能性を評価し、その特質と重要性に照らしながら効果的な対応策をあらかじめ計画に組み入れることが求められる。また、事業開始後、計画になかった影響が表れてきたような場合においても、その内容を把握し、必要に応じて的確に対応する必要がある。

プロジェクト活動の周辺地域への影響には、社会的側面と環境的側面の2つがあるが、ここでは前者の社会経済的側面に関して、事前評価の項目としてどのような事柄を含めるかを検討する参考として、森林分野の開発援助協力プロジェクトを計画し実施する際の地域社会に対する影響評価のチェックリストを表-28に示す。

また、地域社会に対する間接的影響は、その地域の社会経済的特性と密接に関連しており、対応策を立案・実行する上でこうした地域特性に十分配慮する必要がある。参考として、世界資源研究所のレポートから、森林、土地利用プロジェクトにおける間接影響に関する注意点・対策を表-29に示した。

表 - 28 事前調査におけるスコーピング用チェックリスト（社会環境）

1. 該当する開発行為：伐採、人工造林、天然更新、育苗、治山、アグロフォレストリー 等

環境項目 (大項目) (中項目) (小項目)	環境インパクトの程度 (○印が該当)					判断の内容
	A	B	C	D	P	
1. 社会生活						
(1) 住民生活						
1. 計画的な移住						
2. 非自発的な移住						
3. 生活様式の変化						
4. 住民間の軋轢						
5. 先住民・少数部族・遊牧民						
(2) 人口問題						
1. 人口増加						
2. 人口構成の急激な変化						
(3) 住民の経済活動						
1. 経済活動の基盤移転						
2. 経済活動の転換・失業						
3. 所得格差の拡大						
(4) 制度・習慣						
1. 森林利用権の再調整						
2. 組織化等の社会構造の変更						
3. 既存制度・習慣の改革						
2. 保健・衛生						
1. 農薬使用量の増加						
2. 風土病の発生						
3. 伝染性疾病の伝播						
4. 残留毒性(農薬)の蓄積						
5. 廃棄物・排せ物の増加						
3. 史跡・文化遺産・景観等						
1. 史跡・文化遺産の損傷と破壊						
2. 貴重な景観の喪失						
3. 埋蔵資源への影響						

注：1. 記号の意味

A：重大な悪影響がある

B：重大な悪影響があると考えられる

C：重大な悪影響はない

D：不明

P：好影響（ポジティブ・インパクト）がある

2. 判断の内容欄には「解説」を参考に予想される影響を記述する。

出所：国際協力事業団、「林業開発調査に係わる環境配慮ガイドライン」、平成5年3月、59頁

表 - 29 間接影響に関する注意点・対策（森林・土地利用プロジェクト）

プロジェクト活動	土地利用変化を引き起こす要因	間接影響を示すシグナル	間接影響を防ぐ方法
アグロフォレストリ、改良型農業、土地保全、植林地及び防風林	自給自足作物や家畜のための土地需要	生産増加と隣接地での自発的開発	隣接地での保護、持続的林業の実施
	燃料木材の需要	共有地での薪炭林資源、遠隔地市場での需要	薪炭林経営技術の移転
森林保全	自給自足作物のための土地需要	農産物の減収	代替収入源の確立、農業生産部分の追加
	地域的な木材需要	木材生産の減少・停止	代替木材資源の開発－例えば、造林地、緩衝地帯での持続的な生産
	木材の輸出需要	同上	同上
	商品作物のための土地需要	農産物の減少短期間の木材生産の減少	持続型林業のような代替収入の確立
持続性林業、影響の少ない伐採、天然林管理	地域的な木材需要		短期間におけるプロジェクト影響の再評価、代替木材資源の開発－例えば、植林地
	木材の輸出需要	同上	短期間におけるプロジェクト影響の再評価、高価格で売れる規格木材の生産
農業生産性の向上	商品作物のための土地需要	隣接地での自発的開発	隣接地での保護、持続的林業の実施
高効率の燃料ストーブ	燃料木材の需要	なし	なし

出所：（財）地球環境センター、「温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査実施マニュアル（Ver.2）」、平成12年8月、7頁（原資料は、World Resources Institute（1998）Climate, Biodiversity, Forests）

参考・引用文献

- 1) Watson, Robert T. and others (eds.), 2000 : IPCC Special Report, Land Use, Land-Use Change, and Forestry, IPCC, Cambridge University Press
- 2) 山形与志樹、山田和人編著、「京都議定書における吸収源プロジェクトに関する国際動向」、環境庁国立環境研究所、平成12年10月
- 3) （財）地球環境センター、「温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査実施マニュアル（Ver.2）」、平成12年8月
- 4) 国際協力事業団、「林業開発調査に係わる環境配慮ガイドライン」、平成5年3月



南スマトラJICAプロジェクトで造成された
20年生マホガニー人工林



Musi Hutan社の6年生アカシア・
マンギウム試験林



Musi Hutan社、10年生スンカイ試験林で設定された1m x 2mコドラートでの林床植生の採取



マホガニー伐倒木の長さの測定と玉切り部位のマーキング



玉切りした丸太の重量測定（マホガニー）



枝、葉など器官の分別準備（スunkai）

パツホーによる根のつり上げ（アカシア・マングローブ）



根の掘り起こし準備作業（マスカイ）



枝、葉の分離と整理（マスカイ）





洗浄後の根の重量測定（アカシア・マンギウム）



1m×1mコドラートでの有機物層（リター）の採取（マホガニー）



マホガニー林の土壌断面

容積重測定試料採取