

CDM植林促進技術開発事業

平成14年度実行報告書

平成15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。

本年12月にイタリアで開催予定の第9回締約国会議（COP9）では、吸収源CDM植林事業実施に向け、詳細な国際ルールが決定されることになっている。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ますます急務となっている。

本事業は、林野庁の補助事業として平成13年度から2年間にわたって（財）国際緑化推進センターが実施したもので、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等の技術の開発を目的としている。本年度は、この事業が2年間で終了することとなったため、これまでにインドネシア、タイ、アメリカ合衆国などで実施した現地調査結果などに基づいて、CDM植林事業に関する収集情報、森林生態系による炭素吸収量等の計測手法などのとりまとめを行った。

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、調整班の原田隆行 課長補佐、香月英伸 国際研究連絡調整官、同班連絡係の松本純治 前係長および武藤信之係長の各位には深く感謝を申し上げます。

平成15年3月

（財）国際緑化推進センター
理事長 塚本隆久

目 次

まえがき

1. 目的	1
1-1 CDM植林促進技術開発委員会及び小委員会	2
2. CDM吸収源事業を巡る世界の論点	
1) CDM吸収源に対する各国の姿勢	4
2) 森林の定義	5
3) 新規植林・再植林 (AR) の定義	5
4) アカウンティング方法	6
5) その他の問題点	8
6) FACE基金の活動	8
3. 植林地の炭素吸収量計測手法の開発	
1) 生態系における固定炭素の種類とAR-CDMにおける測定の必要性	9
2) 造林地におけるバイオマス測定法	10
3) 造林地の堆積リター及び土壌炭素測定法	27
4) 造林地固定炭素量測定法の今後の方向	36
4. 森林生態系炭素蓄積量の測定	
4-1 CDMプロジェクトに向けた森林生態系炭素蓄積量の解析計画	37
4-2 タイ国ランパン県のMae Chang Plantationにおけるチーク (<i>Tectona grandis</i>) 林のバイオマス調査	
1) 調査概要	41
2) 造林木及び植生のバイオマス調査	42
3) リター及び土壌炭素バイオマス	48
4) ベースラインの測定	49
4-3 インドネシア・東カリマンタン州、スンカイ (<i>Peronema canescens</i>)、メリナ (<i>Gmelina arborea</i>) 林、ベースライン植生 - アランアラン (<i>Imperata cylindrica</i>) 草地及びマカラング (<i>Macaranga spp.</i>) 二次林の炭素固定量調 査	
1) 調査概要	51
2) 対象樹種造林地の樹木・植生バイオマス調査	53
3) リター及び土壌炭素、ベースライン植生土壌炭素調査	57
4) ベースライン植生による炭素固定量調査	66

4-4	インドネシア・中部ジャワ、チーク (<i>Tectona grandis</i>)、メルクシマツ (<i>Pinus merkusii</i>)、アルビジア (<i>Paraserianthes falcataria</i>) 林の炭素固定量解析	
1)	調査概要	68
2)	樹木・植生のバイオマス調査(概要)	69
3)	土壌及びリターバイオマス調査	73
4-5	インドネシア・ロンボック島の「インドネシア・日本友好の森」におけるインドセンダン (<i>Azadirachta indica</i>)、タガヤサン (<i>Cassia siamea</i>)、マルバシタン (<i>Dalbergia latifolia</i>) 及びベースライン植生- <i>Lantana camara</i> 灌木林-のバイオマス調査	
1)	調査概要	79
2)	対象樹種造林地及びベースライン植生の造林木・林床植生バイオマス調査	80
3)	対象造林地及びベースライン植生の土壌炭素・リター固定炭素調査	86
4)	ベースラインの測定結果	88
4-6	平成13年度測定 of 森林生態系バイオマス炭素の概要	90
5.	CDM事業における間接影響の評価と対処法	
1)	リーケージの定義	94
2)	リーケージの評価	94
3)	リーケージを伴わない社会経済的影響の評価と対策	97
6.	CDM植林促進技術の開発	
6-1	植林活動による炭素固定とCDM	102
6-2	施肥による造林木成長促進効果の判定	106

参考資料

- 1) Assessment on the potentiality of reforestation and afforestation activities in mitigating the climate change – Gintings Report –
- 2) CDMの様式及び手続き (林野庁訳より抜粋)
 - A- 定義、G- 適格性の確認と登録、H- モニタリング、I- 検証及び認証、J- 認証された排出削減の発行、Appendix B- プロジェクトデザイン文書、Appendix C- ベースライン及びモニタリングの方法論についてのガイドラインを設定するための付託事項

図表リスト

第3章

表 3 - 1	Diameter distribution (直径分布野帳).....	12
表 3 - 2	Diameter (直径野帳)	15
表 3 - 3	Fresh weight (生重量野帳)	16
表 3 - 4	Dry weight (乾重野帳)	18
表 3 - 5	Biomass in Grassland (バイオマス野帳)	23
表 3 - 6	リター・土壌試料採取用野帳 (Field note for litter and soil sampling)	34
表 3 - 7	リター分析表 (litter analysis table)	35
表 3 - 8	土壌分析表 (soil analysis table)	35
図 3 - 1	Felling a sample tree and cutting into logs	13
図 3 - 2	Clearing small branches from boughs and separating them into twigs and leaves, then weighing them by various spring scales	14
図 3 - 3	Setting a plot and cutting all plants in it. Separating them into grasses, shrub leaves and shrub stems.	22
図 3 - 4	Example of the allometric relation between DBH and Total Dry Weight of stem (TDW stem) obtained from sample trees	26
図 3 - 5	100ccの採土円筒による深さ別土壌採取例の模式図.....	33

第4章

表 4 - 1	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.....	39
表 4 - 2	本プロジェクトで対象とする候補樹種と調査候補地域.....	40
表 4 - 3	対象樹種・調査対象造林地と炭素固定量解析実施計画.....	40
表 4 - 4	タイ・チーク林の調査林分の概況.....	41
表 4 - 5	DBHと樹高の関係式.....	43
表 4 - 6	調査林分の立木密度、DBH、および樹高.....	43
表 4 - 7	No.77プロットでの伐倒試料木の詳細	44
表 4 - 8	No.80プロットでの伐倒試料木の詳細	45
表 4 - 9	No.77プロットでの伐倒試料木より作った相対成長式の係数及び決定係数	45
表 4 - 10	No.80プロットでの伐倒試料木より作った相対成長式の係数及び決定係数	46
表 4 - 11	各林分のバイオマスの諸量、炭素固定量、および葉面積示数.....	47
表 4 - 12	ベースラインの概要.....	49
表 4 - 13	スブル調査林分の概況.....	51
表 4 - 14	胸高直径と樹高の関係式と式を利用した推定樹高.....	54
表 4 - 15	調査林分の状態.....	54
表 4 - 16	調査林分の林床植生の乾重量.....	54
表 4 - 17	伐倒調査木の大きさ等.....	55

表 4-18	調査木の相対成長式の係数および決定係数	55
表 4-19	各林分のバイオマス量および炭素固定量	56
表 4-20	調査土壌の断面形態の特徴	59~60
表 4-21	土壌の深さ別炭素含有率および蓄積量	62~63
表 4-22	各林分のリター層の炭素蓄積量	65
表 4-23	調査林分の林床植生の乾重量	66
表 4-24	中部ジャワ調査林分の概況	68
表 4-25	調査林地の概要	69
表 4-26	調査林分の諸数値	70
表 4-27	各林分生態系のバイオマス量、炭素量	71
表 4-28	調査土壌の断面形態の特徴	75
表 4-29	土壌の深さ別炭素含有率および蓄積量	77
表 4-30	各林分のリター層の炭素蓄積量	78
表 4-31	ロンボック島調査林分の立木密度、およびDBH	81
表 4-32	<i>C. siamesa</i> 林分での伐倒試料木の詳細	83
表 4-33	<i>A. indica</i> 林分での伐倒試料木の詳細	83
表 4-34	<i>D. latifolia</i> 林分での伐倒試料木の詳細	84
表 4-35	<i>C. siamesa</i> 林分での伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数	84
表 4-36	<i>A. indica</i> 林分での伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数	85
表 4-37	<i>D. latifolia</i> 林分での伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数	85
表 4-38	各林分のバイオマスの諸量、炭素固定量、および葉面積示数	86
表 4-39	ベースラインの詳細	88
表 4-40	平成12年度の調査結果の概要	88
表 4-41	スマトラ島試験林分の概要	90
表 4-42	各林分のバイオマス量および炭素固定量	91
表 4-43	土壌の深さ別炭素含有率および蓄積量	92
表 4-44	各林分のリター層の炭素蓄積量	93
図 4-1	DBHと樹高の関係(左がプロット77、右がプロット80)	42
図 4-2	伐根した根より作成した、根元の直径とバイオマスの関係	44
図 4-3	スブル実験林対象地	52
図 4-4	胸高直径と樹高の関係(上からメリナ、スンカイ)	53
図 4-5	いろいろな人工林の胸高断面面積合計と地上部乾重の関係	72
図 4-6	伐根した根より作成した、根元の直径とバイオマスの関係(上から <i>C. siamesa</i> , <i>A. indica</i> , <i>D. latifolia</i>)	82

第5章

表 5-1	リーケージの発生理由と発生地域	96
表 5-2	間接影響チェックリスト	98

表 5 - 3	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）	99
表 5 - 4	インドネシアにおける森林区レベルでの持続可能な植林事業の基準と指標（社会経済的要素）	100

第 6 章

表 6 - 1	Carbon Accumulation in man-made forest and base line (BL)	105
表 6 - 2	Specification of compost applied in test trial at Sekaroh N.F.	107
表 6 - 3	両試験区内の対象樹種の樹高レンジ	109
表 6 - 4	Number and species of trees in the control plot	111
表 6 - 5	Number and species of trees in the compost plot	111
図 6 - 1	スカロー造林地と施肥試験地	108
図 6 - 2	General location of test plots in the Lombok plantation, planted in 1998 and 2000	109
図 6 - 3	Seedling arrangement in the control plot	110
図 6 - 4	Seedling arrangement in the compost plot	110

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Project Design Document様式等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てきた。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、施行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してきた。

本年度は、CDM吸収源事業に対する先進国および開発途上国の考え方の解析、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の提案、プロジェクトの環境影響解析を行った。また、造林木の成長促進技術開発試験を開始した。

当初、本事業は5カ年計画で進められてきたが、CDMを含む国際的な炭素吸収源プロジェクトの枠組みの急速な変化に伴って2カ年で終了し、発展的に森林総合研究所が主宰する関連プロジェクトに移行することとなった。

1 - 1 CDM植林促進技術開発委員会及び小委員会

1) 委員会の構成

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	大角 泰夫	(財)国際緑化推進センター 顧問
委員	太田 誠一	京都大学大学院 農学研究科森林科学専攻 教授
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	平野 篤	東京電力(株)技術開発研究所 省エネ・環境技術グループ主任研究員
委員	森川 靖	早稲田大学 人間科学部 教授 (兼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 顧問
委員	八木 久義	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授 (10月より) 三重大学 生物資源学部 教授
委員	脇 孝介	前(財)国際緑化推進センター 顧問

2) 測定法小委員会の構成

委員長	森川 靖	早稲田大学 人間科学部 教授
委員	大角 泰夫	(財)国際緑化推進センター 顧問
委員	森 徳典	(財)国際緑化推進センター 顧問

他に関連する委員及び調査員

3) 委員会・小委員会の開催

第1回委員会 平成14年5月30日(木)

於：ホテルエドモント 千鳥の間

佐々木委員長、天野、井上、大角、太田、加藤、平野、森川、森、八木、脇委員

オブザーバー：住友林業 楠本調査員

林野庁研究普及課、計画課

討議事項：委員会構成、平成13年度事業実行結果、平成14年度事業実施計画、COP及びSBST Aの今後の予定と検討事項

第2回委員会 平成15年1月10日(金)

於：林野弘済会 会議室

井上、大角、太田、加藤、平野、森川、森、八木委員

オブザーバー：住友林業 楠本調査員

林野庁研究普及課、計画課

討議事項：平成14年度事業実行状況、平成14年度事業報告、本事業の終了と新規事業の開始見通し（佐々木委員長急用のため、八木委員が代理座長）

第1回測定法小委員会

平成14年7月4日（木）

於：国際緑化推進センター 研修室

森川委員長、大角、森委員、佐藤、平塚研究員（早稲田大学）

討議事項：チーク計測手法の討議、必要な林齢の選定、ベースライン測定法と候補地の検討

第2回測定法小委員会

平成14年10月18日（金）

於：国際緑化推進センター 研修室

大角、森委員、太田委員（電話確認）

討議事項：中部ジャワ測定データの解析手法、造林地成長促進方法の協議

2. CDM吸収源事業を巡る世界の論点

森林総合研究所 天野 正博

京都議定書12条のクリーン開発メカニズム（CDM）に吸収源を加えるかどうかは、条文自体には排出量削減だけが明記され吸収源については触れられていなかったこともあって、大きな議論になっていた。吸収源を加えることによって排出源対策がおろそかになるとの危惧を抱く国々はCDMに吸収源を加えることに反対し、安価な費用で当面は効率的に大気中の炭素を固定する技術効果を重視する国々は、成長が早く森林造成や森林管理のための人件費が安い熱帯途上国での吸収源プロジェクトを12条に加えるように主張していた。COP6再開会合及びCOP7を経て作られたマラケシュ合意において、第1約束期間についてはCDM吸収源事業は新規植林、再植林に限って認めるという合意がなされた。しかし、CDM吸収源事業については、2000年に出された「土地利用・土地利用変化・林業に関する特別報告書」には詳細に記載されたものの、気候変動枠組条約機構会合（COP）では、その帰趨がはっきりしていなかったため、CDM吸収源事業の実施方法についての議論はされていなかった。そこで、SBSTA16からCDM吸収源事業の実施要領についての議論が開始され、今冬ブラジルで開催されたワークショップでは、CDM吸収源事業に対し表明されている各国意見に基づいて、論点が明らかにされた。

1) CDM吸収源に対する各国の姿勢

CDM吸収源事業に対する現時点での各国の姿勢は以下のように別れている。

- (a) 積極的にCDM吸収源事業を推し進めることを考えているグループ。これの中心はカナダ、日本であり、できるだけ緩やかな規制の中でCDM吸収源事業が実施できることを意図して発言している。
- (b) 第1約束期間においてCDM吸収源事業が採択された以上は、それを途上国の環境保全活動に資するように活用しようというグループ。EUが中心でありCDM吸収源事業が十分に環境に配慮したものになるよう、厳しい制約を課すことを狙っている。
- (c) CDM吸収源事業により、自国への投資を呼び込もうと意図しているグループ。劣化した流域の回復にCDM事業を活用して森林の復興をするため、CDM吸収源事業に対し前向きな姿勢を示しており、インドネシア、ボリビア、コロンビアなどが含まれている。
- (d) CDM吸収源事業が自国の土地利用計画を束縛するようになることを憂慮しているグループ。今後もアマゾン地域の森林を伐採し、その跡地に農地の拡大を推し進めるブラジルがこれに相当する。従って、実質的にCDM吸収源事業が実施不可能になることを狙っている。
- (e) 吸収源事業は排出削減目標の抜け穴になるとしてCDM吸収源事業が認められれば、その分、排出削減が遅れるのと同時に、大規模な産業植林が熱帯の生態系や農村集落を破壊する恐れを懸念するNGOグループ。CDM吸収源の議論が

始まった当初は京都議定書での採用に対し強硬な反対姿勢を示していたが、途上国の中でも貧しい国々がCDM吸収源事業を採用したがつている現状を見て、最近では明確なスタンスを示さなくなっている。

- (f) 排出削減目標を掲げている先進国に対し経済的に有利な立場に立つとともに、排出削減に関連したCDMプロジェクトによって、エネルギー分野などでの優れた技術移転を図ろうとしているグループ。中国が中心であるが、こうしたグループはCDM吸収源事業が増加すれば、その分、CDM排出削減プロジェクトが減少して狙いが達成できなくなることから、CDM吸収源事業の成立を困難にさせようとの意図で議論に参加している。
- (g) 将来、途上国にも排出削減目標が設定されることを想定し、その時には森林管理や新規植林による吸収源活動を活用する可能性があるため、CDMでは吸収源活動を積極的に導入したくない国々。タイなどの中進国がこれに相当する。

以上のように様々な政治的意図を持ちながらCDM吸収源に関する議論が進められているため、ブラジルでのワークショップにおいても各グループの論点は大きく乖離した部分が多く、ワークショップ自体も6月に開催されるSBSTA18に向けた論点整理のためのペーパー作りが目的となっていた。ただ、各国のCDMに対するスタンスが大きくかけ離れているため、交渉はCOP9までもつれ込むであろう。

2) 森林の定義

森林の定義については議定書3条3項、4項に適用された定義がそのままCDMにも当てはめられることで、ほぼ同意が得られつつある。プロジェクト対象地域において成立した森林部分に適用することについては、技術的にも経済的にもそれ程難しいことではない。しかし、1990年以前の森林の有無をこの基準で確定するという点では、現時点でも定量的な森林の定義がデータ整備の遅れている途上国で実施可能かどうか危ぶまれる。現行の議論で森林の定義が決まったとすると、下記のような対応が考えられる。

- (a) タイ、マレーシア、インドネシア、インドといった一部の国では、衛星写真から作成した粗い森林分布図をもっているため、こうした地図から便宜的にプロジェクト対象地が森林の外にあるのか、内にあるのかを判断する。
- (b) 部分的に撮影されている空中写真がある場合は、それを衛星データのグランドトゥールースとして分解精度を上げる。なお、プロジェクト対象地域はそれ程大きくはないので、教師付きの詳細な土地利用区分もある程度までは実施可能である。

3) 新規植林・再植林 (AR) の定義

ARの定義についてはほぼマラケシュ合意のARに準ずることになりつつあるが、基準年を3条3項と同じく1990年とするのか、2000年とするのか、あるいはプロジェクト開始の10年前とするのかで議論が分かれている。先に述べたように途上国では国レベルでの森林分布の情報は乏しく、そのほとんどが衛星写真を用いてスポット的に作成されたも

のが多い。地上調査も併用してシステムの的に作られたものはほとんど無い。このため、直近の2000年を基準年とすれば現行の土地利用から遡ることも難しくなく、クロスチェックも含めて精度の高い情報を提供できるが、1990年を基準年とした場合には、以下のような対応しかできないであろう。

- (a) リモセンによって大まかな土地利用状況を推定する。
- (b) 現在の土地利用状況、入手可能な地図から1990年前後の状況を推定する。
- (c) プロジェクト対象地域のキーインフォーマントからの聞き取り調査により、1990年当時の土地利用状況を復元する。

4) アカウンティング方法

AR-CDMでは新規に植林した森林が吸収する炭素量を評価しようという特性があるため、平均貯蔵法やトン・イヤー法の採用される可能性は少なく、暫定CER(TCER)が採用される可能性が高い。

(1) TCER

EUが提案したアカウンティング方式である。コロンビア提案を下敷きとしているが、いったん森林に固定された炭素が伐採や火災などにより炭素を再び大気中に逆流してしまう、いわゆる非永続性をアカウンティングの概念の中で解決しようというものである。

・TCERの発行

CERと同様にOEによって認証された後にTCERが理事会から発行され、クレジットはプロジェクト参加者、理事会などに配分される。TCERの有効期間は5年であり2009年に発行されれば、2014年まで有効である。

・TCERの繰り越し

RMUと同様にTCERも次期約束期間への繰り越しはできない。

・TCERの引退

TCERが附属書1の国によって削減目標達成のために使用された場合は、引退口座に移される。

・有効期限終了時の手続き

TCFRが他の炭素クレジットと異なる手続きを踏む箇所であるが、引退口座に入っているTCERは有効期限がきたときに他の種類の炭素クレジット (AAU,ERU,CER,RMU) によって置き換えられなければならない。また、今後の議論のながれによっては他のTCERによって置き換えることも可能である。

・報告

AAU,ERU,CER,RMUに毎年の報告義務があるのと同様に、TCERも毎年、報告する義務がある。この場合、TCERの有効期限も付け加えることになる。

・TCERの再発行

元のTCERが取り除かれるときに、炭素蓄積量の変化に応じて新しいTCERを再発行することができる。もし、蓄積が増加していれば前よりも多くのTCERが発行され、少なくなっていればその分だけ少ないTCERが発行される。つまり、プロジェクト期間が終了するまで一連のTCERが発行されることになる。

(2) TCERを導入する事による利点と問題点

AR-CDMに関する代表的なアカウンティング方法は炭素貯蔵法、平均炭素貯蔵法、トン・イヤー法である。各種法がもつ問題点として下記のことが考えられる。

・炭素貯蔵変化法

各年毎に獲得するあるいは消失する蓄積に応じて炭素クレジットを発行する方法であり、モニタリングに応じてクレジットの発行を動的に行う必要がある。また、伐採や森林火災等による炭素放出に迅速に対応してクレジットの返還手続きを行わねばならず、運用上は煩雑で難しい。

・平均貯蔵法

炭素クレジットを事前に発行しようとする、プロジェクトの初期段階で植栽から伐採までの成長量を予測するとともに伐採時期を想定するのみならず、2回目、3回目の伐採時期や回帰年を重ねるにつれ成長パターンが変化するかどうかも明らかにせねばならない。しかも、育林技術、育種効果、自然災害といった平均貯蔵に影響を与える不確定な因子が多いこと、プロジェクト期間中は必ず森林が維持される保証など、不確定要素が多い。

とくに平均貯蔵法ではプロジェクトの初期段階でのクレジットの発行を意図しているので、プロジェクト期間中の炭素固定の持続性をどのように保証するのか、明確な方法が提示されていない。

・トン・イヤー法

森林が各年に吸収した炭素量がその年に地球温暖化の軽減に果たした効果分だけクレジットとして発行しようというアカウンティング方法であるため、与えられるクレジットは極めて小さなものになり、CDM植林を実施しようと言うインセンティブはほとんどない。

・TCER

TCERは各アカウンティング手法が持つ問題点を解決するために提案された。とくに永続性という問題点については見事に解決しており、いったんTCERが発行されれば、その後は森林の炭素貯蔵量をモニタリングする必要もなく、たとえ森林が伐採あるいは森林火災等で焼失してもTCERは何の影響も受けない。

TCERの問題点はクレジットの価格レベルが相対的に低くなるということがある。植栽から伐採時点までに吸収した炭素量で得られるクレジットに対し平均貯蔵法では約1/2であるが、TCERではさらにその半分以下になるだろう。もちろん、約束期間末の炭素クレジットの需給バランスに大きな影響を受けるので、現時点では明確なことはいえない。

・保険付きCER

プロジェクトで得られる炭素クレジットの一定割合を保険の掛け金に使用というアカウンティング手法であり、保険をかけた時点でCERは永久的なクレジットとなり、永続性の問題も解決される。ただ、植栽、伐採を繰り返す産業植林には適さず環境植林や森林保全のようなプロジェクトに向いているアカウンティング方法である。

5) その他の問題点

アカウンティング手法以外にもベースライン、追加性、リーケージ、社会経済的影響や環境への影響の評価方法といった論点がある。これらの項目についての議論を見ると、産業植林を念頭に置いている国と環境植林を念頭に置いている国の違いが、それぞれの主張に反映されている。EUで代表的な吸収源プロジェクトを推進しているのはFACE基金であり、その実態を見るとEUは環境植林を前提としてAR-CDMプロジェクトを考えていることが解る。

6) FACE基金の活動

FACE（森林の炭素吸収）基金は植林と森林管理を通して地球温暖化を軽減しようとしているNPOである。FACE基金はもっとも早くから森林を用いた大気中のCO₂固定活動を推し進めている組織である。もともとはオランダ電力会社の1組織として吸収源事業を進めていたが、2000年からは独立して多方面の企業や組織の支援を受けて温暖化対策のための森林造成、管理プロジェクトを推進するようになった。植林や育林活動のねらいは各企業が生産活動により排出した温暖化ガスに相当するCO₂を、森林によって吸収しバランスをはかろうというものである。

CO₂吸収機能を主眼とした森林プロジェクトを推進しているが、持続的管理という観点から適切な施業が行われていることを検証するため、認証機関SGSから持続的森林管理(FSC)の認証を得ている。

吸収されたCO₂がどれだけかを推定するためにCO₂FIXというモデルを活用している。これはプロジェクトサイト内に設けられた標本地のデータで補正し、かつプロジェクトがなかった場合の吸収量をベースラインとして純粋にプロジェクトが吸収したCO₂量を推定できるモデルである。そして1999年以降はSGSに委託してFACEの全てのプロジェクトに対しFSCの認証だけでなく炭素オフセット検証も実施している。

炭素の固定量がどれだけかをモニタリングすることが重要であるが、そのためにFACEに合わせたモニタリングシステム「Monis」をプロジェクトで稼働させており、イコノスのような高解像度のリモセン技術を適用することも研究中である。

FACE基金はオランダ、中欧、アフリカ、ラテンアメリカ、アジアにおいてプロジェクトを実施しているのでその一部を紹介する。

森林減少が著しいラテンアメリカのエクアドルにおいて新規植林を1993年から実施している。面積は75000haであり最初はユーカリやラジアータを植栽するがそれを伐採した後は、その地域の在来種を植栽するようにし、伐採年も20～30年という環境植林に近い施業になっている。また、貧困が森林破壊につながる原因となっていることから、村落林業手法も取り入れて、持続的な森林管理の達成に努めている。

中欧のチェコスロバキアでは酸性雨や大気汚染によって衰退した森林の回復を目指した森林管理プロジェクトを推進している。このように、途上国においてはAR-CDMに相当するプロジェクトを早くから実施しており、中欧に対しては森林管理IIを実施しているが、ともに木材生産ではなくCO₂吸収を主眼としたプロジェクトを展開している。

3. 植林地の炭素吸収量計測手法の開発

1) 生態系における固定炭素の種類とAR-CDMにおける測定の実現性

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の第一約束期間においては、炭素吸収CDM（以下AR-CDM）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。

AR-CDM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。

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、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、

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

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。

固定炭素増加量 (tC/ha) = 人工林固定炭素量 - 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前となる。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AR-CDM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

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、林床植生等他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3-1)。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。このように測定したデータはプロットの林木密度及び生存率を推定するより正確な情報を提供することになる。胸高以下で分枝している樹木の場合は、分枝した枝毎に胸高直径を測定し、記載する。

用具：DBH測定用 直径巻き尺

3. 供試木 (図3-1)

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り、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。
- 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3-2)。
- 6) 各丸太重量を測定し、生重量野帳(Fresh Weight)に記載する(表3-3)。

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 (図3-2)

- 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。
- 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。

表 3 - 1 Diameter distribution date / / name Place

Area m × m Species Age

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

<note>

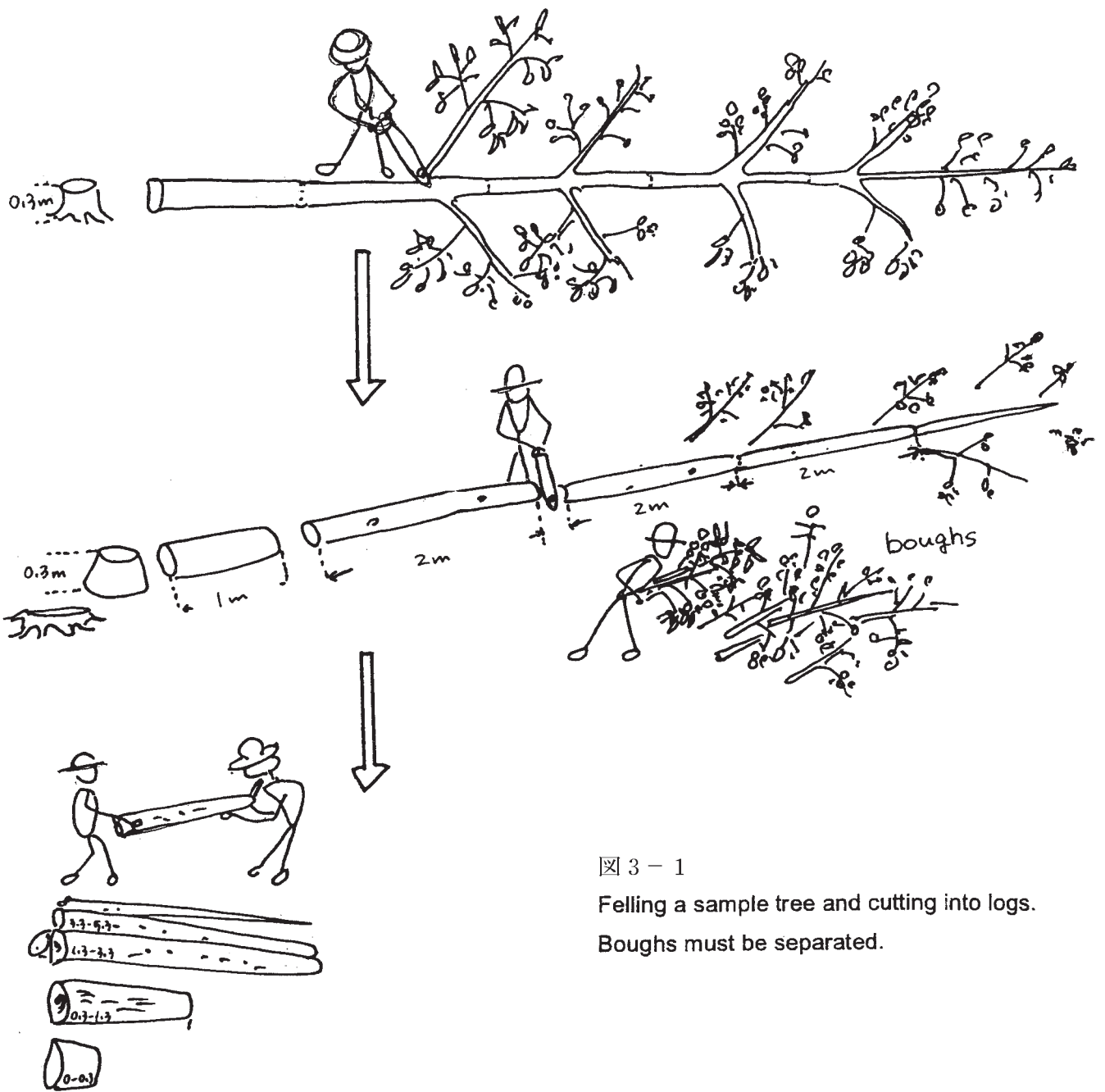


图 3 - 1

Felling a sample tree and cutting into logs.

Boughs must be separated.

- 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。後の作業は上記に同じである。

図 3 - 2

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

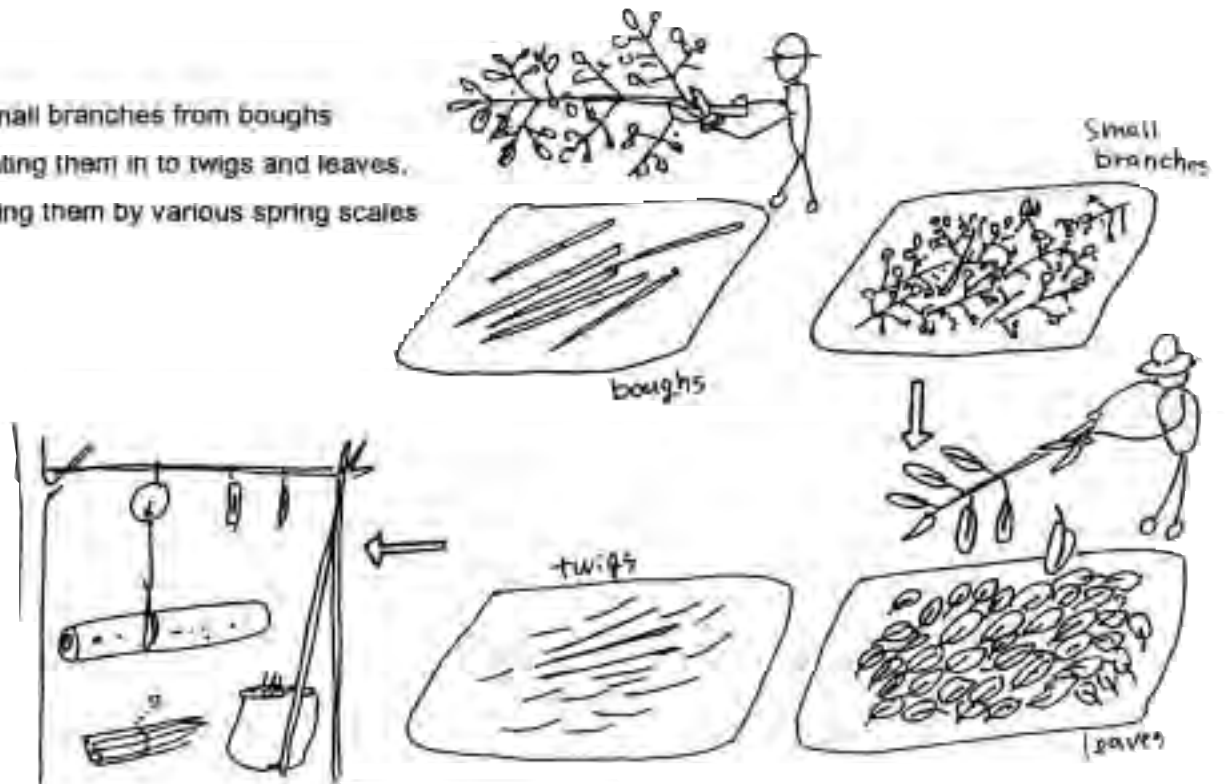


表 3 - 2 Diameter

		date / /		name	
tree age	tree NO	Height	m	DBH	cm
Position (m)	Diameter with Bark Min	Diameter with Bark Max	Diameter without Bark Min	Diameter without Bark Max	
0					
0.3					
1.3					
3.3					
5.3					
7.3					
9.3					
11.3					
13.3					
15.3					
17.3					
19.3					
21.3					
23.3					
25.3					
27.3					
29.3					

表 3 - 3 Fresh Weight

tree age _____ tree NO _____ date ____ / ____ / ____ m _____ DBH _____ cm
 Height _____ m

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		

	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

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。

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3-4)。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°C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、生重野帳（表3-3）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（表3-4）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。

測定値は生重野帳（表3-3）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ろ
う。

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(表3-4)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°C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(表3-4)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る
が、これらの現地でそ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ことを基本とする。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3 m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5 mをこえるような場合について記述する。

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きめる。

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3-5）。

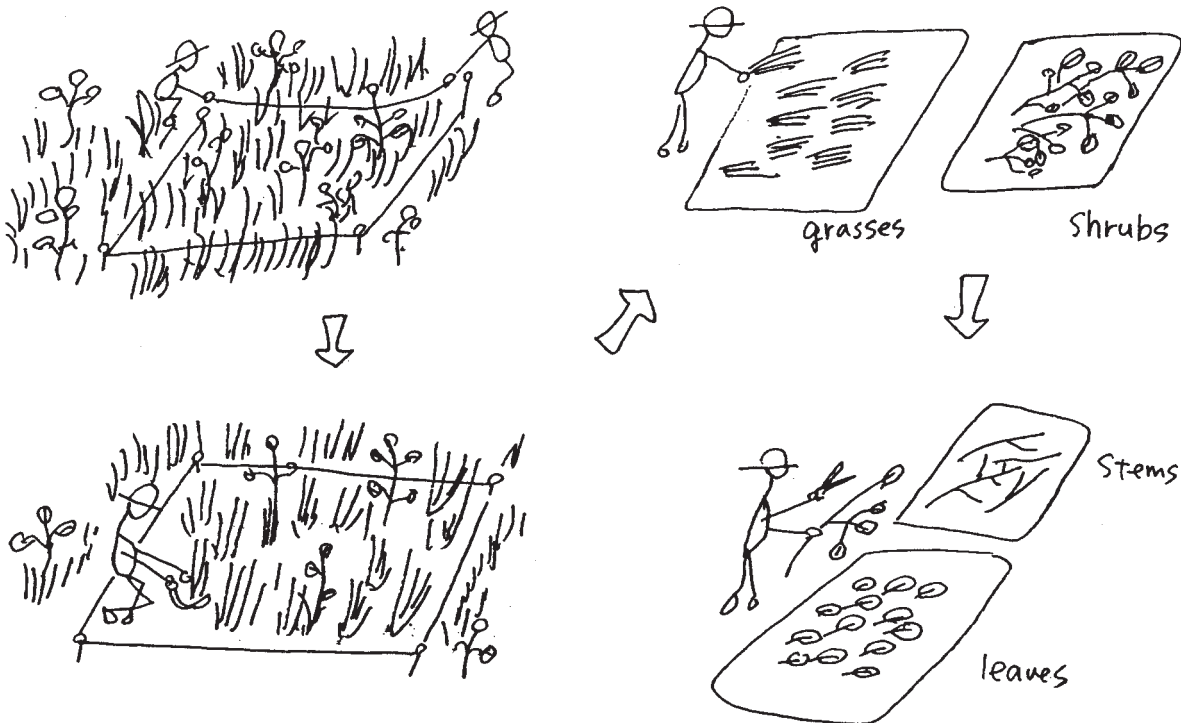
造林地バイオマス測定と同様の方法でサンプル抽出し、草本、灌木葉、灌木木部を乾燥し、水分含量を測定する。

用具：造林地バイオマスと同じ

図3-3

Setting a plot and cutting all plants in it.

Separating them into grasses, shrub leaves and shrub stems.



[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 3-4)。アロメトリー関係は次の式で表される。

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

あるいは

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

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 = 10000 m²）

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

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

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。

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

ここで、

TDW：各器官の全乾重（kg）

A：プロット面積（m²）

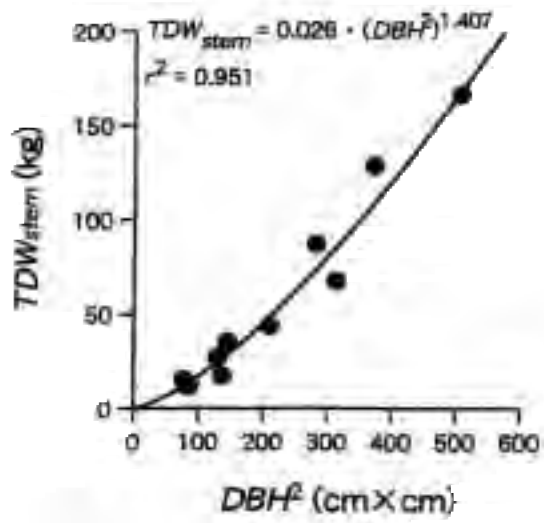


图 3 - 4

Example of the allometric relation between *DBH* and Total Dry Weight of stem (TDW_{stem}) obtained from sample trees.

3) 造林地の堆積リター及び土壌炭素測定法

京都大学 太田誠一

堆積リター及び土壌における蓄積炭素の測定法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今のところ存在せず、一定の標準的方法を提示しそのマニュアル化を行う事が必要となっている。

1. リター及び土壌炭素量測定の手順

人工林におけるバイオマス炭素の測定は、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と地下部バイオマス量を計測することで行われる。これに林床バイオマス中の炭素、堆積リター炭素、土壌炭素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量を測定する場合、それぞれ別個にプロットを設定しても良いが、樹木の固定炭素を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。

堆積リター採取 → 林床バイオマス調査 → 土壌試料採取 → 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堆積リター採取を林床バイオマス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。

なお、堆積リターや土壌試料の採取は破壊調査によって行われるため、周辺の造林木や植生の成長への影響を否定できない。このため造林地やベースライン調査対象地において堆積リターならびに土壌炭素量の経年的変化を定期的調査によって明らかにしたい場合は、樹木・植生の生長量を継続観測するプロットとは別に、同様の林分・土壌条件を備えた場所に堆積リター、土壌試料採取のための専用プロットを設けて調査を行うことが必要となる。

2. リター蓄積炭素の測定法

堆積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、堆積腐植層、Ao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、この全て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りターが堆積するが、高温多湿な湿潤熱帯では有機物分解が迅速に進行する。このため、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層が中心であり、その量も一般には多くないと予想される。従って、リター層の炭素が生態系全体の炭素量に占める割合は一般に低

く、しかもクレジット発生側にあることもあり、作業効率の点から、場合によっては堆積リター測定は省略する選択肢もあり得る。ただし、林冠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、条件によってはリターの分解が進まず、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・労力をかけ測定する価値がある場合もある。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、堆積リターの測定・解析の必要性の有無を見極めるのが適当である。また、堆積リター量は季節的に変動し、温帯・亜寒帯では秋の落葉後に最大となり、落葉季の直前に最少となるような変動をくり返している。熱帯地域の場合は、一般に乾期の終りに最大となり雨期の終りに最少となる。このため厳密にはクレジットが最少となる雨期の終りに測定を行う事が望ましい。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。

<堆積リターの採取>

堆積リター量の測定は、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分割選択して、堆積リターの採取・計量を行い、林分毎に2カ所のリター量の測定を行っている。

しかし、森林下のリター層の分布は一般に不均一な場合が少なくなく、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（サブプロット）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を行い、それに従って立案したサンプリング計画によって採取・測定を行うことが望ましい。

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）のサブプロット（枠）を必要数、地表に設定し、枠内のリターを全て集めてビニール袋などに入れ実験室に持ち帰る。堆積リター採取サブプロット用の枠は折尺二本を組み合わせた、塩化ビニール製の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ある。

コースリターは一般に、より広い面積から採取することが想定されるが、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。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に秤量し（風乾重量）、一部をバイオ

マス試料と同様の方法で通風乾燥機などにより乾燥した後再び秤量し、乾燥係数を算出する。得られた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によって多数・多量の試料乾燥が可能な場合は、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。この灼熱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。

また、湿潤熱帯では通常、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鉍質土壌との混和が進んでいる場合、通常のバイオマスの炭素濃度を用いると過大に評価されるので注意が必要である。

<本調査事業における堆積リター蓄積炭素量測定の具体的進め方>

- (1) 地上部調査プロット内外に0.25～1m²程度の既知の面積のサブプロットを必要箇所（許容誤差によって異なるが、通常は少なくとも5カ所）設定する。
- (2) 堆積リター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内側境界上のリターを切り、区画内リターを集めて（ミミズの糞など主に鉍質土壌からなる物は含めない）、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サブ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分取し、85℃で乾燥して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は省略する事もありうる。）
- (6) サブプロット毎の風乾重量、乾燥係数、サブプロット面積、炭素濃度から面積あたりの炭素蓄積量を算出する。

サブプロット毎の面積あたり堆積リター炭素蓄積量は次式で計算する。

$$\text{堆積リター炭素蓄積量 (tonC/ha)} = \text{風乾重量 (g)} \times \text{乾燥係数} \times \text{炭素濃度 (\%)} \times 10^{-4} \div \text{サブプロット面積 (m}^2\text{)}$$

ここで、乾燥係数 = 絶乾重 (g) / 風乾重 (g)

- (7) 全サブプロットの平均を求め堆積リター炭素蓄積量とする。
- (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) コースリターを測定する場合はファインリター炭素とコースリター炭素を合計して、堆積リター炭素蓄積量とする。

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が、森林伐採や新規造林など人為活動に伴って変動すると考えられている。こうした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は必ずしも十分に蓄積されてはいるが、人工造林の造成に林分の成熟に伴う蓄積量変動の可能性は否定できない。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壌の場所で行う必要があるが、土壌試料の採取は破壊調査となるため林木の伐倒調査を行う場合はこれに先立って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壌試料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壌試料採取用のプロットを設定することが必要である。また、一般に土壌炭素は場所による変動が大きいことが少なくなく、その変動は個々の森林で異なるため、土壌炭素量の正確な経時変動を知るためには、予備調査を行い求められる信頼度と許容誤差で数値を得るため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。

CDMの場合は比較的短い期間内での変化量が対象であり、造林に伴う細根やリター等炭素源の変動の影響を受けやすい深さ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壌部分（例えば30cmとか50cm）を測定対象範囲とすることが適当である。

<炭素測定用試料の採取と秤量>

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の例では、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までの土壌炭素測定を行っている。

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、分析用の土壌試料は既知容積の容器を用いて採取する。本調査では土壌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、土壌層位は考慮せず単純に機械的に地表から30cmの土壌を採取する。

ただし、土壌炭素量のみならず炭素分布の様相を土壌層位との関連で把握する必要がある場合は、A層、E層、B層などの土壌層位毎に試料の採取を行う。本事業の初年度には、A、B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30cmとし、同一の土壌層がそれより下まで分布する場合はその層まで採取している。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している。

土壌試料採取方法に公定法はないが、一つの方法として100ccあるいは400ccの通常の土壌採取円筒で表層から順次採取するやり方がある。わが国の森林土壌で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、一般に埴質で均質な熱帯の土壌の場合は、作業性の点で100ccの採土円筒を用いて同一の深さから複数の土壌試料を採取する方が能率の良ことが少なくない。また、採土円筒を用いる場合、各深度からの採取試料数は土壌の不均一性を考慮すれば多いに越したことはないが、現実的な繰り返し回数は100ccの場合2 - 4回、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、円筒採取器を用いて上から順次30cmまで採取する方法もあり、比較的簡便な方法として検討の価値があるが、土壌が埴質で硬い場合や礫や中程度以上の根があると採取が困難である。別の方法として、10cm×10cm×30cm程度の箱形金属容器を使い試料を採取する方法があるが、サイズが大きいため採取に時間がかかること、容器の変形が起りやすいことなどの欠点が想定される。

採取した土壌は、採取深さ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、生きた植物根を分別しつつ風乾する。風乾し終えた土壌試料はそれぞれ全重量を測定した後、2mmの篩を用いて2mm以下の風乾細土と2mm以上の礫に篩別する。篩別した礫の重量を測定し、風乾土全重から礫の重さを減じて風乾細土重を求め、これを採取容積で除し容積重を求める。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10g程度）を分取し、乳鉢や粉碎機を用いて0.02mm程度まで粉碎して風乾細微土を調製し、土壌炭素分析試料とする。一方で風乾細土の乾燥係数を測定しておく。

土壌炭素の分析は通常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壌pHが7以上の場合は、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、灼熱損量から有機炭素量を推定する方法もあるが、炭酸塩他の加熱によって大きく重量の変化する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。

各深度における採取厚、容積重、乾燥係数、炭素濃度から各深度（例えば0 - 5

cm、5-10cm、10-20cm層など)における単位面積あたりの炭素蓄積量を計算する。土壌炭素量は以下の式によって算出する。

$$\text{土壌炭素蓄積量 (tC/ha)} = \text{採取土層の厚さ(cm)} \times \text{容積重 (g/cc)} \times \text{乾燥係数} \times \text{炭素含量(\%)}$$

ここで

$$\text{容積重 (g/cc)} = \text{風乾細土の全重 (g)} / \text{採取容積 (cc)}$$

また

$$\text{乾燥係数} = \text{絶乾重量 (g)} / \text{風乾重量 (g)}$$

こうして求めた各深さにおける炭素貯留量を足し上げて、一定深さまでのhaあたりの土壌炭素蓄積量を算出する。

<本調査事業における土壌炭素測定のための具体的な進め方>

- (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・植生の場所に必要数の試料採取点を選定する。

一定の信頼度と許容誤差による推定値を得る必要がある場合には、予備調査を行い以下の式により必要試料採取数をあらかじめ決定しておく。

$$n = (t \times C / E)^2$$

n ; 信頼度100(1- α)%, 誤差Eでの平均値推定に必要なサンプル数

t ; スチューデントのt($\alpha/2$)

C ; 変動係数(標準偏差/平均値)

E ; 許容誤差(平均値に対する比率)

- (2) 50cmまで土壌断面を掘り、地表部から0-5cm、5-10cm、10-20cm、20-30cm、30-50cmなどに区分し、100ccもしくは400ccの採土円筒で土壌を採取する。データの変動をできるだけ小さく抑えるには、それぞれの深さから採取する円筒数は多い程良いが、労力を考えると400ccの場合は1-2個、100ccの場合は2-4個の採取が現実的である。
- (3) 採取した土壌は地名、プロット番号、深さを記載したビニール袋に深さ毎にまとめて移し分析試料とする。

—ここまで現地—

- (4) 各採取試料は生きた根を除去しつつ風乾し、風乾後全重を秤量する。その後2mmの篩で2mm以下の風乾細土と2mm以上の礫に篩い分け、礫の重量を測定して風乾細土の重量を算出する(あるいは風乾細土の全重を直接測定する)。
- (5) 風乾土重量を採取容積で除し容積重を計算する。

- (6) 風乾細土10 g 程度をmg単位まで既知の重量の容器（秤量瓶など）に分取し、乾熱乾燥機内で105℃ 1昼夜乾燥しデシケータ中で放冷後、再び秤量し絶乾重を求める。風乾重と絶乾重から乾燥係数を算出する。
- (7) 風乾細土の一部を分取して0.02mm程度まで粉碎した試料を用い、炭素含量の測定を行う。
- (8) 深さ毎に体積あたりの炭素を算定しこれを合計して、単位面積あたりの炭素量を算出する。

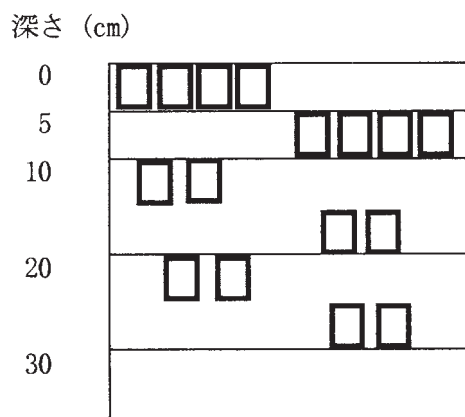


図 3 - 5 100ccの細土円筒による深さ別土壌採取例の模式図

表 3 - 6 リター・土壌試料採取用野帳 (Field note for litter and soil sampling)

試料採取林分コード (Sampling stand Code)

日付 (Date): / / 調査者 (Recorder):

樹種/植生 (Species/vegetation):

林齢 (Age):

リター試料採取 (Litter sampling)

土壌試料採取 (Soil sampling)

プロット番号 Plot No	サブプロット番号 Sub-plot No	リター採取面積 Sampling Area x.xx m ²

プロット番号 Plot No	深さ Depth xx.x - xx.x cm	厚さ Thickness cm	容積 Volume cc

表 3-7 リター分析表

シリアル No	プロット No	サブプロット No	面積 Area of sampling	リター総風乾重 Weight of air- dried litter	乾燥係数			炭素分析 C determination		
					リター風乾重 (含む風袋) Weight of air- dried litter (with tare)	リター総乾重 (含む風袋) Weight of oven-dried litter (with tare)	乾燥係数 drying factor	サンプル重 量 Weight of sample	C含量 C content (oven-dry basis)	C蓄積量 C stock
			xxx m2	xxx g	xxx g	xxx g	xxx g	xxx mg	%	ton/ha

表 3-8 土壌分析表

シリアル No	プロット No	深さ	厚さ	採取容積	風乾土重 量	石子重 量	容積重 (風乾ベース)	風乾細土材料の乾燥係数				炭素分析		深さごとの 貯蓄量 Stock in each depth	積算貯蓄 量 Cumulati va stock		
								Moisture factor of air-dried fine soil				G determination				C貯蓄量 C stock	C貯蓄量 C stock
Serial No.	Plot No.	Depth	Thick- ness	Volume	Woot weight of air-dried soil	Woot of gravel	Bulk density (air dry basis)	容器No.	容器重 量	風乾細土 重	総乾重 (細土+容 器)	乾燥係数	試料重 量	C% (風乾ベース)	C% (air dry basis)		
		xxx cm	cm	cc	xxx.x g	xxx.g	g/cc		xx,xxx g	x,xxx g	xx,xxx g		xxx.x mg	%	ton/ha	ton/ha	

4) 造林地固定炭素量測定法の今後の方向

国際緑化推進センター 大角泰夫

AR-CDMプロジェクトにおいては、炭素追加性として造林地の炭素固定量の評価が大変重要な要件となる。炭素の評価法として、透明で且つ科学的根拠に裏付けされた方法が開発され、各プロジェクトにおいて適用されることがプロジェクト認知の前提条件となる。今回総合化されたバイオマス測定法は過去の科学的成果を十分取り入れ、それらをあらためてCDMプロジェクトの要件に適合させた国際的に認知される基礎的方法の一つである。したがって今後のCDMプロジェクトの進行にあたってはこの方法を基準として対応することが得策である。

しかし、この方法を現実に適用するには時として地域・樹種に対応したモディファイが効果的であることも多く、上記の方法を基により簡便化した方法をプロジェクトに適合させながら開発することも効果的であろう。また、今回の方法では、バイオマス量から経常的な公定的係数を乗ずることによって炭素量を計算したが、特に土壌バイオマスからの炭素の換算には化学分析に供する計測単位が少ないためやや難しさがある。アロメトリー等個別プロジェクトに好適なバイオマス計測法の考案やバイオマスから炭素への換算等については新規プロジェクトで検討する等今後必要に応じて検討することとなる。

計測方法や条件の詳細は今年度末時点ではまだCDM理事会等で決定を見ていないが、CDMプロジェクトにおいては定期的な成長量の計測が必須条件となる。このモニタリングを行う場合には、おそらく平均的な成長を示す複数のサンプルプロットを選定して、定期的に固定炭素量を測定することとなろう。この平均的成長を示すプロットの設定は、成長を左右する地形・地質等立地環境や土壌のタイプがわかっている日本の造林地では客観的な地位指数によって比較的容易に行うことができる。しかし、今後CDM対象となる、特に環境造林予定地は以前から長い荒廃の歴史をもっており、狭い範囲で生産力が異なるなど地形・地質及び土壌条件のような立地環境条件だけでは成長を予測することは困難で、CDMプロジェクト毎にベースライン植生を含めてモニタリングポイントの設定方法を考案する必要がある、新たなプロジェクトでも検討が必要となろう。

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、第1約束期間では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造林木と林床植生については比較的動きは大きいですが、リター、枯死木、土壌炭素などは固定量の動きの少ない項目と予想される。したがってこれらの動きの少ない項目、たとえば、「有機物層」、「枯死木」、「土壌」、また、これらに加えて「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。特に土壌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、この測定頻度等は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新規プロジェクトの中で適宜対応することとなろう。

4．森林生態系炭素蓄積量の測定

4－1 CDMプロジェクトに向けた森林生態系炭素蓄積量の解析計画

国際緑化推進センター 大角泰夫

本事業ではAR-CDMプロジェクト実施の際に求められる造林地における炭素の蓄積量を具体的数値として計上するために、透明且つ論理的に実証できる計測手法及び造林木の成長予測手法を、既存の情報調査及びAIJ候補造林プロジェクト等途上国の造林地での現地調査によって開発することが目的の一つとなっている。造林地の炭素蓄積量及び造林木の成長は、自然環境を反映した地域の気象条件、生産力と大きく関わる立地条件、さらに種によって大きく変化する成長パターンによって左右される。そのため文献情報及び造林実施者からの聞き取り調査によって本事業において対象とする地域、造林地、造林樹種等この目的に符合した関連事項の解析を行った。

事業実施期間が2年間と限られていたため、本事業の実施中心である途上国が多い熱帯で、特に環境造林実績が多く、日本との関わりが強い東南アジアの季節林と降雨林に焦点を合わせ、現在これらの地域で広く対象とされているか、過去の造林地が多いか、あるいは今後造林が進む可能性が高いかを選定基準として対象樹種・造林地を選定した。このため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、最終的には東南アジアの、特に環境造林の主な対象樹種を中心に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4－1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、地域別に今後のCDMプロジェクトで取り上げられる可能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及び造林実施者の聞き取り情報を参考に検討に加えた。また、*Acacia mangium*はパルプ用材の確保を目的とした産業造林に広く使われているが、たとえばマレーシア・SAFODAによる造林のようにむしろ環境造林を目的として導入されている場合も多く、対象樹種として扱うこととした。

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、解析の実効度を上げるため調査対象国

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4-2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、季節林地帯として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、JIFPRO等による造林地、降雨林地帯としてインドネシアのJICA—林業公社、MHP会社及びKUTAI Timber会社造林地を対象とした。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。

これらの対象樹種造林地における調査は、諸外国の吸収源AIJプロジェクトの例にならない (IPCC 2000a & 2000b)、造林地生態系内の造林木地上部と地下部、林床植生、枯死木を含むリター層、ならびに地表30cm以内の土壤に含まれるバイオマス炭素を測定し、造林地生態系に固定されている炭素量とした。また、CDMプロジェクトにおいては造林地における固定炭素量が通常の土地利用より多いか少ないかを解析する必要もあり、通常の土地利用によって固定されるバイオマス炭素量の測定もベースライン固定炭素量の候補としてあわせて行った。バイオマス炭素量の計測には、本事業の開始前に地上部及び林床植生の炭素固定量測定法が森川により提案されており (森川 2001)、今回の調査においては、本事業別項において土壤及びリターを除く全ての生態系要素の解析法を森川等が提案しており、この新方法を用いた。土壤とリターについては本事業において新たに太田によって方法が提案されており、この新提案法を用いた。

対象樹種及び対象樹種造林地は、調査とデータの解析に時間がかかることから表4-3のように年次計画を立て、順次データの拡充を図ることとした。ただ、一部については当初本プロジェクトが2003年度以降も続くこととされていたため、外国カウンターパートとの共同調査等については次年度に詳細データが得られるものもある。これらの造林地の炭素固定量に加えて、ベースライン固定炭素量の測定もスケジュールに組み込んだ。ただ、Business-as-usualとの規定があるので東南アジアで代表的な荒廃地植生に絞って、近い過去のレコードが得られる場所についてのみ計画に組み込むこととした。

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

IPCC (2000a): Box 5-1 LUCF Carbon Mitigation Project: selected case studies, pp.292-296, IPCC Special Report, Land Use, Land-Use Change, and forestry, Cambridge University Press, IPCC

IPCC (2000b): Box 5-3 Carbon Inventorying and Monitoring of the Noel Kempff Climate Action Project, Department of Santa Cruz, Bolivia, pp.311-312, IPCC Special Report, Land Use, Land-Use Change, and forestry, Cambridge University Press, IPCC

Morikawa, Y. (2001): Manual of biomass measurements, pp.1-16, JIFPRO & JOPP

表 4-1 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 caribea</i>	Malaysia	12	20.7
	Fiji	15	22.3
	Brazil	10~12	19.2
	Tanzania	9~12	28.4
<i>Pinus kasiya</i>	Philippines	30~55	12.9
	Malawi	21~29	16.4
<i>Pinus elliotti</i>	S.Africa	35	22.6
<i>Pinus luchuensis</i>	Taiwan	12~28	17.8
<i>Pinus masoniana</i>	China	30	13.8
<i>Pinus merkusii</i>	Indonesia	20~30	25.3
	Thailand	15~25	11.7
<i>Pinus roxburghii</i>	Pakistan	50~70	6.4
<i>Cryptomeria japonica</i>	India	30~50	33.9
	Brazil	15~30	24.7
<i>Agathis dammara</i>	Indonesia	20~40	26.5
<i>Araucaria cunninghamii</i>	P.N.G.	10	40.0
<i>Araucaria angustifolia</i>	Brazil	20~30	20.3
(広葉樹)			
<i>Dipterocarpus baudi</i>	Malaysia	22~31	10.2
<i>Shorea robusta</i>	India	20~50	10.2
other dipterocarps			N.A.
<i>Acacia auriculiformis</i>	Malaysia	11~12	16.8
<i>Acacia decurrens</i>	Indonesia	6~10	30.1
<i>Acacia nilotica</i>	India	10~25	9.1
<i>Paraserianthes falcataria</i>	Indonesia	6~10	55
	Philippines	3~8	48
<i>Cassia siamea</i>	Nigeria	10	11.6
<i>Dalbergia latifolia</i>	Indonesia	20~40	20.1
<i>Dalbergia sisso</i>	Pakistan	15~20	11.3
<i>Pterocarpus dalbergioides</i>	India	10~40	12.7
<i>Azadirachta indica</i>	Nigeria	7~9	13.7
<i>Cedrela odorata</i>	Nigeria	25~32	12.2
<i>Swietenia macrophylla</i>	Indonesia	20~40	16.1
	Philippines	40~50	13.2
<i>Ochroma bicolor</i>	Indonesia	4~10	80.1
<i>Terminalia ivorensis</i>	Nigeria	11~31	13.3
<i>Terminalia superba</i>	Nigeria	18	12.4
<i>Anthocephalus chinensis</i>	Indonesia	3~12	21.1
	Philippines	11~12	27.8
<i>Gmelina arborea</i>	Philippines	10~13	32
	Malaysia	7~11	32.7
	Ghana	10~13	38.3
<i>Tectona grandis</i>	India	20~40	9.4
	Indonesia	20~40	17.8
	Tanzania	45	11
	Nigeria	13~61	10.3
	Equador	21~50	26.5

表4-2 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>	熱帯季節林	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・カリマンタン	
	熱帯多雨林	インドネシア・スマトラ	
<i>Pinus merkusii</i>	熱帯季節林	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	インドネシア・中部ジャワ	
	熱帯季節林	タイ・北部	

表4-3 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・ベースライン植生	調査対象造林地	データ解析(年)	
		樹木	土壌
<i>Acacia mangium</i>	MHP社産業造林地 (Benakat)	13	13
<i>Azadirachta indica</i>	JIFPRO造林地 (Lombok)	14	15
<i>Cassia siamea</i>	JIFPRO造林地 (Lombok)	14	15
<i>Dalbergia latifolia</i>	JIFPRO造林地 (Lombok)	14	15
<i>Gmelina arborea</i>	KTI社産業造林地 (Sebulu)	14	14
<i>Paraserianthes falcataria</i>	PERHUTANI造林地 (Yogyakarta)	▲13	14
<i>Peronema canescens</i>	MHP社造林地 (IHJICA) (Benakat)	13	13
	KTI社造林地 (Sebulu)	14	14
<i>Pinus merkusii</i>	PERHUTANI造林地 (Purwarejo)	▲13	14
<i>Swietenia macrophylla</i>	MHP社造林地 (IHJICA) (Benakat)	13	13
<i>Tectona grandis</i>	PERHUTANI造林地 (Kebumen)	▲13	14
	FIO造林地 (Lampang)	14	15
<i>Macaranga</i> 二次林	KTI社管理地 (Sebulu)	14	14
<i>Lantana</i> 灌木林	JIFPRO造林地 (Lombok)	14	14
<i>Imperata</i> 草地	KTI社管理地 (Sebulu)	14	14
乾燥フタバガキ二次林	FIO造林地 (Lampang)	14	14

▲：別プロジェクトで樹木バイオマス測定済み

4-2 タイ国ランパン県のMae Chang Plantationにおけるチーク (*Tectona grandis*) 林のバイオマス調査

1) 調査概要

早稲田大学 森川 靖

I はじめに

本調査は、タイ国での林産業において重要な位置を占めるチーク (*Tectona grandis*) 林のバイオマスを測定することにより、造林による炭素固定量の評価を目的とした。

本樹種の材は耐久性が高く、細胞間にワックスを含み良好な感触があることなどから、我が国でも高級材として知られている。こうした背景から、タイやインドネシアで精力的に造林が進められている。

本樹種は熱帯地域での造林樹種の中で比較的長い伐期である。また今後、造林の継続・拡大も予測されているため、CDMにおいても考慮すべき樹種である。このため、本樹種についての成長データを蓄積することは、極めて重要である。

II 調査概要

II-1 調査年月日

調査は、平成14年7月7日から7月17日に行った。

II-2 調査者

調査者を以下に示す。

森川 靖 早稲田大学人間科学部教授
佐藤 顕信 早稲田大学人間科学部助手
平塚 基志 早稲田大学大学院人間科学研究科
松波 千佳 早稲田大学大学院人間科学研究科
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理事
中山 祐介 国際緑化推進センター業務部研究員

II-3 調査地

調査地には、平成13年度の事前調査より、交通アクセスの利便性などから、タイ国ランパン県のMae Chang Plantationを選んだ。選択した2つの調査地は石灰岩山地に位置していた。調査地の概況を表4-4に示す。

表4-4 タイ・チーク林の調査林分の概況

樹種	プロットNo.	植栽年 年	林齢 年	海拔 m	緯度	経度
チーク	77	1985	17	351	N18°21'42''	E99°48'57''
チーク	80	1980	22	228	N18°20'50''	E99°48'52''

2) 造林木及び林床植生のバイオマス調査

I-1. 調査プロットの設定

単一樹種による広範囲におよぶ造林地では、その林分の最大樹高以上の長さを一辺とする方形区を、調査地として設定することが一般的である。

本調査において対象とした17年生および22年生のチーク林分は、それぞれ規則的な間隔でライン・プランティングされていた。調査プロットには、それらの林分から平均的なものを、40m×40mの方形区で設定した。

I-2. 毎木調査

それぞれの調査プロットでは、林分を構成する全立木の胸高直径（DBH）を測定した。

I-3. 伐倒試料木の測定

伐倒試料木は、それぞれのプロットでの毎木調査の結果から、小径木から大径木まで適当なDBHの幅をもつように5本選んだ。

それぞれの伐倒試料木は伐倒後、幹、枝、葉、根と、器官別に分け、生重量を測定した。根は周辺を手作業で掘った後、重機で引き抜いた。このとき、土壌中に残った根については切断面の直径を測定した。幹については地際（0m）、2m、4mと2m間隔で玉切りにし、それぞれの断面の直径（樹皮つき、樹皮なし）を測定した。次に、各器官からサンプルを採取し、タイ国王室林野局にて乾燥させ、乾重量を求めた。

I-4. 林床植生の測定

林床植生のバイオマスは、植生の背丈が高さ1mに達していなかったため、調査プロット内に1m×1mのサブプロットを設定し、全量刈り取り法で行った。

II. 調査結果

II-1. 樹高の推定

樹高については、それぞれのプロットで全樹木数の約30%を測定した。林内において測定が困難だった樹高は、実測した樹高とDBHの関係式より求めた（(1)式）。

$$H = a + b \log(D) \dots \dots \dots (1)$$

Hは樹高（m）、DはDBH（cm）である。aとbは最小2乗法より求めた係数である。

各プロットの胸高直径と樹高の関係を図4-1に示す。プロット80のDBH-樹高曲線は、プロット77より上方にあった。プロット80の方が胸高直径に対して樹高の高いことから、立地条件としてはプロット80の方が良いと予測される。

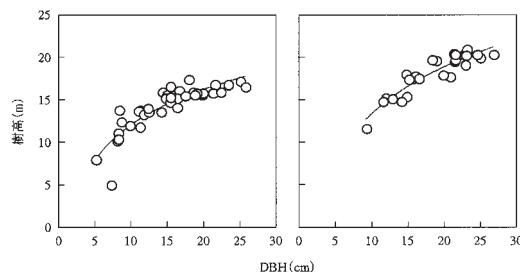


図4-1 DBHと樹高の関係（左がプロット77、右がプロット80）

また、樹高とDBHの関係式の係数、決定係数を表4-5に示す。

表4-5 DBHと樹高の関係式

プロットNo.	林齢年	a	b	R ²
77	17	7.945	-4.919	0.857
80	22	6.007	-1.741	0.772

II-2. 調査林分の概要

各調査林分の概要を表4-6に示す。なお、樹高は表4-5に示したDBHとの関係式より推定し、平均値および最大値を求めた。

表4-6 調査林分の立木密度、DBH、および樹高

樹種	チーク	チーク
林齢(年)	17	22
植栽間隔(m)	2×4	4×4
初期立木密度(本/ha)	1250.0	625.0
立木密度(本/ha)	843.8	543.8
平均DBH(cm)	14.4	18.4
最大DBH(cm)	25.7	27.5
平均樹高(m)	13.8	18.0
最大樹高(m)	17.5	21.4

II-3. 幹の材積およびバイオマスの測定

幹の材積は、Smalian式よりもとめた(2)～(3)式。

$$V_P = (g_0 + g_n) \frac{\ell}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_T = g \frac{\ell}{2} \dots\dots\dots (3)$$

V_Pは各玉切り部分の材積(m³)、V_Tは頂部の材積(m³)、g₀は幹の各部分の下端断面面積(m²)、g_nは上端断面面積(m²)、gは基部断面面積(m²)、そしてℓは玉切り部分の長さ(m)である。幹の材積は、(2)式と(3)式の和である。

バイオマスは、樹木のDBHと樹木の各器官のバイオマスとの相対成長関係((4)式)から算出した。相対成長式は、

$$W = aX^b \dots\dots\dots (4)$$

で表される。Wは各器官のバイオマス(kg)、XはDBH(cm)の2乗、aとbは最小2乗法より求めた係数である。

根のバイオマスは、根抜した根と土壌中に残った細根との和であり、これを地下部のバイオマスとした。土壌中に残った根のバイオマスは、先端まで切断することなく引き抜いた根の根元の直径とバイオマスによる相対成長式を作成し、それに土壌中に残った根の切断面の直径を代入することより算出した。

根の根元の直径とそのバイオマスの関係を図4-2に示す

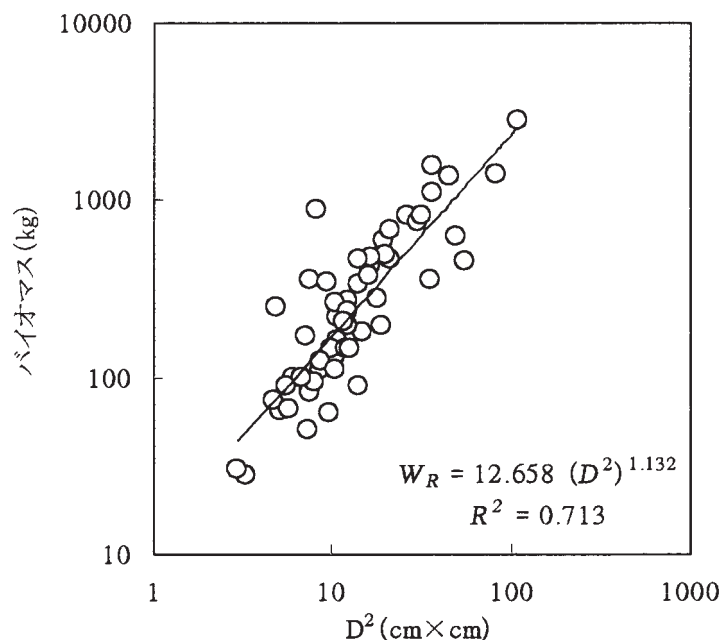


図4-2 抜根した根より作成した、根元の直径とバイオマスの関係。なお、抜根時に土壌中に残った根のバイオマスは、根全体のバイオマスのうちでは僅かだった

それぞれの林分において選んだ、伐倒試料木の各器官のバイオマスおよび幹の材積を表4-7および4-8に示す。

表4-7 No.77プロットでの伐倒試料木の詳細

プロットNo.	77				
試料木No.	1	2	3	4	5
樹齢(年)	17	17	17	17	17
樹高(m)	14.5	16.9	12.6	15.5	14.3
胸高直径(cm)	16.0	22.9	9.4	19.7	13.1
バイオマス(kg)					
材部	52.47	125.38	15.73	85.51	33.69
樹皮	12.18	29.97	4.28	15.84	7.57
枝	16.16	75.49	2.41	30.29	10.87
葉	7.34	13.92	1.14	7.24	3.50
地上部	88.15	244.75	23.55	138.88	55.63
根	25.15	51.98	6.03	41.11	13.28
全体	113.30	296.73	29.58	179.99	68.91
材積(m³)					
樹皮つき	0.10	0.25	0.03	0.17	0.10
樹皮なし	0.06	0.17	0.02	0.12	0.07

表4-8 No.80プロットでの伐倒試料木の詳細

プロットNo.	80				
試料木No.	1	2	3	4	5
樹齡(年)	22	22	22	22	22
樹高(m)	19.5	17.7	14.2	18.9	15.9
胸高直径(cm)	20.0	26.9	12.4	23.2	15.9
バイオマス(kg)					
材部	123.35	172.84	32.36	160.28	67.05
樹皮	27.77	39.24	6.27	24.63	11.56
枝	40.48	88.17	4.70	46.76	24.70
葉	10.16	15.53	1.14	12.66	6.09
地上部	201.76	315.78	44.47	244.32	109.40
根	34.58	64.81	10.58	51.23	21.93
全体	236.34	380.59	55.05	295.55	131.33
材積(m ³)					
樹皮つき	0.34	0.48	0.09	0.45	0.17
樹皮なし	0.24	0.35	0.06	0.34	0.12

次に、表4-7および表4-8で示した伐倒試料木より作成した、各器官別の相対成長式の係数および決定係数を、表4-9および表4-10示す。それぞれの林分において、全ての器官で満足な相対成長関係を得た。

表4-9 No.77プロットでの伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数

プロットNo.	77		
	a	b	R ²
材部	8.663×10^{-2}	1.159	1.000
樹皮	3.801×10^{-2}	1.040	0.972
枝	7.810×10^{-4}	1.809	0.979
葉	3.393×10^{-3}	1.329	0.947
根	2.264×10^{-2}	1.249	0.993
地上部	7.798×10^{-2}	1.272	0.994
全体	9.979×10^{-2}	1.269	0.998
材積(皮付き)	2.740×10^{-4}	1.086	0.935
材積(皮なし)	1.601×10^{-4}	1.116	0.914

表 4-10 No.80プロットでの伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数

プロットNo.	80		R ²
	a	b	
材部	1.265×10^{-1}	1.123	0.961
樹皮	1.820×10^{-2}	1.173	0.943
枝	1.089×10^{-3}	1.729	0.918
葉	5.240×10^{-4}	1.607	0.881
根	2.599×10^{-2}	1.197	0.996
地上部	9.304×10^{-2}	1.255	0.966
全体	1.225×10^{-1}	1.239	0.972
材積(皮付き)	3.149×10^{-4}	1.138	0.966
材積(皮なし)	1.598×10^{-4}	1.197	0.961

表 4-9 および 4-10 に示した相対成長式より算出した各林分のバイオマスの諸量、炭素固定量、および葉面積示数を、表 4-11 に示す。林床植生のバイオマスは No.77 プロットでのみ測定した。

表 4-11 各林分のバイオマスの諸量、炭素固定量、および葉面積示数

プロットNo.	77	80
林齢(年)	17	22
胸高断面面積合計 (m ² /ha)	15.3	15.2
バイオマス(t/ha)		
材部	41.6	51.4
樹皮	9.3	9.9
枝	15.9	14.4
葉	4.3	3.8
地上部	71.1	79.5
地上部炭素量	35.5	39.8
根	18.2	16.4
全体	89.3	96.0
全体炭素量	44.6	48.0
材積(m ³ /ha)		
樹皮つき	94.9	133.0
樹皮なし	75.4	126.3
葉面積示数		
全体	3.75	4.22
高さ 0-4(m)	0.01	0.00
高さ 4.0-6.0(m)	0.01	0.02
高さ 6.0-8.0(m)	0.04	0.05
高さ 8.0-10.0(m)	0.30	0.08
高さ 10.0-12.0(m)	1.02	0.34
高さ 12.0-14.0(m)	1.49	0.91
高さ 14.0-16.0(m)	0.71	1.38
高さ 16.0-18.0(m)	0.17	1.24
高さ 18.0-20.0(m)	-	0.19
林床植生(t/ha)	2.5	-
年平均成長量		
地上部(t/ha/yr)	4.2	3.6
全体(t/ha/yr)	5.3	4.4
皮付き材積(m ³ /ha/yr)	5.6	6.0
皮なし材積(m ³ /ha/yr)	4.4	5.7

炭素量はバイオマスの50%とした。

3) リター及び土壌炭素バイオマス

国際緑化推進センター 大角泰夫
タイ王室林野局 Ms. Sirirat

はじめに

CDMプロジェクトにおいてはリター固定炭素は当然として、土壌バイオマス炭素も測定することが一部で提案されている。土壌炭素はサンプリング誤差、測定誤差が大きく、また計測に時間と経費がかかるうえ変動が緩やかで、相違を解析することに困難がある。そのため現在いろいろな場所でCDMプロジェクトにおいて検証に耐える客観的数値が得られるか検討されている。本事業においてもこのような目的で検討を進めている。

土壌やリター解析にはいろいろな方法があるが、CDMに焦点を定めた本事業で開発された太田の方法（第3章）に大要準拠した。プロット設定の骨子は、樹木バイオマス測定プロット内あるいはプロットに隣接する類似立地環境を示す地点において3カ所程度の土壌炭素バイオマス及びリター固定炭素解析プロットを設定し、土壌条件を解析すると共に、表層30cm以内の土壌炭素を分析するというものである。面積計算が最終的に必要となるので、体積がわかった、例えば円筒などによって土壌試料を採取する。なお、炭素分析など実験室での処理法は通常の湿式あるいは乾式燃焼法によることとした。

今回の調査はカウンターパートであるタイ王室林野局土壌研究室、Ms. Siriratが中心となって行い、大角がサポートするという形態で行った。土壌試料は現在王室林野局において土壌炭素分析等、分析中で結果をまとめている段階であるので、本報告においては概要を示す。

調査地及び試料採取

調査地は前年度の予備調査によってランパン県のMae Chang事業区を選定した。この事業区はタイ林業公社(FIO)によって設定されたチークの持続的な生産林である。

調査プロットは表4-4に示したように17年生と22年生のチーク林に設定された。調査プロット内の供試木5本が伐倒され、全供試木の地下部バイオマスが測定されたため、地表攪乱された範囲が広がった。そのため土壌採取地点の多くは調査プロットに隣接する類似立地環境を示す場所に設定した。太田の方法によれば1プロットあたり3カ所程度の土壌調査地点を設定することになっていたが、地形が入り組んでいたこともあり4~5地点の土壌を調査、採取した。なお、成長期のチーク林に共通する現象であるが、リター集積はほとんどなく、リターの解析は省略した。

土壌は地表以下50cmを掘り、土壌層を区分し、表層下30cmまでの各層から400cc円筒を用い、土壌を採取した。なお400cc円筒は各層から1コ宛採取した。また、一部の土壌では30cm以下の部分の土壌を採取した。

今回の二つのプロットは、土壌的にはやや異なり、17年生のプロットが石灰質堆積岩に由来し、やや石灰質が地域の中では弱い場所となっている。土壌の色も褐色を主体とする色で、おそらくこの場所はCambisolあるいはAcrisolに属するものと考えられ、eutricが接頭ワードとして入る可能性はある。今後の分析を待つ必要がある。22年生のプロット

トは石灰岩の露頭が散在する場所で黒色の土壌で構成されている。したがってcalcic Cambisolあるいはcalcaric Fluvisolに相当する可能性はある。そのため基本となる炭素量は多いと推定され、移動しやすい炭素の量の把握が困難である可能性がある。

分析方法

実験室に持ち帰った土壌試料は根を取り分け、風乾後2mmの篩でレキを分別し、2mm以下の風乾細土の重量を測定する。この値から400ccの体積内の風乾細土重の割合、容積重を計算する。

次に風乾細土の一部を0.02mm程度に粉碎し、CN測定器による乾式燃焼法によって炭素量を分析した。風乾細土中の水分割合を測定し、単位重量あたりの炭素を計測し、土壌400ccあたりの炭素量を計算する。このデータを基に各土壌層の炭素量を解析し、表層30cmまでの各土壌層に堆積した土壌炭素たし上げることによって生態系の炭素量を計算によって算定する。

この分析方法において若干問題になるポイントは、土壌酸度と炭素分析法との関係である。もし土壌のpHが7以上であるか、あきらかに石灰岩の破片が観察される場合にはCN測定器による乾式燃焼法は石灰岩や炭酸塩に由来する炭素が測定誤差となる。その場合はたとえばWalkley Black法などの湿式燃焼法を用いる方がよい。逆に海岸地帯や半乾燥地に多いが、塩素が多量存在する場合はこの方法は誤差が多い。したがって土壌炭素分析の前にはpH等ある程度の化学反応を確認しておく必要がある。

4) ベースラインの測定

早稲田大学 森川 靖

ベースラインの調査プロットは、調査地近郊に放置されてから約30年が経過した当地に典型的な乾燥フタバガキ林二次林内に設定した。プロットは、林分の最大樹高を考慮し10m×10mのプロットとした。

調査プロットでは、全ての樹木のDBHを測定した。また、樹高は約75%の樹木について実測し、測定が困難だった樹木については、チーク林と同じようにDBHと樹高の関係式より推定した。伐倒調査によるバイオマスの測定は行わなかった。

ベースラインの概要を表4-12に示す。

表4-12 ベースラインの概要

調査地	ベースライン
平均DBH (cm)	6.5
最大樹高 (m)	9.5
胸高断面積合計 (m ² /ha)	13.6

この調査地は、放棄されてから約30年と言われている。30年で胸高断面積合計が13.6m²/haとすると、チーク林の17年生および22年生で15.36m²/ha、15.26m²/haであることから、チーク林の炭素固定量はベースラインよりも、かなり大きいことが予想できる。

まとめ

調査を行ったそれぞれのチーク林分の地下部も含めたバイオマスでは、17年生で89.28t/ha、22年生で95.97t/haという結果を得た。また、胸高断面積合計では、それぞれ15.3m³/ha、15.2m³/haと、ベースラインとして設定した二次林の13.6m³/haを上回った。ベースラインに設定した二次林では伐倒調査によるバイオマスの測定は行わなかったが、チーク林分の胸高断面積合計が二次林を上回っていることから、チークによる造林で炭素クレジットが見込めることが推測された。

今回の調査地は、季節性の高い造成地であったため、東南アジアで広く造林されているAcacia mangiumなどの早生樹種と比較することは困難である。ただ、単純に比較した場合、本調査地におけるチーク林の炭素クレジットが早生樹種と比較すると少ないことが示唆された。

ベースラインについては、今回は放置後30年の二次林を選んだが、今後、明確な設定方法の確立が必要であろう。

今回、伐期に近い林分において、10本の伐倒試料木より満足な相対成長式を得ることができた。今後、こうした相対成長式を用いることにより、チーク林のバイオマス測定に役立つと思われる。

4-3 インドネシア・東カリマンタン州のスンカイ (*Peronema canescens*)、メリナ (*Gmelina arborea*) 林、ベースライン植生-アランアラン (*Imperata cylindrica*) 草地およびマカラング (*Macaranga spp.*) 二次林の炭素固定量調査

1) 調査概要

住友林業(株) 松根 健二
 東京大学 八木 久義
 国際緑化推進センター 大角 泰夫

- (1) 調査年月日 平成14年8月8日～20日 (樹木・ベースライン植生)
 平成14年8月17日～23日 (リター・土壌)

(2) 調査者

(樹木・ベースライン植生グループ)

松根 健二 住友林業(株)グリーン環境室スブル駐在
 Sunyoto Sebulu Laboratory, PT. Kutai Timber Indonesia
 Lukman Hakim Sebulu Laboratory, PT. Kutai Timber Indonesia

(リター・土壌グループ)

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
 大角 泰夫 国際緑化推進センター 技術顧問

(3) 調査場所

インドネシア共和国東カリマンタン州クタイカルタネガラ県スブル郡
 インドネシア林業省-KTI社の共同実施プロジェクトサイト・国有林

(4) 調査林分の情況

各調査林分の概況を表4-13に示す。

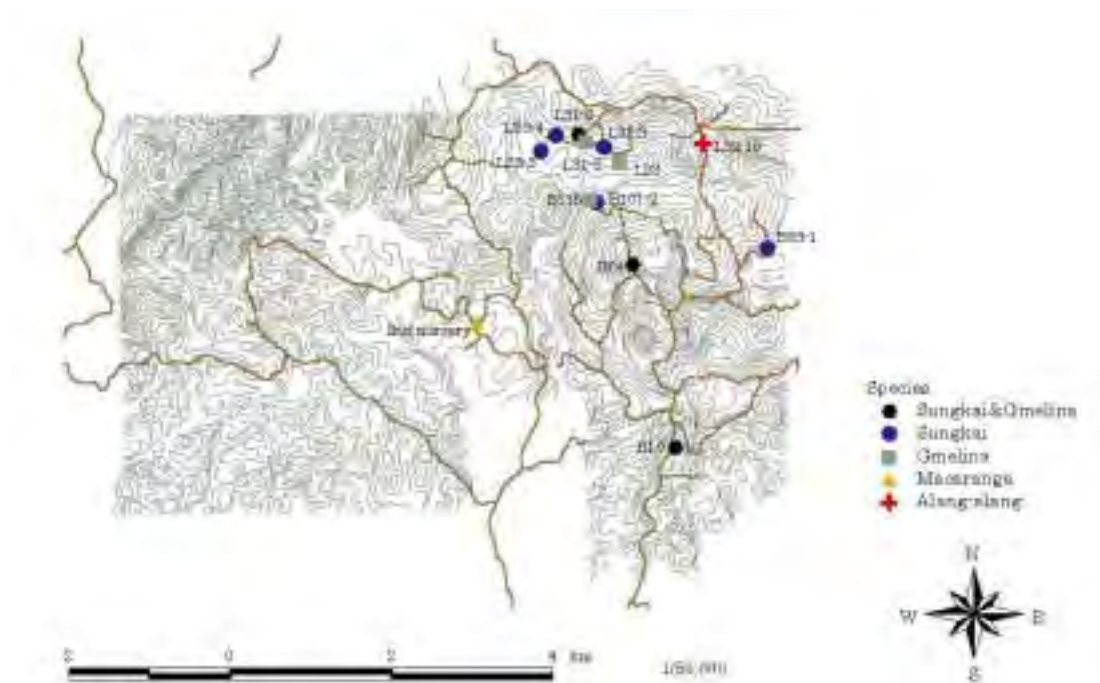
表4-13 ズブル調査林分の概況

樹種	植栽年 年	林齢 年	植栽間 隔 m × m	面積 m ²	傾斜 °
メリナ	1992	10	2m × 3m	2,000	-20.5
スンカイ	1992	10	2m × 3m	2,000	-20.5

本造林地はメリナ、スンカイ林分共にインドネシア林業省およびKTI社の共同実施プロジェクトにより造成されたもので、植林前までは焼畑跡のアラン・アラン草原であった。どちらもエルニーニョに起因する1997-1998年の大火災の被害を免れた林分である（図4-3）。

このほか、同じ時期及びそれ以降の森林火災後に更新した二次林およびアラン・アラン草原のバイオマス調査も実施した。

図4-3 ズブル実験林対象地



2) 対象樹種造林地の樹林・植生バイオマス調査

住友林業(株) 松根健二

成長調査

それぞれの林分は規則的な間隔で、列状に植栽されたものである。それぞれ標準的な場所に100本程度を囲い込むかたちで調査プロットを設置した。調査プロット内に出現した全個体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を図4-4に示す。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を表4-14に示す。

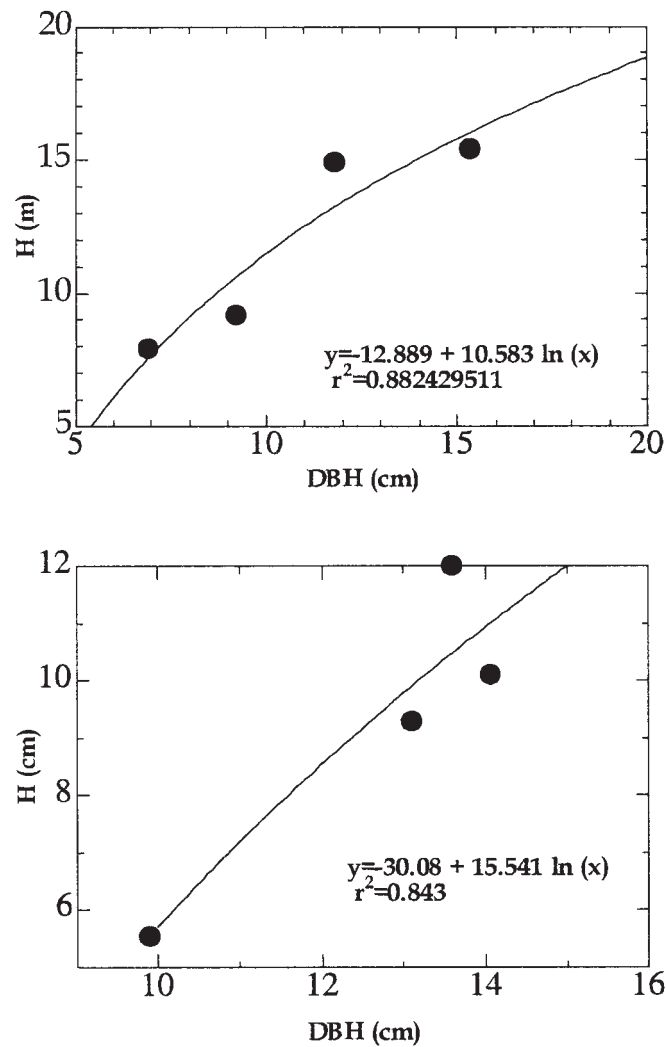


図4-4 胸高直径と樹高との関係 (上からメリナ、スンカイ)

表 4-14 胸高直径と樹高の関係式と式を利用した推定樹高

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

樹種	林齢	A	B	r ²	平均 DBH (cm)	推定 H (m)	実測 H (m)
メリナ	10	10.583	-12.889	0.882	15.9	13.3	13.4
スンカイ	10	15.541	30.080	0.843	10.5	7.6	9.6

各調査林分の密度、平均胸高直径、樹高等を表 4-15 に示す。尚、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 4-15 調査林分の状態

樹種	メリナ	スンカイ
林齢	10	10
植栽間隔	2m x 3m	2m x 3m
立木密度	1666.6 trees ha ⁻¹	1666.6 trees ha ⁻¹
平均 DBH	13.1cm	10.5cm
DBH Max-Min	2.5cm - 31.6cm	1.9cm - 18.2cm
平均樹高	13.3m	9.6m

次に、林分2ヶ所に2m x 2m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り取りし、生重量を測定後、乾重量を求めた。それらの結果を表 4-16 に示す。

表 4-16 調査林分の林床植生の乾重量

樹種	メリナ	スンカイ
植生量 (tDw ha ⁻¹)	2.5	2.0

バイオマス調査

メリナ林およびスンカイ林でそれぞれ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、森川 (2000) によった。各調査木の諸量を表 4-17 に示す。得られた相対成長式 $Dw = A(D^2)^B$ の係数を表 4-18 に示す。

表4-17 伐倒調査木の大きさ等

樹種 番号	メリナ			
	311	338	370	388
林齢	10	10	10	10
胸高直径 (cm)	10.7	18.9	13.6	7.9
樹高 (m)	9.2	15.4	14.9	7.9
皮付き材積 (m ³)	0.05	0.17	0.10	0.03
皮なし材積 (m ³)	0.04	0.15	0.09	0.02

樹種 番号	スンカイ			
	654	662	692	701
林齢	10	10	10	10
胸高直径 (cm)	14.2	15.9	14.3	10.5
樹高 (m)	9.3	10.1	12.0	5.5
皮付き材積 (m ³)	0.09	0.13	0.10	0.04
皮なし材積 (m ³)	0.08	0.11	0.10	0.04

表4-18 調査木の相対成長式の係数及び決定係数

樹種 係数	メリナ			スンカイ		
	A	B	r ²	A	B	r ²
材部	0.063	1.152	0.874	0.000	5.192	0.843
樹皮	0.016	1.003	0.797	0.014	1.199	0.244
枝	3.656	-0.080	0.004	0.018	1.293	0.709
葉	0.333	0.063	0.065	19.750	-0.427	0.056
根	0.020	1.373	0.908	0.000	27.823	0.759
地上部	0.100	1.108	0.955	0.000	3.341	0.803
全樹体	0.095	1.231	0.951	0.000	4.430	0.839

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、各調査木の根の重量を求めた。根の引き抜きは人力による掘り取りおよび水ポンプによる土砂の洗い落としによって行った。その際に切れた細根は全量に比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4-19に示す。

表4-19 各林分のバイオマス量及び炭素固定量

樹種 樹齡	メリナ	スンカイ
	10	10
立木密度 (本 ha ⁻¹)	1666.7	1666.7
胸高断面積合計 (cm ² ha ⁻¹)	10.25	6.62
皮付き樹幹材積 (m ³ ha ⁻¹)	82.64	8.07
乾重量 (tDw ha ⁻¹)		
材部	19.39	9.02
樹皮	2.12	0.56
枝	1.58	1.18
葉	0.29	0.13
地上部	22.03	8.10
根	23.38	10.90
全樹体	45.41	18.99
全植生	47.91	20.99
炭素量 (tC ha ⁻¹)		
地上部	6.02	2.81
全樹体	11.69	4.89
全植生		
年成長率		
地上部 (tDw ha ⁻¹ yr ⁻¹)	2.34	1.09
全樹体 (tDw ha ⁻¹ yr ⁻¹)	4.54	1.90
全植生 (tDw ha ⁻¹ yr)	4.79	2.09
地上部 (tC ha ⁻¹ yr ⁻¹)	1.17	0.49
材積 (m ³ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	8.26	0.81

なお、今回の調査結果はメリナにおける葉および枝、スンカイにおける葉に関して、相対成長式の決定係数が低かった(表4-19)。したがって、メリナ植栽地の葉および枝、スンカイ植栽地の葉に関して、林分単位の推定バイオマス量の精度は低い。

参考文献

Morikawa Y.: Manual of Biomass Measurements - in plantation and in regenerated vegetation-, 2000, pp.1-16, JIFPRO and JOPP

3) リター及び土壌炭素、ベースライン植生土壌炭素調査

八木久義 (三重大学生物資源学部共生環境学科)

益守真也、田原恒、野口亮、梶浦雅子

(東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻)

1. はじめに

熱帯地域で行われている人工造林により土壌へ蓄積する炭素量を評価する手法の開発を目的として、インドネシア共和国東カリマンタン州スブル実験林に造成されたメリナ、スンカイ人工造林地と、マカラング二次林地、およびアララン草地において土壌調査を行い、それぞれの土壌中に蓄積されている炭素量、および地表に堆積した落葉落枝層(リター層)に固定されている炭素量を測定し、検討を加えた。

2. 調査地および調査・分析方法

調査は、インドネシア共和国東カリマンタン州の、住友林業とインドネシア林業省による熱帯林再生のための共同研究が実施されている、スブル実験林で行った。

調査対象地は、第三系の砂岩・頁岩の互層からなる波状丘陵地に位置するスブル実験林Block 10に1992年造成されたメリナ (*Gmelina arborea*) 人工林、同じく1992年植栽のスンカイ (*Peronema canescens*) 人工林、1997~1998年の森林火災後に天然更新したマカラング (*Macaranga gigantea*) 二次林、およびLocation 32の度重なる山火事や焼畑のための火入れなどにより草地化したアララン (*Imperata cylindrica*) 草地である。

いずれも先行して、人工林、および萌芽林や草地などのベースライン植生のバイオマス調査が行われたところである(図4-3)。

それらの人工林、萌芽林、および草地に設定されたバイオマス調査プロット内或いはその近接地において、一定の深さまでの土壌およ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、試孔を掘り土壌断面を調査すると共に、分析試料を採取した。

なお、調査期間および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或いはその近接地で、樹木や林床植生などの成長状態、地形、およ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、根が集中的に分布すると共に、土壌炭素が主として蓄積してい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)までの層位から、炭素含有率分析用の土壌、および土壌の比重測定用の円筒試料を採取した。

また参考のため、リターや根の分解に伴いもたらされる易分解性の回転の速い炭素が少くなり、土壌鉱質物と強く結合した難分解性の回転の遅い炭素の割合が多くなると考えられる深さ30~50cmの部位からも、炭素含有率測定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、および根に分別し、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、および根に分別し、それぞれを秤量後日本に持ち帰り、定法により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

リター層についても、土壌炭素蓄積量測定法に準じて、土壌調査を行った試孔の近接地で樹木や林床植生などの成長状態、地形、およ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落葉落枝などの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出した。

3. 結果

3-1. 土壌調査結果

スブル実験林で調査したメリナ、スンカイ造林地、マカラング二次林地、およびアランアラン草地の土壌の断面形態の特徴は表4-20のとおりである。

メリナ造林地は、第三系の砂岩・頁岩互層からなる波状丘陵地の平衡斜面に、ヘクタール当たり1666本の密度で1992年に造成されたものである。砂岩・頁岩を母材とした土壌の形態的特徴としては、土性（粒径組成）が砂壤土ないし砂質埴壤土と多かれ少なかれ砂画分を含んでいたが、No. 2 およびNo. 3 土壌では次表層以下が極めて堅密であり腐植の浸透・集積が不良で、土壌構造の発達は概して不良であった。土層が全体的に強く乾燥しているため、有機物が集積した暗色A層の土色の明度が高い値を示した。

スンカイ造林地は、メリナ造林地と隣接して同じ斜面にヘクタール当たり1666本の密度で1992年に造成されたものである。従って、砂岩・頁岩を母材とした土壌の断面形態的特徴もメリナ造林地の土壌に類似していたが、水湿状態がより乾燥しており、堅密度はより大きい値を示し、角塊状構造と共に粒状構造が発達していた。また、No. 3 土壌は直ぐ上部に位置する林道の開設時の切り取り土を盛土したところと考えられる。

マカラング二次林は、波状丘陵地内の開析の進んだ低標高の緩斜面に、1997-98年の森林火災後に天然更新した二次林である。更新直後の数年はマカラングの密生林であったが、時間の経過と共に進行する植生遷移に伴いマカラングの枯損が進み、かろうじてマ

表 4 -20 調査土壤の断面形態の特徴

対象樹種造林地

(1) メリナ造林地土壤

標高・母材：120m (No.1), 125m (No.2), 130m (No.3) ・第三系砂岩・頁岩

断面 No.	層位	深さ (cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	(A)	0-9	10YR7/3	含む	SL	aB	21	乾	小中含む	平衡斜面上部 S62E, 15 度
	BC1	9-26	10YR6/4	乏し	SL	Ma	28	乾	小中含む	
	BC2	26-52	10YR6.5/6	乏し	(S)L	aB	21	やや乾	やや含む	
	BC3	52+	10YR5/6	乏し	(S)L	aB	18	やや乾	やや含む	
No.2	A	0-12	10YR5/2.5	やや富む	SL	waB	21	乾	小中含む	平衡斜面中部 S63E, 12 度
	AB	12-18	10YR5/3	やや含む	SL	Ma	29	乾	やや含む	
	B1	18-39	10YR6/6	乏し	SL	Ma	32	乾	小中有り	
	B2	39-60+	10YR6/7	乏し	(S)L	Ma	32	やや乾	小中有り	
No.3	A	0-11	10YR6/3.5	やや富む	SCL	waB	23	乾	細小富む	平衡斜面中下部 S70E, 13 度
	B	11-19	10YR6/5	やや含む	SCL	waB	29	乾	やや含む	
	B1	19-31	10YR6/6	乏し	SCL	Ma	31	乾	小中有り	
	B2	31-60+	10YR6/7	乏し	SCL	Ma	31	やや乾	小中有り	

(2) スンカイ造林地土壤

標高・母材：120m (No.1), 125m (No.2), 130m (No.3) ・第三系砂岩・頁岩

断面 No.	層位	深さ (cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	A	0-12	10YR5/3	富む	(S)L	Gr,aB	21	乾	細小富む	平衡斜面中部 S80E, 12 度
	AB	12-27	10YR5/4	含む	SL	waB	28	乾	細小含む	
	B1	27-41	7.5YR7/7	乏し	SL	Ma	28	乾	小中有り	
	B2	41-55+	7.5YR6/7	乏し	(S)L	Ma	33	乾	小中有り	
No.2	A	0-12	10YR6/3	やや富む	(L)S	Gr,aB	30	乾	細小富む	平衡斜面中部,E 11 度
	B1	12-27	10YR6/6	乏し	SL	waB	32	乾	小中含む	
	B2	27-51+	10YR6/7	乏し	(L)S	Ma	32	乾	小中有り	
No.3	A	0-12	10YR5/3	やや富む	SL	Gr,aB	22	乾	細小富む	平衡斜面上部,E 11 度
	B1	12-30	10YR8/4	乏し	SL	waB	30	乾	小中含む	
	B2	30-56+	10YR8/7	乏し	SL	Ma	30	乾	小中有り	

ベースライン植生

(3) マカランガ二次林地土壌

標高・母材：30m(No.1), 27m(No.2)・第三系砂岩・頁岩

断面 No.	層位	深さ (cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	A	0-10	2.5Y6/3	やや富む	(C)L	waB	26	乾	細小含む	平衡緩斜面頂部付近 S62W,8度
	B1	10-29	2.5Y6/5	乏し	SCL	waB	28	乾	小中有り	
	B2	29-50	10YR6/6	乏し	SCL	Ma	28	やや乾	小中有り	
	B3	50-60+	10YR6/7	乏し	(S)L	Ma	26	潤	細小有り	
No.2	A	0-7	10YR5/3	やや富む	(C)L	waB	25	乾	細小富む	平衡緩斜面 S23W,8度
	B1	7-23	10YR5/6	乏し	CL	waB	29	やや乾	小中含む	
	B2	23-48	10YR5/7	乏し	(L)C	Ma	28	潤	小中有り	
	B3	48-60+	10YR6/7	乏し	(L)C	Ma	27	やや湿	細小有り	

(4) アランアラン草地土壌

標高・母材：205m(No.1), 210m(No.2), 220m(No.3)・第三系砂岩・頁岩

断面 No.	層位	深さ (cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	A	0-6	10YR5/3	やや富む	SCL	aB	24	やや乾	細小富む	斜面中部, N57E 16度
	B1	6-28	10YR5/5	乏し	SiC	waB	28	潤	細小含む	
	B2	28-54+	7.5YR5/6	乏し	SiC	Ma	28	やや湿	細小有り	
No.2	(A)	0-10	10YR6/4	やや富む	SiC	waB	24	乾	細小富む	斜面中部, N82E 13度
	B1	10-29	10YR5/5	乏し	SiC	Ma	29	やや乾	細小含む	
	B2	29-60+	7.5YR5/6	乏し	(Si)C	Ma	27	やや湿	細小有り	
No.3	A	0-6	10YR5/3	やや富む	SiL	waB	24	やや乾	細小富む	斜面中上部, N68E 16度
	B1	6-25	10YR5.5/6	乏し	SiL	Ma	30	やや乾	細小含む	
	B2	25-60+	7.5YR5.5/6	乏し	SiL	Ma	30	やや湿	細小有り	

土性 (粒径組成) = 埴土: C, 微砂質埴土: SiC, 微砂質埴壤土: SiCL, 埴壤土: CL,
壤土: L, 砂質埴壤土: SCL, 砂壤土: SL

構造 = 角塊状: aB, 粒状: Gr, 壁状: Ma, 弱度: w

堅密度 = 山中式硬度計読取り値

カラング林の状態を保っている二次林である。土壤の形態的特徴としては、土性が砂質埴壤土から埴壤土と細粒質で、土壤構造は表層に弱度の角塊状のものが認められたが下層は堅密な壁状構造であった。表層から次表層にかけては乾いていたが、下層は地形的な影響も反映し適度に湿っていた。

アランアラン草地は、波状丘陵地の斜面中部～中上部に分布していた森林が度重なる森林火災や焼畑のための火入れによって退化し草地化したものである。土壤の形態的特徴としては、土性が微砂質壤土～埴土で、表層には角塊状構造の発達が見られ下層は堅密で壁状であるが、下層にまで至るクラックが発達していた。水分状態は、表層は比較的乾燥していたが、下層は潤～やや湿であるなど湿り気を帯びており、土壤の保水性が大きいことが窺われた。

3-2. 土壤炭素およびリター炭素分析結果

それらの土壤の炭素含有率の分析結果は表4-21のとおりである。

表層から30cm深までの土壤の中に蓄積している有機物に含まれる炭素量は、メリナ造林地では43.5～55.1t/ha、平均で約48t/ha、スンカイ造林地では41.1～76.2t/ha、平均で約57t/ha、マカラング二次林地では41.1～42.6t/ha、平均で約42t/ha、アランアラン草地では44.8～66.2t/ha、平均で約56t/haであった。

このように表層から30cm深までの土壤中の蓄積炭素量では、スンカイ造林地とアランアラン草地がほぼ同じで最も多く、続いてメリナ造林地、マカラング二次林地の順であった。

また、表層から50cm深までの土壤中に蓄積している炭素量は、メリナ造林地、スンカイ造林地、およびアランアラン草地が70～72t/haとほぼ同じであったが、マカラング二次林地では56t/haと最も小さい値を示した。

そのため、50cm深までの土壤炭素蓄積量と30cm深までの土壤炭素蓄積量の差、即ち、30～50cmの間の土壤中に蓄積されている炭素量はメリナ造林地が22t/ha、スンカイ造林地が15t/ha、マカラング二次林地が14t/ha、アランアラン草地が16t/haであり、それらの30cm深までの土壤炭素蓄積量に対して占める割合は、メリナ造林地で46%、スンカイ造林地で27%、アランアラン草地で29%、マカラング二次林地で33%であった。

このように30～50cmの間の土壤中に蓄積されている炭素量は、スンカイ造林地、マカラング二次林地、およびアランアラン草地では、30cm深までの土壤炭素蓄積量の30%前後であったが、メリナ造林地においては、30cm深までの炭素量のおよそ半分にも相当するなど、他の造林地などと比較して大きな割合を示した。これは、メリナが深根性であることを示唆しているものと思われる。

また、アランアラン草地の土壤炭素蓄積量が比較的大きな値を示したが、これは草地では土壤中に多量に存在する根から供給される炭素の影響が大きいこと、および同地の土壤が細粒質で有機物との結合力が大きく、多量の土壤炭素を蓄積する能力が大きいことなどがその主な原因と考えられる。

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の炭素含有率を分析した結果は、表4-22のとおりである。

表4 -21 土壌の深さ別炭素含有率および蓄積量

対象樹種造林地

(1) メリナ造林地土壌

断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0-9	1.36	7.9	0.1	18.0		
	9-26	1.25	7.4	0.1	33.9		
	26-52	1.17	5.2	1.4	36.0	55.1	87.8
No.2	0-12	1.62	7.7	0.6	25.0		
	12-18	0.57	3.6	0.1	5.6		
	18-39	0.49	3.5	1.6	25.5	45.9	
	39-60	0.52	2.3	0.1	7.2		63.4
No.3	0-11	1.40	7.8	0.2	22.0		
	11-19	0.84	4.7	0.2	8.5		
	19-31	0.45	3.2	1.1	15.1	43.5	
	31-60	0.35	2.5	0.5	13.8		59.4
					48.2	70.2	

(2) スンカイ造林地土壌

断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0-12	2.89	14.1	0.5	47.8		
	12-27	1.04	6.1	1.0	24.9		
	27-41	0.65	4.2	0.5	17.4	76.2	
	41-55	0.51	3.3	0.3	7.1		97.1
No.2	0-12	1.15	6.9	1.1	24.1		
	12-27	0.58	4.0	0.1	15.3		
	27-51	0.32	2.1	0.2	13.0	41.1	52.4
No.3	0-12	1.60	8.5	2.0	34.2		
	12-30	0.66	4.2	0.1	18.5	52.7	
	30-56	0.42	2.7	0.1	14.1		66.9
					56.7	72.1	

ベースライン植生

(3) マカランガ二次林地土壌

断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0-10	1.86	9.3	0.8	25.2	42.6	54.3
	10-29	0.61	3.5	0.1	16.2		
	29-50	0.36	2.3	0.0	12.8		
No.2	0- 7	2.11	10.1	2.9	22.6	41.1	57.1
	7-23	0.53	2.9	0.3	13.6		
	23-48	0.53	2.9	0.3	20.9		
	48-60	0.43	2.3	0.1	6.2		
						41.9	55.7

(4) アランアラン草地土壌

断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0- 6	2.25	10.3	4.9	30.4	66.2	86.8
	6-28	0.97	5.5	1.3	33.8		
	28-54	0.73	4.1	0.0	22.6		
No.2	0-10	1.71	9.0	1.4	25.9	56.3	71.6
	10-29	0.89	5.0	1.1	30.4		
	29-60	0.53	3.0	0.1	15.4		
No.3	0- 6	2.67	11.5	5.0	20.7	44.8	58.5
	6-25	0.64	3.9	0.2	21.4		
	25-60	0.44	2.7	0.0	16.4		
						55.8	72.3

リター層の炭素蓄積量は、メリナ造林地では2.02～4.82t/ha、平均約3.2t/ha、スンカイ造林地では1.54～3.06t/ha、平均約2.2t/haであり、いずれも表層から30cm深までの土壤に蓄積している炭素量のそれぞれ約7%および4%であった。

しかし、マカラング二次林とアランアラン草地では、比較的新鮮な落葉落枝が疎らに散在するのみでリター層が形成されていなかったため、試料採取が困難であった。

[参考文献]

- (1) 土壤圏の科学。東京大学農学部編、朝倉書店、1997
- (2) 土壤養分分析法。土壤養分測定法委員会編、養賢堂、1970
- (3) 熱帯の土壤。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 熱帯土壤学提要。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

表4-22 各林のリター層の炭素蓄積量

(1) メリナ造林地

番号	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	122	96	0.79	1224	4.82	4.82	
No.2	123	104	0.85	634	2.68	2.68	
No.3	86	73	0.85	476	2.02	2.02	3.17

(2) スンカイ造林地

番号	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	86	71	0.83	374	1.54	1.54	
No.2	112	101	0.90	472	2.13	2.13	
No.3	114	100	0.88	698	3.06	3.06	2.24

4) ベースライン植生による炭素固定量調査

住友林業(株) 松根健二

植栽地の周辺の植生である二次林及びアラン・アラン草地のバイオマス量を表4-23に示す。

表4-23 調査林分の林床植生の乾重量

植生	二次林	アラン・アラン草地
植生量 (tDw ha^{-1})	30.96	12.6

今回調査した二次林の主な構成種は、*Macaranga* spp.、*Trema orientalis*、*Trema tomentosa*、*Piper aduncum*であった。これらは本地域の森林火災後に更新した二次林の典型的な構成種である。また、林分の平均樹高は6～7mであった。対象林分は1997～98年の森林火災後に更新した二次林であることが分かっている。このことから調査時点(2002年8月)までのバイオマスの年成長率は6.19 tDw $ha^{-1} yr^{-1}$ であると推定された。

今回調査したアラン・アラン草地の植生は、イネ科草本のアラン・アラン (*Imperata cylindrica*) のみで、他の植生をほとんど含まなかった。当該地域に広く分布するアラン・アラン草地の典型的な植生である。対象とした草地は2000年4月の失火によって成立したものであった。このことから調査時点までのバイオマスの年成長率は1.34 tDw $ha^{-1} yr^{-1}$ であると推定された。

調査した二次林およびアラン・アラン草地のバイオマス年成長量を年間の炭素固定量に変換すると、それぞれ3.10tC $ha^{-1} yr^{-1}$ 、0.67tC $ha^{-1} yr^{-1}$ であった。

森川はムラワルマン大学・ブキツスハルト演習林での調査結果として、*Macaranga*の優占する二次林の炭素固定量を2.9～5.7tC $ha^{-1} yr^{-1}$ 、アラン・アラン草地の炭素固定量を0.6～1.3tC $ha^{-1} yr^{-1}$ とした。今回の調査結果は森川の示した数値の範囲内であり、東カリマンタン地域における森林火災跡地のベースライン植生の炭素固定量(ベースライン)として一般化できる可能性を示唆するものである。

今回調査した地域に広く分布する森林火災後に更新した二次林は今回の調査で出現した先駆樹種のみから構成され、原植生である低地フタバガキ林の構成種は広い範囲に渡って失われている。このことから、同地域の森林火災後の更新した二次林の遷移は今ある構成種のみで推移し、固定される炭素量も高い初期成長の後にはほとんど固定しないことが予想される。今回の調査では、*Macaranga*等先駆樹種の枯損の急速に進んでいることが観察されたが、木本の更新(前生稚樹の存在もしくは、木本植物の発芽等)は観察されなかった。

今回調査した地域に広く分布するアラン・アラン草地は、今回調査したアラン・アラン草地と同様その植生は、イネ科草本のアラン・アラン (*Imperata cylindrica*) のみで、他の植生をほとんど含まず、また一般に他の植生への遷移もほとんど観察されない。このことは、アラン・アラン草地の現存量が更新の初年度以降ほとんど変化しないことを示唆する。

以上のことから、今回調査した地域におけるベースライン植生としての二次林あるいはアラン・アラン草地の炭素固定は、経時変化のパターンとして更新初期に高い固定量を示し、その後は現存量を維持するにのみで、ほとんど固定しないことが考えられる。

二次林の炭素固定が、5年間（更新から調査時点）で頭打ちになると仮定して、メリナおよびスンカイの植栽地の炭素固定量を二次林の炭素固定量と比較した場合、メリナ、スンカイのどちらの植栽地もともに、最近10年間（1992～2002年）の比較では二次林の炭素固定量を下回った。

メリナは当地域では、パルプを目的とした産業造林で植栽されている早生樹である。その伐期は約8年であり、そうした短伐期施業の下でのメリナ植林事業は炭素固定の目的としては機能しないことが示唆された。但し、同樹種は合板等用材生産を目的とした植林も可能である。伐期を15～20年以上に設定した場合には、二次林の炭素固定量を上回る施業管理も十分可能であると考えられる。

アラン・アラン草地の炭素固定が、1年間で頭打ちになると仮定して、メリナおよびスンカイの植栽地の炭素固定量をアラン・アラン草地の炭素固定量と比較した場合、メリナでは2年、スンカイでは3年目以降から、アラン・アラン草地の炭素固定量を上回ることが示唆された。アラン・アラン草地のメリナ、スンカイ植林地への転換は、炭素固定の目的として、有効であると考えられる。

4-4 インドネシア・中部ジャワ、アルビジア (*Paraserianthes falcatalia*)、メルクシマツ (*Pinus merkusii*) 及びチーク (*Tectona grandis*) 林のCDM土壌炭素固定量調査

1) 調査概要

東京大学 八木 久義
国際緑化推進センター 大角泰夫

(1) 調査年月日 平成14年8月23日～30日
(樹木調査：平成13年9月5日～15日)

(2) 調査者

Prof. Dr. Ir. Sri Nugroho Marsoem ガジヤマダ大学林学部 副学部長
Mr. Joko ガジヤマダ大学林産学科 講師
八木 久義 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
- 現三重大学 生物資源学部 教授 -
田原 恒 東京大学大学院農学生命科学研究科 大学院生
野口 亮 東京大学大学院農学生命科学研究科 大学院生
大角 泰夫 国際緑化推進センター 顧問・主任研究員
長塚 耀一 国際緑化推進センター 企画部長
(森 徳典* 国際緑化推進センター 顧問・主任研究員)

*：樹木・林床植生バイオマス現地調査は昨年度「植林適地等把握調査事業」で行った

(3) 調査場所

インドネシア国中部ジャワ
チーク林 Kubumen郡Ayah村
メルクシマツ林 Purwarejo郡Kalilo村
アルビジア林 ジョクジャカルタ市Cangkringan村

(4) 調査林分の概況

表4-24 中部ジャワ調査林分の概況

樹種	植栽年	林齢*	植栽間隔	傾斜	海拔	土壌
	年	年	m×m		m	
チーク	1987	15	2×3	30～40°	20	calcic Cambisol
メルクシマツ	1987	15	2×3	10～20°	710	Andisol
アルビジア	1995	7	2×4	3°	720	Regosol

注：*2002年樹木調査時点

チーク林は、集落に隣接した林分で、一部の生葉が包装材料として経年的に採取・利用されている。石灰岩地帯の急傾斜地の石灰岩風化物に由来する比較的浅い土壌に植栽されており、成長は良好である。植栽以前の状況は焼畑等傾斜地農業で利用されていた。

メルクシマツ林は、古い火山岩山地に位置し、生態的適用性から標高が高い。造林地は、開折が進んだ細かい地形上に位置し、火山灰起源のAndisol土壤で、排水等は良好、成長も比較的良い。近傍のマツ林では樹脂採取が行われているのでこの林分も将来的には樹脂採取が行われると考えられる。アルビジア林はメラピ火山の新規堆積物上に造林されており、土壤は未熟である。通常の植物には好適とはいえないがアルビジアの成長は良好である。今回調査対象とした3林分は全て植栽木間に作物を栽培するTumpang sari方式によるアグロフォレストリーで植栽された。現在もメルクシマツ林とアルビジア林ではコーヒーやショウガ等の耐陰性作物が栽培されている。

樹木及び林床植生による炭素固定の調査は、昨年度の「植栽適地等把握調査」で行われており、造林地全体の炭素固定量を把握する目的から、本報告に概要を記した。

2) 樹木・植生のバイオマス調査 (概要)

国際緑化推進センター 森 徳典

中部ジャワの代表的造林樹種であるチーク (*Tectona grandis*)、メルクシマツ (*Pinus merkusii*)、セゴン (*Paraserianthes falcataria*) の各造林木の炭素固定量を2001年に測定した。結果の詳細は、「植林適地等把握調査、平成13年度実行報告書」(国際緑化推進センター) のⅢ-2 「インドネシア、ジャワ島のチーク、メルクシマツ等」(20-33頁) に記載されているので参照されたい。調査地の林地概要を表4-25に示した。

表4-25 調査林地の概要

調査地	樹種	林齢 (年)	海拔 (m)	傾斜 (°)	面積 (ha)	土壤母材
中部ジャワ Rowokele 郡 Kalisari 村	チーク(<i>Tectona grandis</i>)	5	300	0~12	10.5	石灰岩
中部ジャワ Kebumen 郡 Ayah 村	〃	15	20	30~40	7	〃
〃	〃	25	120	20~25	-	〃
中部ジャワ Purwarejo 郡 Kalilo 村	メルクシマツ(<i>Pinus merkusii</i>)	8	760	20~30	3.5	火山灰
〃	〃	15	710	10~20	32.8	〃
〃	〃	24	700	2~4	11.1	〃
ジョクジャカルタ市 Cangkringan 村	セゴン(<i>Paraserianthes falcataria</i>)	7	720	3	0.2	未熟火山灰

それぞれの林分構造は表4-26の通りであった。このうち、チークの25年生林分は海岸に近く、潮風のために樹高が低く、樹高曲線（胸高直径と樹高の関係）は明らかに他の2林分（5、15年生）より低くなっていた。これは25年生の林分の平均樹高が15年生より低いことから推測できる。チークとメルクシマツは10年生頃に強度の間伐と15年生の頃に弱度の間伐が実行されている。

表4-26 調査林分の諸数値

樹種	植栽間隔		立木密度 (本/ha)	平均		胸高断面積 合計(m ² /ha)
	(mxm)	林齢(年)		DBH(cm)	平均樹高(m)	
チーク	1 x 3	5	2,755	7.0	9.2	10.72
	2 x 3	15	441	21.3	19.3	15.76
	2 x 3	25	395	22.6	13.5	15.85
マツ	2 x 3	8	1,267	18.3	14.8	33.15
	2 x 3	15	475	26.9	20.1	27.00
	2 x 3	24	311	35.5	23.9	30.83
セゴン	2 x 4	7	1,147	16.1	17.4	23.30

植物のバイオマス量を表4-27に示した。植栽木全体のバイオマス量は、チークは林齢とともに増加したが、メルクシマツでは、8年生でもっとも多かった。メルクシマツの林床で栽培されていたカリアンドラ（飼料木）や薬草類などのバイオマス（ただし根は除く）加えた全植生バイオマスと比べても、8年生が最も多かった。これは、8年生の立木密度が高いからであると考えられる。このことは、最大限のバイオマス量を得るには、15年生、25年生の林分はもう少し高密度で管理することが、太陽光を最大限に利用する上で有利であるといえる。

炭素量は常法に従いバイオマス量の50%ととして計算した。これにリター炭素量（メルクシマツのみ、チークとセゴン林にはリターはなかった）と土壌中の炭素量（0-30cm及び0-50cm）を加えた造林地生態系に存在する全炭素量（ただし、林床植物の根を除く）とし、表4-27の下段に示した。なお、土壌炭素量はチークとメルクシマツの15年生林分とセゴンの7年生林分の各3箇所からの平均値である。ここでの結果から、地中30cmから上部の土壌層と全植物体に含まれるha当たりの炭素量は、150トン炭素前後であり、地中50cmまでの層とすると、それはおおよそ170~200トン炭素と推定された。全炭素量中土壌（0-30cm）中の炭素が占める割合は、チークとセゴンでは約6割と土壌中が多く、メルクシマツでは逆に4割程度と土壌中の炭素が少なくなった。これには土壌の性質とリターの分解の早さや人による収集の有無が関係するであろう。今後は土壌中の炭素量が林齢によってどのように変化するかを知ることが、モニタリングの簡易化を図る上で重要であると思われる。したがって、熱帯の代表的な土壌に成立する0、10、20、30年生程度の代表的樹種の林分で、土壌炭素を測定して、その変化の範囲を知ることは重要であると考えられる。

表 4-27 各林分生態系のバイオマス量, 炭素量

樹 齢	チーク			マツ			セゴシ
	5	15	25	8	15	24	7
皮付き樹幹材積(m ³ /ha)	79.82	178.43	192.22	288.81	260.26	317.54	240.75
乾重量(t/ha)							
材部	32.77	61.38	65.03	122.18	101.70	116.28	64.72
樹皮	5.77	8.80	9.15	18.01	14.99	17.14	6.91
枝	5.17	18.44	20.81	19.59	16.24	18.51	17.81
葉	1.75	2.47	2.55	8.22	5.24	4.85	3.93
地上部	45.46	91.10	97.53	167.99	138.17	156.79	93.37
根	11.15	20.37	21.53	44.31	36.88	42.17	15.18
全樹体	56.61	111.46	119.06	212.30	175.05	198.96	108.55
全植生*	57.81	113.46	122.57	215.92	180.63	202.95	109.52
植物炭素量(tC/ha)							
地上部	22.73	45.55	48.77	84.00	69.08	78.39	46.68
全樹体	28.30	55.73	59.53	106.15	87.52	99.48	54.27
全植生	28.91	56.73	61.29	107.96	90.32	101.48	54.76
リター炭素量(tC/ha)		0			3.86		0
土壌炭素量(tC/ha)							
0 30cm		80.29			60.29		93.00
0 50cm		113.23			79.43		154.39
総炭素量**(tC/ha)							
植物+土壌 30cm		137.02			154.47		147.76
植物+土壌 50cm		169.96			173.61		209.15
* 樹木+林床植物、ただし林床植物の地下部を除いた全量							
** ただし、林床植物の地下部炭素を除く							

(附) 植林木の炭素貯留量の簡易な推定法

バイオマス量は植栽木の高さと立木密度および幹の容積重を主要な関数として変化すると考えられる。そこで、植栽木の高さや幹容積重がほぼ中庸な人工林では、植栽木のバイオマス量は気候、土地条件に関係なく、胸高断面積合計 (m³/ha) と関係が深いと思われる。

そこで、dataの多い地上部重について、東南アジアで測定されているバイオマス量と胸高断面積合計の関係を求めてみた (図 4-5)。その結果、場所、樹種、植栽密度、管理様式 (産業植林、環境植林)、あるいは早成樹と用材樹などの区別なく、林齢30年程度までなら、次のような一つの関係式で示せるようである。

$$Dw = 6.12Ba - 18.56 \quad R^2: 0.931$$

(Dw: 地上部乾重 (ton/ha) Ba: 胸高断面積合計 (m²/ha))

日本のヒノキ林で、胸高断面積合計が60m²/haで地上部重263ton/haという値が報告されているので、この値は上式の範囲内であり、温帯の針葉樹林でも同じ関係で表せる可能性がある。したがって、幹材の容積重がほぼ中庸な樹種であれば、広範な種類の人工林に対して、上式の関係が適用できる可能性があるといえる。今後は、容積重が1を越えるような重い材やバルサのような軽い材についての検証は必要であろう。また、樹高が40、50mを越える熱帯降雨林のバイオマス量については、上式より係数が大きくなることが確かめられた。

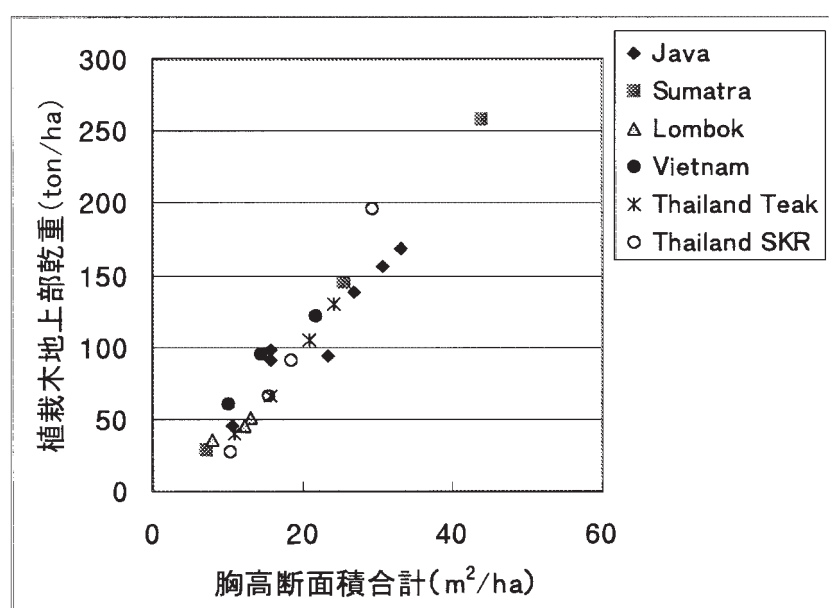


図4-5 いろいろな人工林の胸高断面積合計と地上部乾重の関係

Java : *Tectona grandis*, *Pinus meruksii*, *Paraserianthes falcataria*

Sumatra : *Swietenia macropylla*, *Peronema canescens*, *Acacia mangium*

Lombok : *Dalbergia latifolia*, *Azadirachta indica*, *Cassia siamea*

Vietnam : *A. auriculiformis*, *A. mangium*, *E. camaldulensis*

Thailand Teak : *T. grandis* 13, 13, 14, & 21 years old

Thailand SKR : *A. mangium*, *D. cochinchinensis*, *Xylia xylocarpa*,

Pterocarpus macrocarpus

3) 土壌およびリターバイオマス調査

八木久義 (三重大学生物資源学部共生環境学科)
益守真也、田原恒、野口亮、梶浦雅子
(東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻)

1. はじめに

熱帯地域において進められている、各種早生樹の人工造林により蓄積される土壌炭素量を評価することを目的として、インドネシア共和国中部ジャワ地域に造成されたメルクシマツ、チーク、およびアルビジア人工造林地において土壌調査を行い、それぞれの土壌中に蓄積されている炭素量、および地表に堆積した落葉落枝層（リター層）に固定されている炭素量を測定し、検討を加えた。

2. 調査地および調査・分析方法

調査地は、同国中部ジャワ州の国営林業公社により造成された人工林である。これらの造林地は、ジョクジャカルタ西方の石灰岩を基岩とする丘陵地に1987年に植栽されたメルクシマツ (*Pinus merkusii*) 人工林、同じく1987年植栽のチーク (*Tectona grandis*) 人工林、およびメラピ火山山麓の1995年植栽のアルビジア (*Paraserianthes falcataria*) 人工林である。

調査は前項で示したように、それらの人工林に設定されたバイオマス調査プロット内或いはその近接地において、一定の深さまでの土壌およ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行われた。具体的には、試孔を掘り土壌断面を調査すると共に、分析試料を採取した。

なお、調査期間および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

土壌炭素用試料は、各バイオマス調査プロット内或いはその近接地で、植栽樹木や林床植生の成長状態、地形、およ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、根が集中的に分布すると共に、土壌炭素が主として蓄積してい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) までの層位から、炭素含有率分析用の土壌、および土壌の比重測定用の円筒試料を採取した。

また、上述のリターや根から供給される易分解性の回転の速い炭素が少くなり、土壌鉱質物と強く結合した難分解性の回転の遅い炭素の割合が多くなると考えられる深さ30~50cmの部位からも、炭素含有率測定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、および根に分別し、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碎して

からC/Nコーダーにより含有率を測定した。

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の円孔篩で磔、細土、および根に分別し、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

リター層についても、土壌炭素蓄積量測定法に準じて、土壌調査を行った試孔の近接地で植栽樹木や林床植生の成長状態、地形、およ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

3-1. 土壌調査結果

中部ジャワ州のジョクジャカルタ周辺で調査したメルクシマツ、チーク、アルビジア造林地の土壌の断面形態の特徴は表4-28のとおりである。

メルクシマツ造林地は、石灰岩を基岩とする丘陵地の平衡斜面中腹に1987年に造成されたものである。土壌の形態的特徴としては、土性は母材である石灰岩の特性を反映して極めて埴質であった。土壌構造の発達は一貫して不良で、下層は壁状であった。細粒質で保水性が大きいことを反映してか、表層は乾いていたが下層ではかなり湿り気が感じられた。

チーク造林地は、石灰岩を基岩とする丘陵地の斜面下部に1987年に造成されたものである。土壌の形態的特徴としては、全体的に角塊状構造が比較的良く発達していたことから、土層は年間のある時期強く乾燥することが想定された。また、表層は乾いていたが、土性が埴質であるなど土壌が細粒質であり、地形的に斜面下部であることとも相俟って、下層は湿っており、有機物の集積が比較的進んでいた。

アルビジア造林地は、メラピ火山に由来する玄武岩質安山岩～普通輝石紫蘇輝石安山岩質の火山灰が堆積した同山麓に、1995年にヘクタール当たり1111本の密度で造成されたものである。土壌の形態的特徴としては、土性は全体的に砂壤土であるなど粗粒質で、表層の構造は比較的良く発達しており、土層はそれ程堅密ではない値を示した。土層全体に有機物の集積が進んでおり、階段状の地形が残されていたことから、一度農耕地として開拓されたところに再造林されたものと考えられる。

表4-28 調査土壌の断面形態の特徴

(1)メルクシマツ造林地土壌			標高・母材：760m・石灰岩							
断面 No.	層位	深さ(cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	(A)	0-9	7.5YR4/2.5	やや富む	C	waB	30	乾	細小富む	平衡斜面中腹 N20E, 20度
	B1	9-29	7.5YR4/3.5	やや含む	C	Ma	27	やや乾	細小含む	
	B2	29-52+	7.5YR4.5/4	乏し	C	Ma	26	やや湿	有り	
No.2	(A)	0-12	7.5YR4/3	やや富む	C	waB	26	乾	細小富む	平衡斜面中腹 N20E, 23度
	B1	12-36	7.5YR4/4	やや含む	C	Ma	27	やや乾	細小含む	
	B2	36-53+	7.5YR4/5	乏し	C	Ma	24	やや湿	有り	
No.3	(A)	0-10	10YR4/5	やや富む	L	waB	18	乾	細小富む	平衡斜面中腹 N83W, 14度
	B1	10-29	10YR5/6	乏し	C	waB	22	やや乾	細小含む	
	B2	29-54+	10YR5.5/6	乏し	(L)C	Ma	23	やや湿	有り	

(2)チーク造林地土壌			標高・母材：55m(No.1), 60m(No.2), 65m(No.3)・石灰岩							
断面 No.	層位	深さ(cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	A	0-16	5YR3/2	富む	C	aB	30	乾	細小富む	斜面下部 N31W, 25度
	B1	16-40	5YR3/3	やや富む	C	waB	27	やや乾	細小含む	
	B2	40-58+	5YR4/4	乏し	C	Ma	26	やや湿	有り	
No.2	A	0-17	5YR3/2	富む	C	aB	26	乾	細小富む	斜面下部 N74E, 26度
	B	17-32	5YR3/3	やや富む	C	aB	26	やや乾	細小含む	
	BC	32-52+	5YR4/3.5	乏し	C		20	潤	有り	
No.3	A	0-17	5YR3/2	富む	C	aB	22	乾	細小富む	斜面下部 N78E, 27度
	B	17-25	5YR3/2.5	やや富む	C	aB	20	やや乾	細小含む	
	BC	25+	5YR4/2	やや含む	C	Ma	20	潤	有り	

(3)アルビジア造林地土壌			標高・母材：793m(No.1), 790m(No.2), 787m(No.3)・塩基性火山灰							
断面 No.	層位	深さ(cm)	土色	腐植	土性	構造	堅密度	水湿状態	根系	地形・方位・傾斜
No.1	A1	0-10	10YR4.5/2	富む	SL	aB	18	乾	細小富む	緩斜面中腹, S10E 5度
	A2	10-24	10YR4.5/2	やや富む	SL	waB	20	やや乾	細小含む	
	A3	24-50+	10YR4/2	やや富む	(S)L	Ma	20	やや乾	有り	
No.2	A1	0-10	10YR4/1.5	富む	SL	aB	10	乾	細小富む	緩斜面中腹, S10E 5度,
	A2	10-27	10YR3.5/2	やや富む	SL	waB	10	やや乾	細小含む	
	A3	27-50+	10YR3/2	やや富む	SL	Ma	15	やや潤	細小含む	
No.3	A1	0-9	10YR5/2	やや富む	SL	aB	12	乾	細小富む	緩斜面中腹, S10E 5度
	A2	9-34	10YR4/2	やや富む	SL	waB	12	やや乾	細小含む	
	A3	34-53+	10YR4.5/3	乏し	SL	Ma	15	やや乾	細小含む	

土性(粒径組成) = 埴土: C, 微砂質埴土: SiC, 微砂質埴壤土: SiCL, 埴壤土: CL, 壤土: L, 砂質埴壤土: SCL, 砂壤土: SL
 構造 = 角塊状: aB, 粒状: Gr, 壁状: Ma, 弱度: w 堅密度 = 山中式硬度計読取り値

3-2. 土壌炭素およびリター炭素分析結果

それらの土壌の炭素含有率の分析結果は表4-29のとおりである。

表層から30cm深までの土壌の中に蓄積している有機物に含まれる炭素量は、メルクシマツ造林地では44.4~73.5t/ha、平均で約62t/ha、チーク造林地では76.5~89.6t/ha、平均で約83t/ha、アルビジア造林地では79.7~117.6t/ha、平均で約95t/haであり、蓄積炭素量では多い順にアルビジア造林地、チーク造林地、メルクシマツ造林地であった。

表層から50cm深までの土壌に蓄積した炭素量も、アルビジア造林地が157t/ha、チーク造林地が108t/ha、メルクシマツ造林地が81t/haの順であった。

50cm深までの炭素蓄積量と30cm深までの炭素蓄積量の差は、アルビジア造林地で62t/ha、チーク造林地で25t/ha、メルクシマツ造林地で19t/haであり、それらの30cm深までの炭素蓄積量に対する比は、アルビジア造林地が65%、チーク造林地が30%、メルクシマツ造林地が31%であった。

アルビジア造林地において、30~50cm深の部位における炭素蓄積量の、30cm深までの炭素蓄積量に対する比が65%と大きい値を示したのは、同造林地の土壌が粗粒質でそれ程堅密でないことから、植栽されたアルビジアの根が深くまで良く発達したことと、同造林地はかつての農耕地であり、既に土層深くまで有機物の集積が進んでいたことなどが大きく影響しているものと考えられる。

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4-30のとおりである。

メルクシマツ造林地のリター層の炭素蓄積量は3.08~4.97t/ha、平均で約3.9t/haであり、30cm深までの土壌炭素蓄積量に対する比は約6%であった。

また、リター層に占める非木質と木質の割合は、いずれも非木質の方が圧倒的に多い値を示した。これは、同樹種の落葉が分解し難い性質を有していることを示唆している。

チーク造林地とアルビジア造林地では落葉落枝が地表に散在する程度で、有機物層が形成されていなかった。

[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

表4-29 土壌の深さ別炭素含有率及び蓄積量

(1)メルクシマツ造林地土壌							
断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0-9	2.61	13.1	0.8	31.3		
	9-29	1.94	8.0	0.1	40.9		
	29-52	1.33	5.5	0.0	29.0	73.5	101.1
No.2	0-12	2.50	9.1	0.1	30.0		
	12-36	1.06	3.4	0.0	21.4	44.5	
	36-53	0.89	3.2	0.0	9.6		60.9
No.3	0-10	3.40	10.6	0.2	27.1		
	10-29	2.40	7.9	0.2	40.3		
	29-54	1.23	2.7	0.2	14.7	67.4	82.2
						61.8	81.4
(2)チーク造林地土壌							
断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0-16	3.27	13.8	0.1	58.8		
	16-40	1.70	6.9	0.1	40.0	81.4	
	40-58	1.70	6.8	0.0	17.0		115.8
No.2	0-17	3.69	11.3	0.5	53.1		
	17-32	2.19	7.7	0.1	23.5	76.5	
	32-52	1.62	4.7	0.0	23.5		100.0
No.3	0-17	4.00	13.3	0.3	57.9		
	17-25	2.61	9.9	0.1	27.6		
	25-40	2.15	8.2	0.1	24.9	89.6	110.4
						82.5	107.9
(3)アルビジア造林地土壌							
断面 番号	深さ (cm)	炭素含 有率(%)	土壌炭素換算量 (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)	炭素蓄積量 (t/ha/50cm)
No.1	0-10	4.82	19.5	0.3	49.5		
	10-24	3.71	12.4	0.1	50.1		
	24-50	5.79	17.7	0.3	108.0	117.6	207.6
No.2	0-10	3.49	13.2	0.3	33.6		
	10-27	2.66	10.1	0.1	40.6		
	27-50	3.36	12.0	0.0	72.4	86.3	146.7
No.3	0-9	2.52	9.9	0.2	20.2		
	9-34	3.19	10.5	0.4	73.1	79.7	
	34-53	1.63	6.0	0.0	22.8		116.1
						94.6	156.8

表4 -30 各林分のリター層の炭素蓄積量

(1)メルクシマツ造林地

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	48	45	0.94	542	2.53	3.54	
	木質	128	109	0.85	235	1.00		
No.2	非木質	89	79	0.89	976	4.35	4.97	
	木質	—	—	0.85	144	0.61		
No.3	非木質	86	73	0.85	627	2.67	3.08	3.86
	木質	—	—	0.85	94	0.40		

4-5 インドネシア・ロンボク島の「インドネシア・日本友好の森」におけるインドセンダン (*Azadirachta indica*)、タガヤサン (*Cassia siamea*)、マルバシタン (*Dalbergia latifolia*) 及びベースライン植生-*Lantana camara* 灌木林-のバイオマス調査

1) 調査概要

早稲田大学 森川 靖

はじめに

本調査は、インドネシア国ロンボク島南東部の乾燥草地に造成された多樹種人工林において、その後の森林への回復をバイオマスの増加より評価することを目的とした。

本調査地は平成8年より、国際緑化推進センターにより進められてきた「インドネシア・日本友好の森」として地域住民の手により管理されている。また、造林後3年が経過した平成12年にバイオマス調査を行っており、今回はその継続調査であった。

1. 調査年月日

調査は、平成14年12月18日から12月25日に行った。

2. 調査者

調査者を以下に示す。

佐藤 顕信	早稲田大学人間科学部助手
平塚 基志	早稲田大学大学院人間科学研究科
大角 泰夫	国際緑化推進センター技術顧問
仲 健三	国際緑化推進センター理事
中山 祐介	国際緑化推進センター業務部研究員

3. 調査地

ロンボク島は、東部ジャワに隣接する観光地バリ島の東、約60kmに位置する。島の大きさは東西、南北ともに70km程度、面積は約470×103haの火山島である。調査を行った「インドネシア・日本友好の森」の位置する島の南東部の雨量は、年間700~1,000mmの半乾燥気候でインド洋からの風も強い。このため、放棄された焼畑跡地は天然力による森林への回復が難しく、荒廃原野が広がっている。

「インドネシア・日本友好の森」では、多くの樹種が造林されてきたが、本調査では、平成12年に調査を行った *Cassia siamea*、*Azadirachta indica*、*Dalbergia latifolia*、および果樹（カシューナッツ他）がライン・プランティングされている林分を調査地とした。

2) 対象樹種造林地及びベースライン植生の造林木・植生のバイオマス調査

早稲田大学 森川 靖

I. 調査方法

1. 調査プロットの設定

単一樹種による広範囲におよぶ造林地においては、その林分の最大樹高以上の長さを一辺とする方形区を、調査地として設定することが一般的である。

本調査において対象とした林分は、上記の3樹種および果樹が1列ごとにライン・プランティングされていた。調査プロットは、それぞれの樹種の列を1列以上は含むように、平均的な林分から設定した。設定したプロットの大きさは27m×18mだった。

2. 毎木調査

調査プロットでは、樹高が1.3mに達していた全立木の胸高直径（DBH）を測定した。このとき、高さ1.3m以下で二又および三又などに分かれていた個体については、その分枝幹がそれぞれ1.3mに達していた場合は、全て1本の個体とみなして測定した。枯死木からの萌芽枝についても、それぞれが樹高1.3mに達していた場合は、それぞれを1本の個体とみなして測定した。

3. 伐倒試料木の測定

伐倒試料木は、毎木調査の結果から*C. siamea*、*A. indica*については、平均的なものをそれぞれ1本選んだ。*D. latifolia*については、設定したプロット内では根元から二又に分かれている個体が多く、平均的なものを選ぶことができなかった。このことから、平均よりも小径のものを1本選んだ。

それぞれの伐倒試料木は伐倒後、幹、枝、葉、根と、器官別に分け、生重量を測定した。根は全て手作業で抜根した。このとき、土壌中に残った根については切断面の直径を測定した。幹については地際（0m）、0.3m、1.3m、3.3mそれ以上は2m間隔で玉切りにし、それぞれの断面の直径（樹皮つき、樹皮なし）を測定した。次に、各器官からサンプルを採取し、インドネシア国林業省にて乾燥させ、乾重量を求めた。

4. 林床植生の測定

林床植生のバイオマスは、植生の背丈が高さ1mに達していなかったため、調査プロット内に1m×1mのサブプロットを設定し、全量刈り取り法で行った。

II. 調査結果

1. 調査林分の概要

各調査林分の概要を表4-31に示す。*A. indica*および*D. latifolia*では立木密度が植栽密度を上回っていた。これは、樹高1.3m以下で二又および三又などに分かれていた分枝幹

を、それぞれ1本の個体とみなし、また枯死木からの萌芽枝を樹高1.3mに達していた場合は、1本の個体とみなして立木密度を算出したからである。

表 4-31 ロンボック島調査林分の立木密度、およびDBH

樹種	<i>C. siamea</i>	<i>A. indica</i>	<i>D. latifolia</i>
林齢(年)	5	5	5
植栽間隔(m)	3×3	3×3	3×3
初期立木密度(本/ha)	1111.1	1111.1	1111.1
立木密度(本/ha)	987.7	1604.9	3580.2
平均DBH(cm)	14.4	12.0	5.6
最大DBH(cm)	20.0	20.7	13.1

2. 幹の材積およびバイオマスの測定

幹の材積は、Smalian式よりもとめた ((1) ~ (2) 式)。

$$V_P = (g_o + g_n) \frac{\ell}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_T = g \frac{\ell}{3} \dots\dots\dots (2)$$

V_P 、は各玉切り部分の材積 (m³)、 V_T は頂部の材積 (m³)、 g_o は幹の各部分の下端断面積 (m²)、 g_n は上端断面積 (m²)、 g は基部断面積 (m²)、そして ℓ は玉切り部分の長さ (m) である。幹の材積は、(2) 式と (3) 式の和である。

バイオマスは、樹木のDBHと樹木の各器官のバイオマスとの相対成長関係 ((3) 式) から算出した。相対成長式は、

$$W = aX^b \dots\dots\dots (3)$$

で表される。 W は各器官のバイオマス (kg)、 X はDBH (cm) の2乗、 a と b は最小2乗法より求めた係数である。

根のバイオマスは、根抜した根と土壌中に残った細根との和であり、これを地下部のバイオマスとした。土壌中に残った根のバイオマスは、先端まで切断されることなく引き抜いた根の根元の直径とバイオマスによる相対成長式を作り、それに土壌中に残った根の切断面の直径を代入することより算出した。

それぞれの樹種における、根の根元の直径とそのバイオマスの関係を図 4-6 に示す。

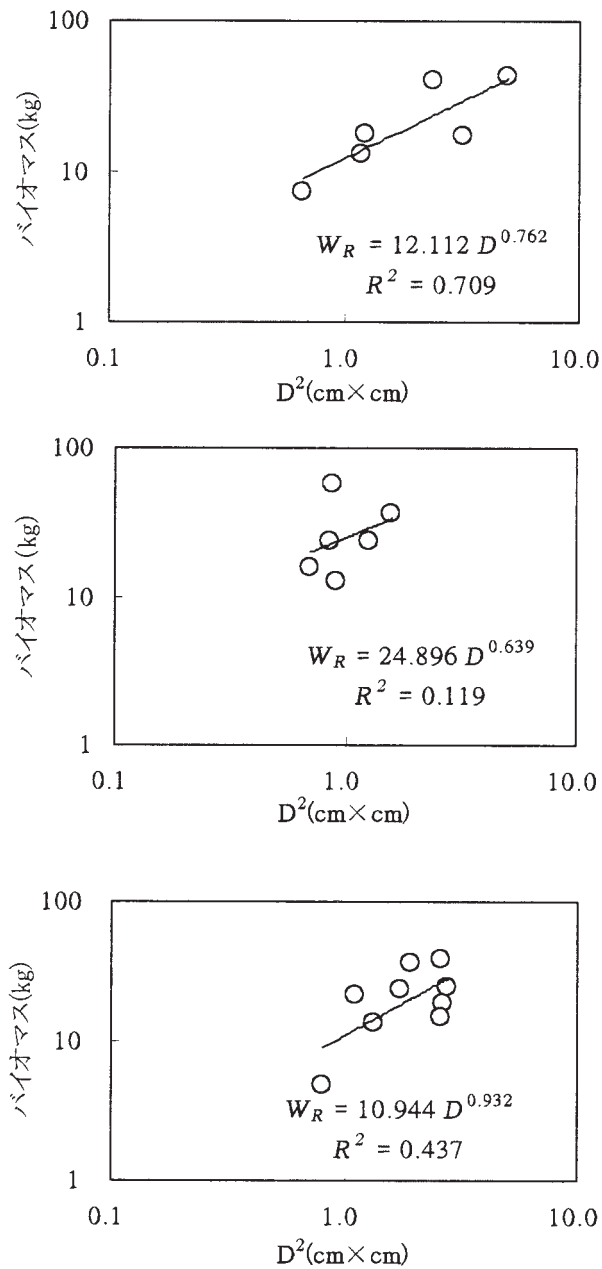


図4-6 抜根した根より作成した、根元の直径とバイオマスの関係（上から*C. siamea*、*A. indica*、*D. latifolia*）。なお、抜根時に土壤中に残った根のバイオマスは、根全体のバイオマスのうちでは僅かだった。

それぞれの林分において選んだ、伐倒試料木の各器官のバイオマスおよび幹の材積を表4-32～4-34に示す。なお、それぞれの林分における伐倒試料木のNo.1～5は、平成12年度の調査で測定したものである。

表 4-32 *C. siamea*林分での伐倒試料木の詳細

樹種	<i>C. siamea</i>					
試料木No.	1	2	3	4	5	6
樹齢(年)	3	3	3	3	3	5
樹高(m)	7.4	8.7	6.6	7.4	6.0	9.2
胸高直径(cm)	15.7	14.2	12.5	11.3	7.3	14.2
バイオマス(kg)						
材部	34.7	27.6	20.2	20.3	9.3	25.7
樹皮	4.2	3.1	2.5	3.0	1.4	3.1
枝	47.4	18.5	21.8	15.6	4.4	27.3
葉	7.2	4.1	4.6	3.0	1.2	3.6
地上部	93.5	53.3	49.1	41.9	16.3	59.7
根	27.2	21.4	15.9	16.3	7.5	20.1
全体	120.7	74.7	65.0	58.2	23.8	79.9
材積($10^{-3}m^3$)						
樹皮つき	64.0	49.0	37.0	39.0	16.0	24.4
樹皮なし	55.0	45.0	32.0	33.0	13.0	21.7

表 4-33 *A. indica*林分での伐倒試料木の詳細

樹種	<i>A. indica</i>					
試料木No.	1	2	3	4	5	6
樹齢(年)	3	3	3	3	3	5
樹高(m)	8.6	7.8	7.4	7.7	6.8	9.9
胸高直径(cm)	15.1	13.2	9.0	11.7	7.7	12.6
バイオマス(kg)						
材部	38.7	20.9	10.7	21.0	8.0	34.4
樹皮	5.2	4.4	2.4	3.9	2.1	6.3
枝	34.7	19.8	3.3	7.3	1.7	10.5
葉	7.9	6.6	0.9	3.2	1.6	3.8
地上部	86.5	51.7	17.3	35.4	13.4	55.1
根	20.8	12.0	6.2	11.8	4.8	19.3
全体	107.3	63.7	23.5	47.2	18.2	74.4
材積($10^{-3}m^3$)						
樹皮つき	76.0	55.0	26.0	45.0	31.0	46.2
樹皮なし	60.0	39.0	20.0	34.0	13.8	41.0

表 4-34 *D. latifolia*林分での伐倒試料木の詳細

樹種	<i>D. latifolia</i>						
	試料木No.	1	2	3	4	5	6
樹齡(年)		3	3	3	3	3	5
樹高(m)		8.0	8.4	7.4	6.1	6.4	6.8
胸高直径(cm)		12.1	10.6	7.8	7.4	10.8	7.2
バイオマス(kg)							
材部		21.3	17.2	8.7	8.0	14.6	5.7
樹皮		3.7	2.7	2.5	2.7	3.1	1.8
枝		47.4	17.9	3.5	7.0	20.2	4.4
葉		1.4	1.0	0.6	0.5	2.4	1.1
地上部		73.8	38.8	15.3	18.2	40.3	13.0
根		12.6	10.0	5.6	5.4	8.9	3.8
全体		86.4	48.8	20.9	23.5	49.2	16.8
材積(10^{-3}m^3)							
樹皮つき		42.0	33.0	18.0	16.0	28.0	3.2
樹皮なし		34.0	25.0	12.0	11.0	20.0	2.3

次に、表 4-32～4-34で示した伐倒試料木より作成した、各器官別の相対成長式の係数および決定係数を、表 4-35～4-37に示す。それぞれの林分において、全ての器官ではほぼ満足な相対成長関係を得た。

表 4-35 *C. siamea*林分での伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数

樹種	<i>C. siamea</i>		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²
材部	3.630×10^{-1}	0.815	0.977
樹皮	1.154×10^{-1}	0.634	0.896
枝	1.804×10^{-2}	1.383	0.922
葉	2.068×10^{-2}	1.025	0.892
根	3.185×10^{-1}	0.793	0.972
地上部	2.693×10^{-1}	1.030	0.958
全体	5.085×10^{-1}	0.965	0.966
材積(皮付き)	9.738×10^{-4}	0.715	0.629
材積(皮なし)	6.228×10^{-4}	0.775	0.678

表 4-36 *A. indica*林分での伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数

樹種	<i>A. indica</i>		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
材部	6.502×10^{-2}	1.175	0.903
樹皮	8.481×10^{-2}	0.783	0.838
枝	2.237×10^{-4}	2.169	0.966
葉	2.396×10^{-3}	1.481	0.812
根	5.029×10^{-2}	1.111	0.900
地上部	3.882×10^{-2}	1.408	0.979
全体	7.055×10^{-2}	1.341	0.973
材積(皮付き)	1.420×10^{-3}	0.708	0.855
材積(皮なし)	1.938×10^{-4}	1.049	0.989

表 4-37 *D. latifolia*林分での伐倒試料木より作った相対成長式の係数および決定係数

樹種	<i>D. latifolia</i>		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
材部	8.880×10^{-2}	1.097	0.949
樹皮	4.184×10^{-1}	0.421	0.669
枝	9.631×10^{-4}	2.115	0.896
葉	2.027×10^{-2}	0.885	0.492
根	9.892×10^{-2}	0.967	0.939
地上部	4.120×10^{-2}	1.470	0.954
全体	8.109×10^{-2}	1.370	0.959
材積(皮付き)	1.281×10^{-5}	1.641	0.645
材積(皮なし)	5.190×10^{-6}	1.772	0.691

表 4-35~4-37に示した相対成長式より算出した各林分のバイオマスの諸量、炭素固定量、および葉面積示数を、表 4-38に示す。

表 4-38 各林分のバイオマスの諸量、炭素固定量、および葉面積示数

樹種	<i>C. siamea</i>	<i>A. indica</i>	<i>D. latifolia</i>
林齢(年)	5	5	5
胸高断面積合計 (m ² /ha)	13.8	16.9	10.9
バイオマス(t/ha)			
材部	28.2	43.0	23.1
樹皮	3.4	7.1	6.2
枝	31.0	35.1	31.2
葉	5.0	8.3	2.0
地上部	67.6	93.4	62.5
地上部炭素量	33.8	46.7	31.3
根	22.0	23.6	14.3
全体	89.6	117.0	76.8
全体炭素量	44.8	58.5	38.4
材積(m ³ /ha)			
樹皮つき	44.1	79.9	42.6
樹皮なし	39.1	65.3	32.2
葉面積示数	6.8	13.7	3.4
林床植生(t/ha)*	1.0	1.0	1.0
年平均成長量			
地上部(t/ha/yr)	13.5	18.7	12.5
全体(t/ha/yr)	17.9	23.4	15.4
皮付き材積(m ³ /ha/yr)	8.8	16.0	16.0
皮なし材積(m ³ /ha/yr)	7.8	13.1	13.1

3) 対象造林地及びベースライン植生の土壌炭素・リター固定炭素調査

京都大学農学研究科森林科学専攻熱帯林環境学分野
太田誠一、山下尚之

(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の開発に関する調査の一環として、インドネシア共和国ロンボク島において「日本・インドネシア友好の森」造成プロジェクトによって、インドセンダン (*Azadirachta indica*)、タガヤサン (*Cassia siamea*)、マルバシタン (*Dalbergia latifolia*) などが混植された造林地において土壌中に

固定された炭素量の測定を行った。あわせて、造林が行われなかった場合の、いわゆるベースラインの土壤炭素蓄積量の目安を知ることを目的に、造林地に隣接する荒廃地においても同様に土壤炭素の蓄積量を調べ、検討を加えた。なお、本調査地ではリターの堆積量は全般に僅かであったため、今回の調査対象から除外した。

(2) 調査地および試料採取

1) 造林地の土壤採取

調査はインドネシアのロンボク島で、かつて「日本・インドネシア友好の森」造成プロジェクトによって、インドセンダン、タガヤサン、マルバシタンなどの混植により造成された造林地のうち、1997年植栽の5年生林分内に地上部バイオマス測定用に設定されたプロット内において行った。プロット内の、植栽木の成長や林床植生、地形、リターの堆積状態などが平均的と思われる場所で試孔を掘り、その中から最も平均的と思われる5カ所を選定して、その各箇所地表より30cmの深さまで土壤試料を採取した。土壤試料は100ccの採土円筒（深さ5cm）を用い、0-5cmと5-10cmの深さからはそれぞれ100ccの円筒2個の試料を、また、10-15cm、15-20cm、20-25cm、25-30cmからは各1個の試料を採取した。得られた円筒試料は0-5cmと5-10cmについては各2個をプラスチック袋にまとめて入れ、またそれより深い部分については10-15cmと15-20cmの試料各1個をまとめて10-20cm層の試料に、20-25cmと25-30cmの試料も同様にまとめて20-30cm層の試料とした。

2) 隣接荒廃地の土壤採取

調査対象地は上記造林地に隣接する荒廃地で、調査時の植生はほとんどが草本であり陸稲の茎が残存している箇所も一部にみられ、昨年の雨季に陸稲の栽培が行われその後放棄された場所であると考えられた。土壤試料の採取は、上記造林地と同様に平均的な条件の5箇所から30cmの深さまでの土壤試料を採取した。

(3) 分析方法

実験室に持ち帰った土壤試料は生きた根を除きながら風乾し、2mmの篩によりレキを風乾細土に篩別し、風乾細土の重量を測定した。得られた風乾細土重を採取容積で除し容積重を求めた。

風乾細土の一部を0.02mm程度まで粉碎し、湿式燃焼法（Walkley Black法）により炭素の定量を行った。また風乾細土の一部を用いて風乾細土の水分係数を求めた。

マニュアルに示したように、土層深さ、容積重、水分係数、炭素含量から各深さにおける炭素蓄積量を算出し、これを合計して0-30cmの深さの土壤における炭素蓄積量を算出した。

4) ベースラインの測定結果

早稲田大学 森川 靖

ベースラインの調査プロットは、調査地近郊に自生していた木本低木種の *Lantana camera* の優占区に2箇所を設定した。調査プロットは、プロット内の背丈を考慮して、3m×3mで設定した。ベースラインの詳細を表4-39に示す。

表4-39 ベースラインの詳細

	No.1	No.2
優占種	<i>L. camera</i>	<i>L. camera</i>
バイオマス(t/ha)		
幹	3.6	4.0
葉および林床の草	8.6	11.9
全体	12.2	15.9

まとめ

本調査は平成12年度の調査の継続で行われた。平成13年度に行った調査結果を表4-40に示す。

表4-40 平成12年度の調査結果の概要

樹種	<i>C. siamea</i>	<i>A. indica</i>	<i>D. latifolia</i>
林齢(年)	3	3	3
胸高断面積合計(m ² /ha)	13.0	12.2	8.0
バイオマス(t/ha)			
材部	24.7	22.5	14.6
樹皮	3.3	4.1	4.1
枝	19.5	14.3	15.6
葉	4.1	4.6	1.0
地上部	51.6	45.5	35.3
地上部炭素量	25.8	22.8	17.7
材積(m ³ /ha)			
樹皮つき	37.3	44.4	26.4
葉面積示数	6.7	5.4	1.6
年平均成長量			
地上部(t/ha/yr)	17.2	15.2	11.8
皮付き材積(m ³ /ha/yr)	12.4	14.8	8.8

平成12年度の調査結果と比較した場合、今回の調査結果の方が、全ての樹種においてバイオマスを蓄積していたことが示された。*C. siamea*については、地上部バイオマスが51.6t/haから67.6t/haに、*A. indica*は45.5t/haから93.4t/ha、そして*D. latifolia*は35.3t/haから62.5t/haに増加していた。3樹種の中では、*A. indica*林分のバイオマス蓄積が大きかった。

今回の調査では、抜根により地下部バイオマスを測定した。その結果、地上部バイオマスに対する地下部バイオマスは、*C. siamea*で約33%、*A. indica*で約25%、*D. latifolia*で約23%となった。平成13年度にインドネシア国ブナカット造林地でおこなった調査結果では、*Acacia mangium*で約15%という結果を得ている。立地条件が異なり単純に比較することは難しいが、本調査地における3樹種については、地下部に広く根を張り、土砂流出防止機能などの公益的機能の回復に有効であることが示唆された。

ベースラインは、平成12年度の調査では3箇所のプロットを設定し、平均で17.4t/haという結果を得た。今回、2箇所を設定し、平均で14.1t/haという結果だったことから、本調査地においては、約15t/haがベースラインとなることが明らかとなった。

4-6 平成13年度測定 of 森林生態系バイオマス炭素の概要

国際緑化推進センター 大角泰夫

前項までに本年度に解析を行った造林地・樹種の生態系構成要素毎のバイオマス固定量を説明した。本最終報告書においては、事業全体の森林生態系炭素固定量調査結果を報告する必要があり、昨年度報告の概要について報告する。

平成13年度は実施計画（表4-3）に従って、スマトラ島の *Swietenia macrophylla*, *Acacia mangium*, *Peronema canescens* の3樹種と中部ジャワの *Pinus merkusii*, *Tectona grandis*, *Paraserianthes falcataria* の3樹種のバイオマス計測を行った。ただ後者の3樹種は14年度に土壌バイオマス測定を行い、結果を本報告書に記載したので樹木バイオマス概要も併記した。したがって本項ではスマトラ島で行ったバイオマス測定結果について概要を記載する。

本調査では、樹木バイオマスは森川教授をリーダーとする早稲田大学グループが測定し、土壌は八木教授のグループが主として解析した。対象林分は、マホガニーは以前JICAが植栽した20年生の林分、スンカイはMHP社が試験的に植栽した10年生林分、マンギウムはMHP社が植栽間隔試験に用いた6年生林分である（表4-41）。ただ、マンギウム試験林では植栽間隔の区分が精細すぎて植栽間隔に対応した成長の違いは解析できなかった。

このマホガニー林分は降雨林地帯ではこれほどの高齢林分は確保できず、極めて貴重なデータとして扱われるであろう。

表4-41 スマトラ島試験林分の概要

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

林分のバイオマスの解析結果は表4-42の通りである。20年生マホガニーの地上部バイオマス炭素は129.3tC/haあり、地下部バイオマスは36.6tC/haであった。地上部：地下部は3.53：1となり、今後のアロメトリーの貴重な基礎データとなる。スンカイについても地上部バイオマス対地下部バイオマスは、14.3tC/ha：3.04t/haで、4.71：1となる。マンギウムでは、この比率は、それぞれ6.71：1、6.55：1、6.78：1、6.84：1、6.71：1となり、ほぼ同じレンジに入る。森川はこれらのデータを既存のデータに加え、アロメ

トリー式を完成させているので、マンギウムについては対象林分の直径を測るだけで林分のバイオマス量を高い確度で推定できる。

表4-42 各林分のバイオマス量及び炭素固定量

樹 齢	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
炭素量 (t C/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

注：昨年度報告の原表より改変

土壌バイオマス炭素は表4-43に示した。CDMプロジェクトを推進する場合、土壌中の炭素蓄積量は土壌のタイプに応じて固有のレンジの炭素含有量をもち、過去の土地利用に応じて僅かに変動すると推定される。今回の3林分はいずれもAcrisolに分類され、この調査で熱帯雨林下のAcrisolの基本的な土壌炭素量が把握できることを期待した。しかし、3林分では54t/ha、100t/ha及び62t/haと大きく変動し、スンカイ土壌が以前畑地であった反映のようにむしろ過去の土地利用の違いが土壌炭素量に大きく反映されると考えられる。

また、土壌炭素測定には1林分あたり平均的土壌プロット3カ所を選び、結果を平均し、林分の土壌炭素量とした。この前提も選定した3プロットの数値があまり大きくは変動しない場合に成り立つわけで、自然物を扱う場合には10%の誤差は許されると判断した。今回マンギウム林分以外の林分では比較的良好なデータが得られた。しかし、マンギウム林分では誤差が10%を越えたが、MHP社ではマンギウムは表土を全て剥ぎ取った場所に造林することになっており、このような土地利用法が大きな土壌炭素の変動に関係したと考えられる。

土壌タイプ毎の基本的炭素含有量及び林分毎の土壌炭素測定プロットにおける炭素含有量の誤差については今後も引き続き検討が必要であり、新規プロジェクトにおいてもベースライン設定の効率化ともつながるので考慮する必要がある。

表 4-43 土壌の深さ別炭素含有率及び蓄積量 (一部原表改変)

■マホガニー植林地土壌

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)
No.1	0- 6	3.03	13.2	1.1	21.4	
	6-24	1.28	6.6	0.1	29.9	
	24-30	0.89	4.4	—	6.6	57.9
No.2	0- 6	3.46	13.1	0.4	20.2	
	6-30	0.92	4.2	0.1	26.0	46.2
	0- 4	3.62	15.2	0.4	15.6	
No.3	4-22	1.19	6.2	0.3	29.3	
	22-30	1.01	5.8	—	11.7	56.5

■スンカイ植林地土壌

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)
No.1	0-16	3.94	14.6	1.8	65.6	
	16-30	2.09	9.0	0.2	31.9	97.5
No.2	0-20	3.51	12.8	2.4	76.0	
	20-30	2.46	11.9	0.4	30.6	106.6
No.3	0-10	2.91	12.4	0.7	32.7	
	10-30	2.85	12.1	0.3	62.3	94.9

■マンギウム植林地土壌

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)
No.1	0-10	2.58	12.3	0.4	31.8	
	10-30	1.75	7.3	0.4	38.6	70.3
No.2	0- 8	2.37	9.3	0.4	19.4	
	8-16	2.13	9.9	0.4	20.7	
	16-30	1.33	6.0	0.2	21.9	62.0
No.3	0- 8	2.51	11.0	0.2	22.5	
	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	55.1

各林分のリター集積量の結果を表4-44に示した。リター測定は太田の方法に準拠し、各林分毎に3プロット(1m×1m)を設定し、平均値を林分のリター集積量として計上することとした。今回の調査から、マホガニー及びスンカイ林分ではプロット間誤差が大きいことが判明した。この原因はマンギウム林分でも観察されるように木質物、すなわち落枝の量に左右されることが最大の理由と考えられる。リター量はポリビアでの例によれば生態系バイオマス全体の数%程度であるが、正のクレジットに結びつくのであまり誤差が大きいのは感心できない。今後新規プロジェクトで方法の検討が必要であるかもしれない。

表4-44 各林分のリター層の炭素蓄積量

■マホガニー植林地

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		
	木質	643	191.3	0.30	2090	3.11	4.82	
No.2	非木質	667	125.9	0.19	2378	2.24		
	木質	249	54.7	0.22	809	0.89	3.13	
No.3	非木質	670	124.2	0.19	2078	1.93		
	木質	436	107.6	0.25	1417	1.75	3.67	3.88

■スンカイ植林地

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		
	木質	—	—	—	—	—	2.80	
No.2	非木質	128	90.8	0.71	1418	5.02		
	木質	98	39.5	0.41	418	0.85	5.87	
No.3	非木質	134	124.6	0.93	668	3.10		
	木質	64	57.2	0.89	143	0.64	3.74	4.14

■マンギウム植林地

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		
	木質	—	—	—	—	—	9.42	
No.2	非木質	206	115.6	0.56	3368	9.44		
	木質	—	—	—	—	—	9.44	
No.3	非木質	291	182.5	0.63	2938	9.23		
	木質	—	—	—	—	—	9.23	9.36

5 . CDM事業における間接影響の評価と対処法

森林総合研究所 加藤 隆

事業要件としてのリーケージの評価

CDM事業の計画と実行に当たっての重要な要件の一つに、プロジェクト実施に伴う間接影響、とりわけリーケージ (leakage) を事前に評価しその対処法を組み込む事があげられる。森林分野でのCDM事業実施に向けたガイドライン作成のための国際的な取り組みの中でも、このリーケージの評価に関する検討が続けられているところであるが、これまでのところIPCC特別報告書以外に整理されたものはなく、多くの点で議論の余地が残されたままとなっている。ここでは現在に至る検討の基礎になっているIPCC特別報告5章(以下、特別報告)のリーケージに関する記述の要点について述べるとともに、インドネシアの産業植林を事例に、リーケージを含むプロジェクトの間接影響とその調査法についてまとめた報告書(住友林業株式会社、2002)を参考にしながら、リーケージの評価に加え地域社会への配慮を計画に組み込むための、社会経済的影響評価の調査項目についてふれる事にする。

1) リーケージの定義

リーケージは、「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ケージと呼ばれる。

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ケージが生じる。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。

2) リーケージの評価

2)-1 因果関係による分類

リーケージは様々な要因が相互に関連しあいながら発生するが、IPCC特別報告では森林及び土地利用プロジェクトに関して、因果関係に基づいて以下の2つのタイプに類別している。

①プロジェクトの境界外への活動のシフト (activity-shifting) によって生じるリーケージ

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。

②マーケットの変化に伴う土地利用の転換によって生じるリーケージ

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があげられる。

2) - 2 リーケージの潜在性を示す要素

特別報告では、これまでのケーススタディから、プロジェクトと地元住民の間で土地利用をめぐる競合があるか否かが、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高いか低いかを推し量る大きな要素となることが明らかになってきているとして、以下の2つの場合をあげている。

①土地利用をめぐる競合が少ない場合

プロジェクトの活動と地元住民の間の土地利用をめぐる競合が少ない場合には、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、リーケージの発生は最小にとどまる。

②土地利用をめぐる競合が中庸あるいは大きい場合

土地利用をめぐる競合がみられる場合、プロジェクトの活動にともなう周辺地域からの人口流入や自給農産物生産の拡大、薪炭材不足等、森林減少につながる様々な要素が相互に関連しあい、プロジェクトの活動の影響は境界を超え、リーケージが発生することになる。

2) - 3 リーケージの種類と発生要因

プロジェクトの活動に伴い発生するリーケージの具体例として、インドネシアの東カリマンタンで実施中の大規模植林事業での調査結果をまとめたレポート（住友林業、2002）で記されたものを表5-1に示す。ここでは現地調査で観察されたリーケージとして、焼畑耕作のための伐開、薪用材の伐採、自家用建築用材の伐採、販売のための用材の伐採（違法）の4点があげられている。いずれも、プロジェクト内に居住する人々が、代替的な方法の提供を受けることなしに、土地や森林に対するアクセスを制限され、プロジェクトの外に資源を求めて活動をシフトさせたために生じたものである。こうした状況を引き起こす理由（遠因）として他地域からの流入による人口増加、プロジェクトでの雇用による収入増大、住民間の収入格差の拡大、法秩序を守る意識の欠如、道路建設、などがあげられている。

表5-1 リークージの発生理由と発生地域

リーケーjの種類	発生理由		発生地域	
	遠因	近因	村内及び近隣	遠方
焼き畑耕作のための森林の伐開	人口増加 収入格差の増大	土地利用変化	村内で発生	村外で発生
薪用材の消費のための森林伐採	人口増加 他燃料の普及率		村の近隣で発生	
建築材料その他木材消費のための森林伐採	収入増加 人口増加 人口流入	戸数増加 定着化	村の近隣で発生	遠方であるがバウンダリー内で発生
違法伐採	法と秩序の問題 村落の経済構造	道路建設	周辺での発生もありうる	遠方であるがバウンダリー内で発生

出所：住友林業株式会社、「地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査 インドネシアにおける植林の評価方法に関する調査報告書」、平成14年2月、90ページより引用

2)-4 リークージへの対処法

特別報告では、リーケーj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としている。一つは、プロジェクトの計画の中にリーケーj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推計するという、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タイプや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についての要点は以下のとおりである。

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ケーj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、対応策を組み込むことでリーケーjを軽減化させる事が出来る。また、プロジェクト開始後にリーケーjが生じている証拠が得られた場合、リーケーjを軽減させるような追加的な活動を組み込むか、あるいはそれを監視し温室効果ガスの純吸収量の再推計を行うことになる。

ア) プロジェクトの計画時及び開始後における追加的活動の組み込み

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応じて追加的活動を組み込む事により、リーケーjを回避ないし軽減化することが出来る。例えば、プロジェクトの活動への協力につなが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保全効果の高い技術を採用し、それ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。

イ) 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、リーケ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る。

3) 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、ここでは事前評価の項目としてどのような事柄を含めるべきかを検討する参考として、住友林業株式会社がインドネシアの東カリマンタンで実施中の産業植林プロジェクトを事例とした調査結果を取りまとめた報告書から、間接影響のチェックリストを表5-2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をもとに（財）地球環境研究センターが取りまとめたマニュアルから、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5-3に示す。さらに、国際林業研究所（CIFOR）が取りまとめた、産業植林事業の持続可能性が高いか否かを推し量るための基準と指標についての報告書から、社会経済的要素についての基準と指標に関わる部分を表5-4に示す。ここで示されて項目は、地域対策としてプロジェクトがあらかじめ計画に組み込むべき事柄として整理されたものであり、プロジェクトの持続性を高める上でプロジェクトの計画と実行の各段階に地域住民が対等な立場で参加でき、必要に応じて問題調整が図られるような仕組みを組み込む事が不可欠であるという基本認識に立つものである。

表5-2 間接影響チェックリスト

①経済的な側面

-
- ・プロジェクトに起因する地域経済への影響はどのようなものか（収益、就労機会の増大などの地域経済振興への寄与、失業率の増加や他の経済活動への影響等）
 - ・プロジェクトに起因するプロジェクト内外における土地利用の変化（近隣地での自発的開発や森林伐採の増加）
 - ・森林保全などの措置による農産物の減収、その他産業への負の影響が生じるか
 - ・プロジェクトが実施されることにより、周辺の既存の森林事業に悪影響を及ぼさないか
-

②社会・文化的な側面

- ・地域住民の環境意識や生活形態に影響を与えるか
 - ・プロジェクト実施に当たり住民の移動、先住民や少数部族などへの必要かつ適切な対策がとられているか
 - ・森林火災や洪水の危険性が增大するなど防災上の影響がないか
-

③環境影響

- ・プロジェクト対象地内外の生態系への影響（植生変化、生物多様性の減退、有害生物の進入の可能性、天然林の劣化、湿地・泥炭地の消滅等）が大きいか
 - ・伐採等による土壌浸食や表土流出、植林する樹種による土地荒廃（土壌劣化、塩水化等）等の危険性があるか
 - ・単一の種を植林することによる問題は生じないか
-

④間接的影響の防止対策

- ・①～③で記述された悪影響に関し、効果的な措置及び対策は計画されているか
-

出所：住友林業株式会社、「地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査 インドネシアにおける植林の評価方法に関する調査報告書」、平成14年2月、100ページより引用

表5-3 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ー、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
持続的林業、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）」

表5-4 インドネシアにおける森林区レベルでの持続可能な植林事業の基準と指標（社会経済的要素）

基準・指標

土地に対する権利の保証

- ・紛争は最小限にとどまるか解決されている
- ・権利関係が明確で遵守されている
- ・土地に対する長期的な権利や合意が保証されており慣行的権利も尊重されている
- ・コンセッション地区内で地元住民が社会経済的活動を継続する機会が与えられている
- ・地元集落が失った土地とその他資源に対する補償が与えられている

植林地管理への住民の参加

- ・紛争解決のための公平かつ効果的な仕組みがある
- ・地元住民がプロジェクトを理解し活動に組み込まれている
- ・プロジェクト側と地元住民の間で情報を分かち合う効果的な仕組みがある
- ・会社にサポートされたコミュニティ開発の専門家が必要に応じ対応出来る

地域住民の社会経済的遂行能力（performance）の向上

- ・植林事業によって住民の所得が実質的に高まった
- ・地元住民に差別なく雇用と訓練の機会が与えられている
- ・地元住民に自身の土地での用材生産のための植林が奨励されている
- ・地元住民（森林に依存する人々）の福祉の向上にプロジェクトが貢献している
- ・地域の文化的価値と多様性及び伝統的知識の保存に貢献している
- ・社会資本の整備と地域のニーズにあったサービスの提供がなされている
- ・代替的な経済活動の機会の提供と橋渡しが行われている
- ・社会的便益の最大化が図られ混乱が最小限に抑えられている

関係者の責任の明確化

- ・地元住民と経営側との間でそれぞれの権利と責任についての合意があり、さらにそれを守るための効果的な仕組みが存在する
- ・植林活動によって生じるマイナスの影響について地元住民に教育、訓練するプログラムがある
- ・環境保全や社会的、文化的活動の維持に関連した活動が注意深くモニタリングされている
- ・健康と安全に関して適用可能な法律や規則が必要基準を満たしている
- ・賃金や施設の整備が地域の基準を満たしている
- ・経験と熟練に応じた職種が明確化され差別なく適用されている

出所：Muhtaman, D.R., C.A. Siegar and P. Hopmans, 2000. Criteria and Indicators for sustainable Plantation Forestry in Indonesia, CIFOR, Bogor, Indonesia, 27p.

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) 山形良志樹、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的動向」、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) 住友林業株式会社、「地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査 インドネシアにおける植林の評価方法に関する調査報告書」、平成14年2月
- 5) Muhtaman, D.R., C.A. Siegar and P. Hopmans, 2000. Criteria and Indicators for Sustainable Plantation Forestry in Indonesia, CIFOR, Bogor, Indonesia, 27p.

6 . CDM植林促進技術の開発

6 - 1 植林活動による炭素固定とCDM

早稲田大学 森川 靖

1. 産業植林

比較的土壌条件の良い、主に紙パルプ生産を目的とした産業植林地では、早生樹種を用いて6～8年伐期ローテーションで植林が行なわれている。以下、産業植林の主な種について炭素固定量を述べよう。

Acacia

熱帯地域で近年精力的に植林されている *A. mangium* の年間炭素固定量を表6-1に示す。いずれの植林地も、産業造林、試験林など植林の目的は異なるものの、主に原生林伐採後の二次林や焼畑跡の荒廃放棄地、草地などに造成された人工林である。*A. mangium* の年間炭素固定量は8～14tC/ha/yrである。なお、地上部に対する根の割合は、インドネシアの南スマトラの測定結果からおよそ16%程度だった。米川・宮脇（1988）によると *A. mangium* をパルプ用チップボード用に使用する場合、土地の生産力を最大に生かすには、5～7年伐期が1つの目安となるとしている。東南アジアを中心とする *A. mangium* の植林地では、年間炭素固定量が10tC/ha/yr前後と考えて良いであろう。一方、土壌劣化の著しいせき悪地で、一次緑化としても用いられている *A. auriculiformis* は *A. mangium* に比べて地域によるの差が大きく、更に実測データを収集することが求められる。

Eucalyptus

西オーストラリア・マンジュマップの *E. globulus* 産業植林の成長量は16tC/ha/yr、材積成長量では51m³/ha/yr（皮付き材積）（表6-1）となり、伐期に近づくにつれて平均を大きく上回る成長を示していた。これらの数値は他地域で得られている年間固定量を大幅にうわまわっており、本種における最大値あるいは多くの産業植林のなかで最大値とみなすことができよう。南アフリカの *E. grandis* 産業植林の年間炭素固定量は8tC/ha/yr程度（8年生）、南米チリの *E. nitens*（7～11年生）で8～9tC/ha/yrであった。これらの種は亜熱帯地域の植栽種であり、ユーカリ植林で年間8～9tの炭素固定が見込まれよう。なお、これらの数値は地上部だけなので地下部（根）を含めると数値はあがる。地上部に対する地下部の割合は、いずれも14～16%程度であった。

E. camaldulensis はオーストラリア原産の常緑広葉樹で、モンスーン熱帯で早生樹として広く植栽されており、タイでは同種の造林地が多い（Kamo 1990）。また、この種は世界的に最も広く、また社会林業など多様な目的で植栽されている樹種である（石塚 1996）。ベトナム・ソンベにおける *E. camaldulensis* の年間炭素固定量は5tC/ha/yrとなり、同地域の *A. mangium* 及び *A. auriculiformis* と比べて少ない値となった。

本種の成長について、乾燥する熱帯ではタイなどで20m³/ha以下で、湿潤熱帯ではややよくて30m³/ha程度の連年成長が期待できる（石塚 1996）とされている。しかし一方では、様々な環境への適応性は極めて高いが、その成長は立地条件によって大きく左右され、材積成長量が2～11m³/haという報告もある（石塚 1996）という。本調査地の材積成長量

も12.5m³/haとなっており、同地域の他樹種などと比べると低い値である。また、元来林冠の薄い種とされるが、本調査地の*E. camaldulensis*林分は葉面積示数が1.8と小さく、疎開した樹冠であった。

用途が多く、モンスーンアジア地域においても広く植栽されている樹種であるので、気候や土壌など環境条件による成長量及び炭素固定量についての調査及びデータの整理が必要である。

2. 環境造林

環境造林は、産業植林のように、短伐期ローテーションによる生産目的ではなく、過度の焼畑などでせき悪地化した土地を緑に戻し、有用材生産や里山林的な機能を持たせるなど、公益的機能をも視野にいれた造林である。本調査で炭素固定量の測定を行った3樹種、*Cassia siamea*、*Azadirachta indica*、*Dalbergia latifolia*はともに、家具材、材木、薪炭材、飼料（葉）などに広く用いられるいわゆる多目的樹種である。インドネシアのロンボク島に日伊友好の森として造林されているこれらの種は、年間炭素固定量が6～9tC/ha/yr（3年生）であった。せき悪地化したロンボク島でも環境造林によって十分に炭素固定機能を発揮できることが明らかとなった。

インドネシアの南スマトラ、ブナカットの環境造林地は、JICAが行ったものであるが、今回の調査の結果、20年生の*Swietenia macrophylla*（マホガニー）の調査地におけるバイオマスは、133tC/ha、年間の平均固定量で6.6tC/ha/yrであった。植栽後の十分な管理によって長期間、造林地として保全されれば先に述べた環境造林の目的を十分に果たす好事例であろう。

なお、マホガニーの地上部に対する地下部の割合は、30%程度であった。産業植林種の多くが16%程度であるのに対し、地下部の割合の大きいことは、森林の機能を高める上でも重要であり、今後、環境造林種の地下部も含めた調査が望まれる。

*Acacia*類や*Eucalyptus*類などの産業造林に多く用いられる早生樹種は短期間での高い炭素固定量が期待できるが、成長の特性や産業造林という目的から収穫サイクルが10年前後と短い。そのため大量の炭素の固定と伐採による減少、再植林による再固定、というサイクルを短期間で繰り返していることになる。

一方、ロンボク島での調査地はいわゆる環境造林であり、パルプチップや大規模な木材などの収穫を目的とはしておらず、荒廢地を緑化し地元住民の生活材の提供等を目的としている。こうした林地は産業造林地と比べて短期間での炭素固定量は劣っているが、大量の樹木の一斉伐採ということは想定していない。そのため長期間固定し続けるという特徴がありその効果が期待される。

3. ベースライン

ベースラインとは本来CDM等追加的な排出削減活動がなかった場合のCO₂排出量のことを指す。吸収源活動の場合では、植林事業など吸収源活動がなかった場合の植生によるCO₂吸収量をいう。

こうした点を踏まえて本調査では、環境造林であるロンボク島の3年生広葉樹の混交

林においてベースラインの炭素固定量を測定した。林地周辺に優占する多年生の草本及び低木（主な優占種；*Chromolaena odorata*と*Lantana camara*）を対象に計3箇所で測定を行い、ベースラインの年間炭素固定量は2.6~3.2tC/ha/yrとなった。このベースライン植生の2種は樹木と比較するとその寿命は短い。Slaatsら（1996）の調査では、3年生*C. odorata*が10.4tC/haのバイオマスを示すとしているが、その後は枯死が始まり、5年生では8.3tC/haと減少したとしている。またNykvist（1996）によると、*C. odorata*は1983年のボルネオ島での森林火災の2年後に最もよく見られた草本であったが、3年目には完全に消えてしまっていたとされている。こうしたことから、*C. odorata*の寿命はおおよそ3~5年であるものと考えられる。

ボルネオ島の東カリマンタンでは、大規模な森林火災後に違法伐採や移動耕作が広まり、その結果その地域は早生先駆樹種の二次林やalang-alang (*Imperata cylindrica*) 草地となった。これらはこうした地域に植林地を造成し、二酸化炭素吸収源として測定を行う際のベースライン植生となるだろう。

サマリダバリクパパン間にあるムラワルマン大学のブキットスハルト演習林における森林火災跡地の先駆樹種二次林における年間炭素固定量は2.9~5.7tC/ha/yrとなり、ロンボク島でのベースライン植生による年間炭素固定量よりも多い。これは、ロンボク島のベースライン植生が草本や低木であったのに対し、ここでのベースライン植生の大部分が樹木で構成されていることによる。また、*Macaranga gigantea*が優占するプロットのように樹木による炭素固定量が少ない場合でも、下層植生の旺盛な成長により炭素固定量が多かったためである。しかし、先駆樹種二次林のバイオマス増加は造林木に比べて少なく、造林による炭素固定量との差が拡大することを確認した。これら自然植生回復の初期成長においても産業植林に用いられる早生樹種に及ばないものと考えられる。

alang-alang草地は、先駆樹種二次林よりも更に炭素固定量が非常に少なく、0.6~1.3tC/ha/yrであった。alang-alangは熱帯及び温帯地域で最も広範に広がるせき悪地特有の多年生草本である。また、alang-alang草地の拡大は、森林の伐採や非伝統的な焼畑移動耕作などと密接に関係しており、こうした強い人為影響下の植林地における炭素固定量データの蓄積が今後の課題である。

引用文献

- 1) 石塚和裕. 熱帯樹種の造林特性 第1巻. 国際緑化推進センター. 200-208 (1996)
- 2) 加茂皓一. タイ国での早生樹林の生産力測定例. 熱帯林業. 19. 26-34. (1990)
- 3) N. Nykvist. Regrowth of secondary vegetation after the 'Borneo fire' of 1982-1983. *Journal of Tropical Ecology*. 12, 307-312. (1996)
- 4) J.J.P. Slaats, W.M. van der Heiden, C.M. Stockmann, M. Wessel, and B.H. Janssen. Growth of the *Chromolaena odorata* fallow vegetation in semi-permanent food crop production systems in South-West Cote d'Ivoire. *Netherland Journal of Agricultural Science*. 44. 179-192. (1996)
- 5) 米川誠一、宮脇 繁. ブルネイのアカシア・マンギウム (第2報). 熱帯林業. 12. 25-32. (1988)

表 6 - 1 Carbon Accumulation in man-made forest and base line (BL)

	age	density (n/ha)	Biomass (tC/ha) and MAI (tC/ha/yr)					stem V (m ³ /ha)	BL (tC/ha/yr)	soil C (tC/ha)	Source	
			stem	bark	branch	leaf	above					root
<i>Eucalyptus globulus</i>	5	1225	55.3 (11.06)	9.3 (1.86)	8.5 (1.70)	8.5 (1.69)	81.5 (16.30)	12.2 (2.44)	246.2		46	JOPP, 1999
Manjimup, W.Aust.*	8	1225	93.5 (11.69)	13.5 (1.69)	11.4 (1.43)	10.2 (1.28)	128.5 (16.06)	18.5 (2.31)	408.9		46	
<i>E. globulus</i>	5	1467	29.1 (5.82)	3.8 (0.77)	6.1 (1.22)	5.0 (1.00)	43.0 (8.60)	7.3 (1.45)	144.5		91	JOPP, 2000
Canente, Chili*	7	1840	52.0 (7.43)	6.6 (0.94)	8.1 (1.16)	7.2 (1.03)	74.0 (10.57)	12.5 (1.79)	254.7		135	
<i>E. grandis</i>	5	1135	30.8 (6.16)	4.1 (0.82)	2.9 (0.58)	1.6 (0.32)	39.4 (7.88)	8.9 (1.78)	198.3		86	JOPP, 2000
Melmoth, S.Africa*	8	1333	53.7 (6.71)	6.4 (0.80)	4.7 (0.58)	2.2 (0.27)	66.9 (8.36)	8.9 (1.11)	338.2		69	
<i>E. nitens</i>	7	1383	41.6 (5.94)	5.2 (0.75)	6.7 (0.95)	7.6 (1.08)	61.1 (8.73)	10.0 (1.43)	223.9		87	JOPP, 2000
Canente, Chili*	8	1517	45.9 (5.74)	5.8 (0.73)	7.3 (0.91)	8.4 (1.05)	67.5 (8.44)	11.1 (1.39)	247.8		67	
	11	1048	68.5 (6.23)	7.7 (0.70)	10.6 (0.96)	10.8 (0.98)	97.6 (8.87)	15.5 (1.41)	345.1		28-49	JOOP, 2000
<i>E. camaldulensis</i> (1)	6	1089	20.1 (3.35)	4.7 (0.78)	2.0 (0.33)	0.9 (0.14)	30.5 (5.08)		75.1		28-49	JOPP, 2000
<i>Acacia mangium</i> (1)	6	1289	46.3 (7.72)	7.8 (1.29)	4.9 (0.82)	1.7 (0.28)	60.6 (10.10)		229.0		28-49	JOOP, 2000
<i>A. mangium</i> (2)	6	1369	57.3 (9.55)	9.2 (1.53)	16.4 (2.73)	3.2 (0.54)	86.1 (14.35)	13.2 (2.20)	287.4	1.6-2.8		JIFPRO, 2002
<i>A. mangium</i> (3)	7	506	42.3 (6.04)	4.0 (0.57)	6.1 (0.87)	2.3 (0.33)	54.6 (7.80)		221.9			JOPP, 2000
<i>A. auriculiformis</i> (1)	6	1500	33.9 (5.65)	5.1 (0.84)	6.3 (1.05)	2.7 (0.44)	47.9 (7.98)		171.4		28-49	JOPP, 2000
<i>Cassia siamea</i> (4)	3	935	12.4 (4.13)	1.7 (0.55)	9.8 (3.25)	2.1 (0.70)	25.8 (8.60)		37.3	2.6-3.2		JIFPRO, 2002
<i>Azadirachta indica</i> (4)	3	1111	11.3 (3.77)	2.1 (0.68)	7.2 (2.38)	2.3 (0.77)	22.8 (7.58)		44.4	2.6-3.2		JIFPRO, 2002
<i>Dalbergia ltifolia</i> (4)	3	1025	7.3 (2.43)	2.1 (0.68)	7.8 (2.60)	0.5 (0.17)	17.7 (5.88)		26.4	2.6-3.2		JIFPRO, 2002
<i>Swietenia macrophylla</i> (2)	20	1117	81.5 (4.08)	12.0 (0.60)	31.7 (1.59)	4.1 (0.20)	129.3 (6.47)	36.6 (1.83)	437.4	1.6-2.8	54	JIFPRO, 2002
<i>Peronema canescens</i> (2)	10	446	7.5 (0.75)	1.5 (0.15)	4.4 (0.44)	0.9 (0.09)	4.7 (0.47)	3.0 (0.30)	47.8	1.6-2.8	100	JIFPRO, 2002
(secondary forests)(5)										2.9-5.7		WASEDA, 2002
(alang-alang)(5)										0.6-1.3		WASEDA, 2002

(1) Sonbe, Viet Nam*, (2) Benakat, Sumatra, Indonesia**, (3) Madang, PNG*, (4) Lombok Island, Indonesia** and (5) Samarinda, E. Kalimantan, Indonesia
 *; Industrial plantations and **; rehabilitating forests
 soil carbon; 0-30cm

6-2 施肥による造林木成長促進効果の判定

国際緑化推進センター 大角泰夫・中山祐介
インドネシア研究開発庁林産技術開発センター Gusmailina・N.A.Gintings

出張期間：平成14年12月15日～25日

調査者：インドネシア国研究開発庁林産技術研究開発センター Ms. Gusmailina及び
Mr. Ali（施肥試験設計と施用）、国際緑化推進センター 大角及び中山（施肥
試験設計と樹木計測）

はじめに

植栽樹種、施業パターン等の条件による炭素吸収量増加のための造林技術の開発は、今後のCDMプロジェクトにおいて効果的である。この目的から期待されるテーマには、1) 植栽樹種及び選抜された種類の炭素固定能の解析、2) 施業条件による炭素固定能の増強、等と総括される。それらのテーマのうち、前者については過去の造林実績の報告¹⁾ や個別に作成された材積表²⁾ から適切な樹種を選定し、年次的な樹種別バイオマス増加量を、測定法の開発を行いながら解析しており、本目的に対応した基礎的データを本報告書及び前年度の報告書に一部を掲載している。後者については、植栽間隔、乾燥地造林法、施肥による成長量増加法、保育方法等についての検討が求められる。

本調査においては施業条件によって樹木バイオマス成長量を増加させるために施肥による成長促進効果を検証することを目的とした。なお、肥料製造に伴う化石エネルギーの使用を避ける意味で堆肥を用いることとした。施肥の時期は1) 植栽時、2) 若年期及び3) 成木施肥があるが、今回の調査では2) の若年期施肥を先行させることとした。もっとも効果的と考えられている1) の植栽時施肥は今年度の植栽計画の中で行うこととし、今回の報告からは除いた。

1) 試用肥料の種類と構成

試用される肥料は、前述のように気候変動枠組み条約の目的を考慮し、化石エネルギーの使用を避けるという観点から、生物起源の材料によって調整された堆肥が適切と判断し、JIFPROが別事業によってインドネシア研究開発庁林産技術研究開発センターで開発した堆肥を活用した³⁾。この堆肥は、おがくず、落葉・落枝および農業残滓を炭化し、これに畜産廃棄物を混入、発酵させることによって調整された堆肥で、土壤中で固定炭素として長く維持され、土壌改良効果が高いとされている木炭が主成分として含まれており、林地の炭素固定という観点から二重の効果が期待されるため、本調査の目的から好適と判断し、選定されたものである。

本堆肥の養分組成は以下の通りである（表6-2）。なお水分パーセントは室温状態での割合を示し、現実林地に施用されるときは乾燥時の割合である。それ以外の養分については乾燥時の成分組成を示している。

表 6 - 2 Specification of Compost applied in Test Trial at Sekaroh N.F.

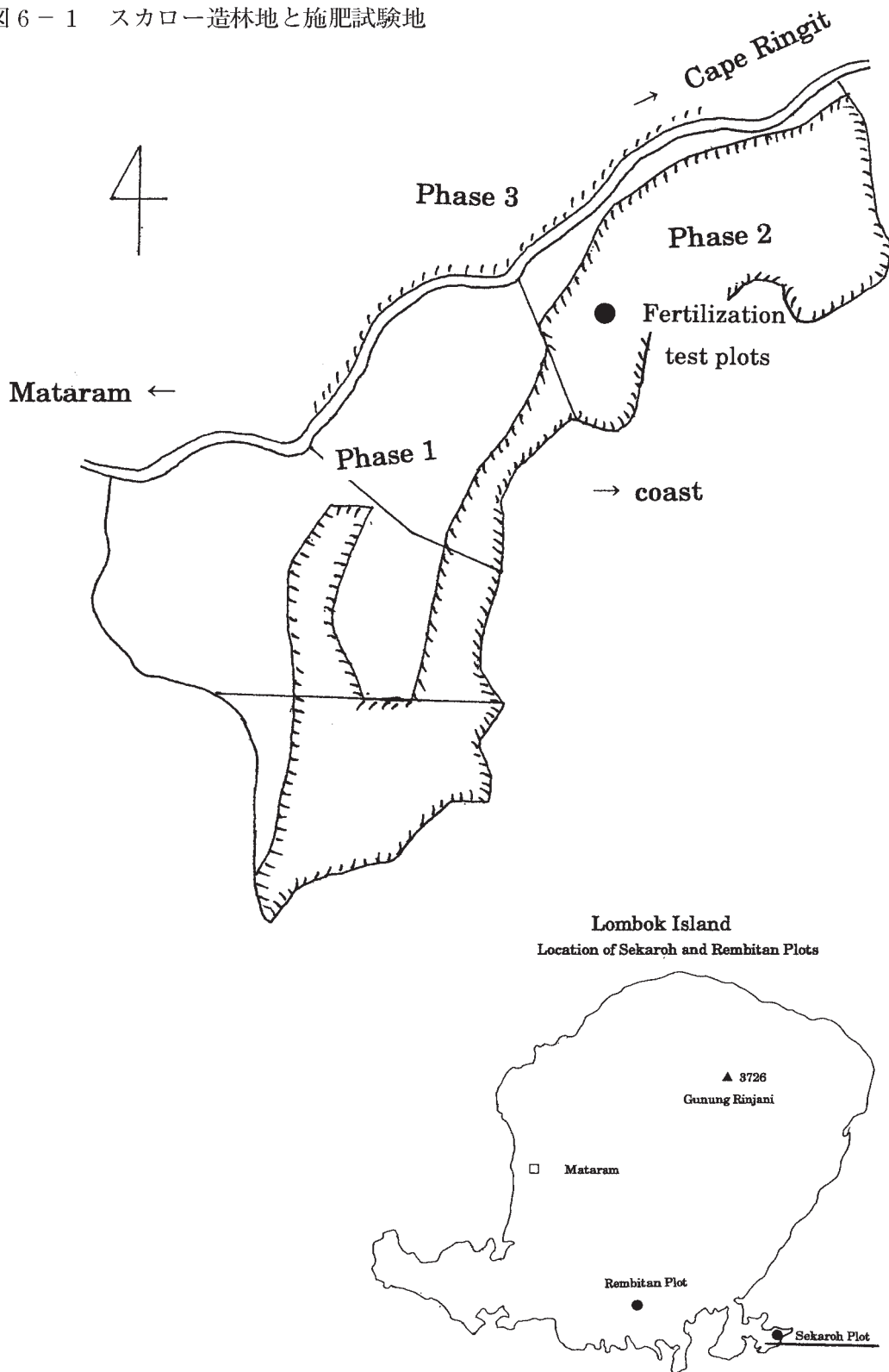
Element	Content range
Carbon	31.21 - 31.50%
Nitrogen	1.63 - 1.80%
Phosphorus	0.63 - 1.00%
Potassium	1.34 - 1.50%
Calcium	0.81 - 0.90%
Magnesium	0.34 - 0.40%
Moisture	30%

2) 施肥試験の対象地と立地条件

対象地であるロンボック島スカロー地区は、1970年頃には天然林によって覆われていたが、その後の度重なる伐採-焼畑、放牧などにより1980年代には森林が再生しにくい荒廃地となったとされている。ロンボック森林局はこの地の再造林を試みたが、一部については成功せず、JIFPROに対して造林援助を求めてきたものである。この要請を受けてJIFPROは1996年から2000年にかけて「日・イ友好の森」プロジェクトを実施し、結果として約350haの森林造成を行った。したがって、対象とされた場所は荒廃の程度が高く、樹木定着が困難な場所であると考えられる。

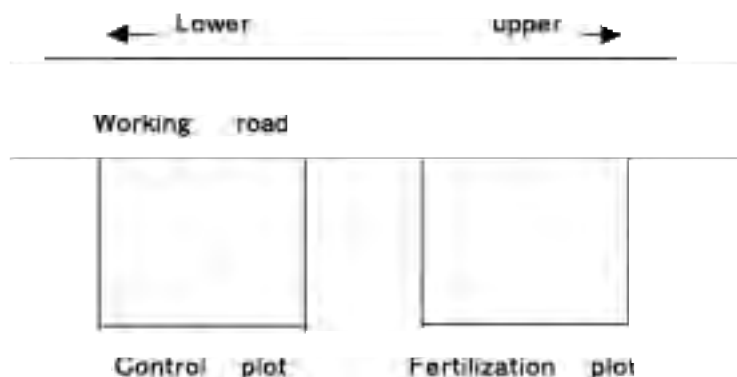
造林予定地の大部分は1998年までに造林を終了したが、1997年及び1998年のエルニーニョに伴う極端な乾燥により、特に乾燥しやすく、成長の悪い尾根や凸状地を中心に、約半量の造林地が乾燥による障害を受け、図 6 - 1 に区画した場所については2000年に大規模な改植を行った。改植地の成長も優れているとはいえず、植栽木の成長は他の造林地に比べて良好ではない。このような生育不良地の改良は本調査の目的にもかなうので1998年植栽、2000年改植地を調査対象地として選定した。

図 6 - 1 スカロー造林地と施肥試験地



施肥試験地は、施肥区と対照区を図 6 - 2 のように設定し、造林木の毎木調査を実施した。なお、図に示したように周辺効果を避けるため、作業道に沿った一列は試験区から除外し、また両区の間には2列の緩衝地帯を設定した。今回準備した堆肥量を勘案して、造林木が25~28本程度になるように両区を設定した。

図 6 - 2 General location of test plots in the Lombok plantation, planted in 1998 and 2000



造林地全域の立地条件はすでに別の調査によって報告されているので⁴⁾、概要を述べるにとどめる。降水量は約1,000mm程度で、4月～10月が乾季、地質は石灰質堆積岩、土壌は中・下層にpowdery limeが観察され、炭酸石灰で飽和されてpH8以上の弱アルカリ性、土壌物質の傾斜に沿った移動集積が見られるのでおそらくFAO分類では、calcic Cambisolと考えられる。

この試験地は幅広い尾根の上に設定し、南南東に面した約8°の緩傾斜地で、水はけが良く、乾燥を受けやすいと考えられる。今回の調査では土壌調査は行わなかったので詳細な土壌の栄養条件は不明であるが、施肥後の成長が顕著に認められる場合は、土壌の栄養条件の解析が必要と考えられる。

3) 両試験区の造林木の配置と成長

両試験区は前述のように1998年植栽、2000年改植地で、図6-3、6-4のように1998年植栽の一部の樹種が残されており、エルニーニョによる乾燥で枯れてできたギャップにチークとカポック、アルビジアが植えられている。なお、元々の樹種の植栽間隔は3m×3mで、改植時に植えられた木は元の配置から1m程度離して千鳥状に植えられている。なお、図中の樹種のうち、Jtはチーク、Kpはカポック、Soはマルバシタン、Miはインドセンダン、Seはアルビジア、Joはタガヤサンを示す。

両区の試験開始時の対象樹種構成は表6-4、6-5に総括したとおり、両区ともそれほど大きくは違っておらず、今後の両区の成長比較は容易であると考えられる。

各樹種の成長は、平均すれば以下の通りで（表6-3）、タガヤサンの肥大成長を除き、比較的類似した数値を示しており、比較は容易と考えられる。

表 6 - 3 両試験区内の対象樹種の樹高レンジ

	チーク	カポック	マルバシタン	インドセンダン	タガヤサン
対照区	3.9cm-3.8m	3.3cm-2.6m	3.6cm-3.8m	8.4cm-5.7m	9.8cm-6.8m
施肥区	4.0cm-3.8m	3.3cm-2.1m	4.2cm-4.0m	8.8cm-7.0m	14.1cm-6.7m

图 6-3 Seedling arrangement in the control plot

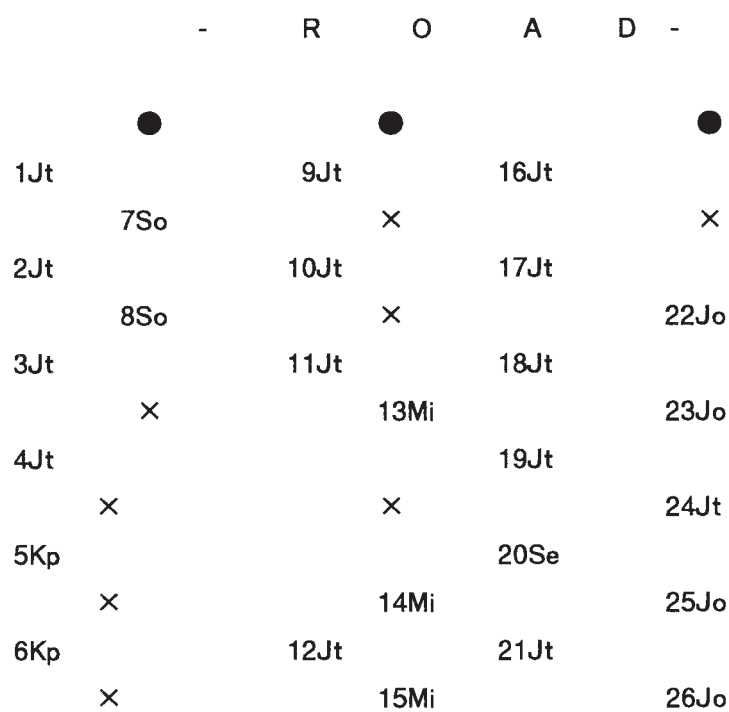


图 6-4 Seedling arrangement in the compost plot

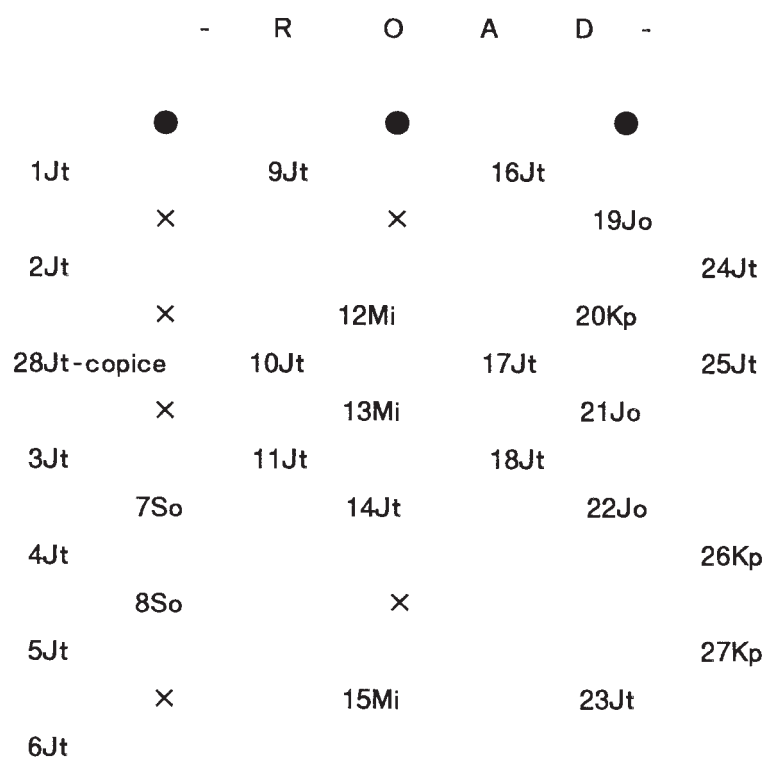


表 6 - 4 Number and species of trees in the control plot

Species	Number	Year planted
Azadirachta indica	3	1998
Cassia siamea	4	1998
Dalbergia latifolia	2	1998
Ceiba pentandra	2	2000
Paraserianthes sp	1	2000
Tectona grandis	14	2000
Total	26	

表 6 - 5 Number and species of trees in the compost plot

Species	Number	Year planted
Azadirachta indica	3	1998
Cassia siamea	3	1998
Dalbergia latifolia	2	1998
Ceiba pentandra	3	2000
Tectona grandis*	17	2000
Total	28	

Note: *including 1 copice

4) 施肥試験区の処理

施肥は、養分吸収を活発に行っている細根が集中すると予想される、各造林木の樹冠縁直下に行うこととした。なお、樹冠が重なる場合は対象木樹冠のちょうど中間となる部分に施肥することとした（写真18参照）。

施肥の方法は、乾燥が激しい場所でもあり、細根は地表部には少なく、深さ20～30cmに集中分布すると推定されるので、写真に示したように深さ約30cm、幅20～30cmのトレンチを掘り、そこに散布する方法を採用した。施肥後は養分の揮散と流出を抑え、発酵の促進とより高い肥料効果を確保するために埋め戻した。

各個体への施肥量は、個体の大きさに対応して案分した。すなわち、通常のサイズには個体あたり30kg、大きい個体には40kg、萌芽と極端に小さい個体には25kgを施用した。具体的には、全てのタガヤサンには40kg、チークの萌芽とカポックの小個体に25kgを施用し、あとの個体には30kgとした。

5) 施肥効果の判定

施肥の効果は、樹木の成長に現れることは想定されるが、まず林床植生、特に草本の成長に反映する。したがって、対照区との林床植生の成長量と樹木成長量を定期的に測定し、肥料の効果の継続性を判定する必要がある。

施肥効果の判定時期について、スカロー地区は前述のように4月～10月が乾季であり、その間はほとんど成長が止まると考えられる。すなわち成長のリズムが比較的明確であるので、施肥効果の判定もそのリズムに相応して行うのが得策である。したがって、今後の施肥効果の判定は、林床植生と樹木成長量について、雨季が終わって成長がほぼ止まった時期、すなわち8月頃から、雨季が始まって成長を開始する時期、すなわち12月頃までに毎年1回行うことが安定的なデータが得られると考えられる。

CDMの枠組みから考えると、炭素固定量の算定は、1) 施肥による成長促進効果+2) 堆肥として投入された炭量（風化係数を考慮）となり、造林地の固定炭素量に投入炭量を入れることとなる。今回の堆肥施用では $10\text{m} \times 20\text{m} = 200\text{m}^2$ に乾燥重量として600kgの堆肥を投入した。約30%が炭であるので、 $600\text{kg} \times 0.3 \times 50 = 9,000\text{kg/ha}$ の炭が造林地に付加されたことになる。現在JICAによるCDMプロジェクトで炭の風化係数が検討されているのでその結果を待って付加固定炭素量のより詳細な解析を行う必要がある。

6) 残された課題

本事業ではCDM植林促進技術の開発について、植栽樹種、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、過去の情報や今回の現地調査データを解析し、開発することとしている。

現在までに、植栽樹種毎の成長量調査の中では特に重要と考えられる10樹種について、樹種毎成長量を解析した。しかし、同一樹種の樹齢別成長量の推移、立地環境の異なる場所での同一樹種の成長量の比較、植栽間隔による固定バイオマスの相違、ブラジルでのユーカリのように選抜種の成長量、解析した10樹種以外の造林樹種の成長量解析等についてはまだ解析が十分とはいえない。特に今後造林が進められると考えられる東南アジアのフタバガキや世界的に資源作物として造林が進められているゴム、オイルパーム、炭用マングローブなどについては検討が必要である。これらの事項のなかでも同一樹種の樹齢別解析と立地環境別解析は、今後バイオマス解析を簡略化するための地上部データのシミュレーションによる炭素固定量の把握と共に地域別炭素固定好適樹種の選定に特に重要であるので、今後検討すべき特に重要な課題である。

また、施業条件による炭素固定量増強方法の開発に関して、1) 施肥、2) 植栽間隔、3) 保育条件、4) 乾燥地造林法の開発等が考えられる。そのうち、施肥による成長促進については既存の造林地での定量的データがほとんどないため、今回の調査によって若齢成長不良地での施肥による成長促進効果試験を開始したが、成木や植栽時施肥による効果も検証する必要がある。また、効果が見られる場合、植栽時、若齢時、成木のそれぞれの項目で最も効果を発揮できる条件の解析も今後必要である。植栽間隔と成長量の相違についてはインドネシア・スマトラでのアカシア・マンギウム造林地で予備的に解析された以外はほとんど解析を行えなかった。また、保育条件と成長量との関係につ

いてもチーク造林地で基礎データが一部収集された以外検討はなされていない。年平均降水量1,000mm以下の乾燥した地域では荒廃した地域が対象となることが多く、特に造林木の活着に問題が生ずることが多い。そのためこのような乾燥地に適合した造林方法と保育管理法の開発が必要である。

本事業は今年度で終了し、新たなスキームが次年度に開始されることとなっているが、今回設定した施肥試験地は今後継続的に測定・維持される必要があるので、新たなスキームにおいても検討事項として組み込む必要がある。また、今回の調査で設定を依頼した植栽時施肥による成長・活着効果の検証についても継続的な解析が必要である。

参考文献

- 1) 西川他 (1996) : 熱帯林の成長データ集録 (その1) 及び (その2)、熱帯林情報No.3、pp.1-322 及び pp.1-297、国際緑化推進センター
- 2) Suharlan A. et al (1975) : Tabel Tegakan Sepuluh Jenis Kayu Industri (Yield table of ten industrial wood species), pp.1-41, Lembaga Penelitian Hutan, Indonesia
- 3) Gusmailina, Gustan Pari and Sri Komarayati (2003) : PEDOMAN PEMBUATAN ARANG (Guidelines of charcoal compost production) ; in press
- 4) 国際緑化推進センター (2001) : インドネシア国ロンボク島における住民参加型CO₂吸収源強化植林事業の可能性調査

(資料 1)
DRAFT

**ASSESSMENT ON THE POTENTIALITY OF
REFORESTATION AND AFFORESTATION
ACTIVITIES IN MITIGATING
THE CLIMATE CHANGE**

A.Ngaloken Gintings
Sukaesih Prajadinata

FORESTRY RESEARCH AND DEVELOPMENT AGENCY,
MINISTRY OF FORESTRY, INDONESIA

In Cooperation With

JAPAN INTERNATIONAL FORESTRY PROMOTION
AND COOPERATION CENTRE (JIFPRO)

2002

I. INTRODUCTION

The seriousness of global warming has become a big issue in the last decade. A successive series of meeting have been conducted since 1992. The first Conference of the Parties (COP) in Berlin agreed that all the parties should take action in order to reduce their emission levels. Indonesia was among the countries which signed the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) on June 5, 1992. On August 1, 1994, the President of the Republic of Indonesia approved an the Act of Ratification of UNFCCC Number : 6/1994 (*Undang-undang tentang Pengesahan Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim Nomor 6/1994*). On August 23, 1994, the document was submitted to the Secretary General of the United Nations, and Indonesia legally included as a Party of the Conference.

At the third COP held in Kyoto in 1997, a draft was formulated to the UNFCCC, bringing out what is so-called Kyoto Protocol. The content of the protocol among others agreed that reforestation, afforestation, and deforestation could have a significant impact on the emission levels of greenhouse gases (GHG). Related as such, there are three proposed mechanisms to reduce or control such emissions, namely: Joint Implementation (JI), Clean Development Mechanisms (CDM), and International Emission Trading (IET). The implementation of JI and IET is done by developed countries; meanwhile, the CDM can be performed by either developed or developing countries. Under the Article 3.1. of the Kyoto Protocol, the so-called Annex 1 (developed or industrialized) countries have agreed to limit and reduce their GHG emissions in the forthcoming period between 2008 and 2012. According to a reasonable estimate (Anonymous 2000, pg 4), the amount of carbon dioxide (CO₂) as emitted into the atmosphere from 1850 to 1998 as a result of land-use change, predominantly from forest ecosystem, reached 136 (\pm 55) Giga-tons of C.

Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF) have a significant role on absorbing and emitting GHG. Since the uncertainties among those three items are interrelated, the good practice on LULUCF becomes very important. Further, during the sixth COP held in De Hague, most of the involved parties agreed that afforestation (i.e. meaning the growing of trees/perennial crops on land that was not previously forest) and reforestation (i.e. the re-growing of forest that has been harvested or exploited) would be accepted as the elements of CDM.

The afforestation and reforestation activities have been regarded as a high priority program in Indonesia. This is because forestry as one of the vegetation sites can have a significant role for its capacity as CO₂ sink or sequestration by the process which is called photosynthesis. Through the photosynthesis process, the trees will absorb or catch the CO₂ from the atmosphere. The ability of plants or trees to control the level of CO₂ in the air can be regarded as a mitigation of climate change. Further, how far the CO₂ uptake proceeds as conducted by the trees through their photosynthesis is among others by performing the measurement of their growth rate or increment. Quantitative estimate in carbon sequestration through the plantation of trees (e.g. afforestation and

reforestation) offers an essential piece of information to the policy makers concerned with the CDM. As it is obviously known, carbon sink in term of biomass accumulation varies with given regional conditions, such as soil fertility, local climates, human impacts, plantation management, etc. Unfortunately, the reliable information on the potentials of afforestation and reforestation to absorb CO₂ or GHG is still lacking. In consequence, a significant research is worth conducted. As one way to overcome this problem, a research endeavor about “Assessment on the Potentiality of Afforestation and Reforestation Activities in Mitigating the Climate Change” has been realized through the cooperative work between the Japan International Forestry Program and Cooperation Center (JIFPRO) and the Forestry Research and Development Agency, under the Indonesian Ministry of Forestry. The cooperative work has been further formalized through the release of Memorandum of Understanding (MOU) signed by both parties on August 24, 2001. Pertaining to the narrated matters, this report discusses the progress accomplishment of such cooperative results, with the related details forthcoming.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Study site

This research was conducted at Trial Plantation Project, Benakat, in South Sumatra (a site for studying *Swietenia macrophylla* species, Figure 1) and at Industrial Plantation Forest area, PT Musi Hutan Persada, Subanjeriji, also in South Sumatera (a site for studying *Acacia mangium*, Figure 2 and *Peronema canescens*).

1. The trial plantation project, Benakat

This trial plantation project is located in Benakat, which is geographically situated about. 3^o15’S and 103^o50’E, approximately 180 km westward of Palembang. The more precise location of the project is about 15 km north-westward of Pendopo. The characteristics of its natural environments are as follows:

Altitude	: 130 m asl (above sea level)
Topography	: Undulating
Vegetation	: Alang-alang (<i>Imperata cylindrica</i>) mixed with bush
Soil	: Red yellow podsolic and texture clayish
Acidity	: strong acidic, and the pH about 3.5 to 4.0
Nutrient	: Low of organic materials and nitrogen content
Drainage	: Low porosity, so aeration is extremely poor
Meteorological data	:
Rainfall	: ca. 2300 mm/year
Mean temperature	: ca. 26 ^o C
Rainy season	: November to May
Dry season	: June to October

This project is actually a technical cooperation program between the Government of the Republic Indonesia through the Ministry of Forestry, Directorate General of Reforestation and Land Rehabilitation and the Government of Japan through the Japan International Cooperation Agency (JICA). The project was performed in April 12, 1979 – April 11, 1984 (first period) and continued for the next two years April 12, 1984 – April 11, 1986 (second period).

2. Industrial plantation forest, PT Musi Hutan Persada

The area of this Industrial Plantation Forest, which is in Subanjeriji, is located in the Sub-district of the Rambang Dangku, District of Muara Enim, under the Province of South Sumatera. It is situated between $103^{\circ} 50' - 104^{\circ} 15' E$ and $3^{\circ} 30' - 4^{\circ} 00' S$. The topography of study area is generally flat (sloping at 0 – 3 %), and the elevations vary between 100 m and 150 m above sea level. The predominant soil type in this area is red-yellow podsols. Prior to the establishment of plantation forest, this area was a bush land and secondary forests. The average annual rainfall in Subanjeriji was once recorded at 2287.5 mm.

B. Materials

Chain saw, saw, a field note, map, a 50-m tape-measure for enclosing/assessing the plot, compass, diameter-measuring tape for DBH (diameter at breast height) determination, chalks, various spring balances, rope, 10 m by 10 m vinyl sheet, brown paper bag.

C. Method

A standard method of estimating biomass for assessing the quantity of carbon sinks was used, as follows :

1. Estimating Biomass at Plantations
- 1.1. Plot/Setting a plot for measuring

A four-sided plot was set in a given targeted forest stand. The length of the shortest side of this plot had to be longer than that of the mean height of the trees within the plot, i.e., for the mean tree height of 15m, the length of the shortest side of the plot had to be more than 15m. In other words, the size of the plot was larger than 15m by 15m. To avoid over-estimating the biomass of the plot by what is known as *edge effect*, two or three rows of planed trees at the edge of a forest stand or open-canopy site had to be excluded from such measurement. This is because the tree growth at such a location is usually better than the mean growth of the plot due to the better sun light conditions.

1. 2. The information of the plot

- a. The size, location, gradient, direction, and the soil type were recorded.
- b. The DBH of each standing tree was recorded in the field note, and so was the locations of dead or missing trees, if any. The data, collected would provide more accurate information for estimating the tree density and survival rate of the plot.
- c. If a tree was branching off under the breast height, the diameter of each branch had to be measured at the breast height and noted in the field note.

1.3. The felling of sample trees

Five to six trees should be selected for sampling that would represent the whole plot. The DBH of the selected trees, therefore, had to range from small to large DBH in accordance with the DBH distribution data collected in the field note as mentioned previously (above).

The felling

- 1). The tree had to be felled at 0.3 m vertically above the ground. The undercut from the felled tree had to be set aside for weighing, as the weight of this undercut had to be included in the total weight of the felled trunk.
- 2). The remaining stump had to be cut off at the ground level that would make the log of 0.3 m in length for weighing. This weighing result had to be included in the total weight of the felled trunk.
- 3). All the branches had to be cleared-off of the felled trunk, and the stump collected for weighing.
- 4). The height of the felled tree had to be measured before the trunk was being cut into logs.
- 5). The tree trunk had to be cut into logs for the convenience of weighing. It was advisable to mark the felled trunk with cutting positions beforehand at the positions indicating, for example, 1.3 m, 3.3 m, 5.3 m, and so on from the ground. "1.3m" should be marked at 1m from the cut bottom as the tree is felled at 0.3m from ground. It was also advisable to mark the first log "First", and the second log corresponding to 1.3 m to 3.3 m with "the second", and so on to avoid errors in recording data.

<Note>

Each sample tree to be numbered and the logs cut out of them had to bear the same number. The length of a log could be varied from one tree to another depending on the size of the tree.

- 1). When cutting the trunk, it had to be cross-cut at the marked positions so that the diameter of the bottom and of each log could be measured accurately. Two sets of two diameters of the longest and the shortest had to be measured; one set with the bark and the other without it, and be noted in the field note.
- 2). Each log had to be weighed. Such weighing could use various spring scales depending on the weight.

1. 4 Estimating biomass matter in each organ of sample tree (ST) by fresh weight.

- 1). Of all the limbs cleared-off of the trunk and the stump as in the above item (1.3.3), the dead limbs had to be separated from the live ones.
- 2). All the live limbs (L), then, should be cleared off of all the branches. The cleared limbs (L-B) and branches (B) should each be collected onto a separate vinyl sheet.
- 3). All the branches (B) had to be then cleared off of the twigs. The twigs (T) and the branches (B-T) should each be collected onto a separate sheet.
- 4). The twig (T) then should be stripped-off of all the leaves. The leaves (L) and the twigs (T-1) should each be collected onto a separate sheet for weighing.
- 5). The limbs (L-B) had to be weighed, and noted in the field note. It was advisable to wrap the limbs in vinyl sheet or bundle them with a rope for weighing by a spring scale. The tare such as the vinyl sheet or the rope had to be weighed and noted in the field note (Appendix 3) as well.
- 6). The branches (B-T) had to be also weighed and noted in the field note. The same procedures as in the above (5) should apply here.
- 7). The twigs without leaves(T-1) should be weighed. It was advisable to weigh the twigs in appropriate paper bags or wrapped up in a vinyl sheet. The tare such as the bags or the sheet had to be weighed and noted in the field note as in the above (5).
- 8). All the leaves (E) had to be weighed, and noted in the field note. The leaves should be weighted in appropriate bags or wrapped up in a sheet. The tare had to be weighed and noted in the field note as in the above.
- 9). Lastly, all the roots must be cleared, weighed, and noted in the field note.

Collecting *Acacia mangium* fruit sample, stratification of sample tree biomass, extraction of *Acacia mangium* root sample and *Acacia mangium* sample are showed in Figure 3, 4, 5 and 6.

<Note>

(ST) = sample tree (L) = limbs (B) = branches (T) = twigs, (E) = leaves

(L-B) = limbs without branches

(B-T) = branches without twigs

(T-1) = twigs without leaves

If the quantity of twigs (T) was large, estimation by sample could be made possible. Take 1/3 to 1/4 of (T) as a sample that would represent the entire plot. The weighing shall follow the same procedure as in the above.

1. 5 Collecting sample for dry weight estimate

Dry weight estimate, which was required to figure out or assess the volume of carbon-containing biomass, could be made by sampling.

Sample for dry weight estimate should be collected from the sample tree (ST) used for fresh weight estimate in the above (1-4). The sample of the limbs (SL), branches (SB), twigs (ST), and leaves (SE) should be collected. It was advisable to collect each of them into separate paper bags for weighing. The sample tree (ST) number and the organ name had to be indicated on each bag. The sample collected in the bag had to be weighed immediately for obtaining its fresh weight and then be noted in the field note (Appendix 4). The weight of the tare had to be weight and noted in the field note as well. It was strongly advisable to use a balance with high accuracy such as an electronic balance.

1). Limbs (SL) and branches (SB)

Sample had to be selected from both limbs and branches of various diameters and to be cut onto 10-cm pieces in length. The cut pieces had to be put into paper bags with the sample-tree numbers clearly indicated. The desirable weight of a sample was around 0.5 kg to 1.0 kg.

2). Twigs (ST)

Sample had to be cut into 10-cm pieces in length and to be put into paper bags. The desirable weight of the sample was around 0.3 kg to 0.5 kg.

3). Leaves (SE)

The leaves had to be put into paper bags. The desirable weight was 0.3 kg to 0.5 kg.

4). Trunks

A disk of 2.0 cm to 4.0 cm thickness had to be cut out of each log marked with "First", "Second" and so on indicating its position of the felled trunk. The barks had to be removed from each disk. The disks without the barks and the barks had to be put into different paper bags.

Tools : Small saws, pruning shears, ground sheets in vinyl, large and small paper bags, small plastic bags, spring scales, an electronic balance.

<Note>

(SL) = sample limbs (SB) = sample branch (ST) = sample twig (SE) = sample leave sample for LAI (Leaf Area Index) could be collected here.

Around 10 leaves had to be taken to the laboratory in plastic bags for figuring out the estimate of Leaf Area Index (LAI). The leaves had to be carried with care so that they would not be disfigured in working with them since each of the leaves had it own particular size

1. 6. Drying

The sample had to be dried in a circulating oven. For the sample of the trunks (the disk of the above item 1-5-4) and of the limbs (SL) and the branches (SB) of the above item 1-5-1, they had to be dried in the circulating oven at the temperature kept at 80 to 90 degree centigrade for 4 days (96 hrs). The samples of the barks, twigs (ST) and leaves (SE) had to be dried for two

days (48 hrs). Afterwards, the dry weight of all the samples had to be weighed and noted in the field note (Appendix 4).

2. Estimating Biomass in Bush or in Regenerated Vegetation

2. 1. Plot/setting a plot for measurement

A four sided plot had to be set in given targeted bush. The length of the shortest side of this plot had to be longer than of the mean height of the shrubs within the plot. In other words, for the mean shrub height of 2m, the length of the shortest side of the plot had to be more than 2m, in other words, the size of the plot was larger than 2m by 2m. To avoid overestimating the biomass of the plot by what is known as edge effect, two or three meters in distance from the edge of the bush or open-canopy site had to be excluded from such measurement. This is because the shrub growth at such a location is usually better than the mean growth of the plot due to the better sun light conditions.

2. 2 Measuring

All bushes above the ground must be cut and collected onto a vinyl sheet. The grasses had to be separated from all the collected shrubs, and it had to be collected into paper bags for weighing. The shrubs had to be separated from stems and leaves if possible, and each had to be put into separate bags. All the litters had also to be collected and put into bags for weighing.

The same procedure as mentioned in the above applied here in the sampling and the drying of grasses, leaves, stems and litters.

In converting the dry matter to carbon unit, 0.5 is used as a conversion coefficient (Morikawa, 2001).

III. RESULTS AND DISCUSSION

RESULTS

A. Biomass accumulation

In this regard, the biomass accumulation was described with respect to its biomass and approximate carbon content. The biomass weight of particular tree species was measured to calculate carbon absorption by such species growing in an Industrial Pantation Forest, i.e. mahoni (*Swietenia macrophylla*), mangium (*Acacia mangium*), and sungkai (*Peronema canescens*). The weight of biomass and its

carbon content in each of the sample trees with respect to their particular species, i.e. mahoni, mangium and sungkai are given in Table 1.

Table 1 shows that the dry-weight of biomass of 20-year old mahoni tree sample was between 43.53 kg and 940.42 kg per tree, with the average at 365.42 kg per tree. Such biomass by weight was comprised of the portion of tree sample above ground level (e.g. trunk, branches, and twigs) and the one below ground level (i.e. root in particular) consecutively in average at 82.06 percent and 17.94 percent.

Since conversion coefficient in converting the dry matter to carbon unit is 0.5, therefore, the average capacities of mahoni plant to absorb carbon (C) per tree could be approximated in the range between 21.77 and 470.21 kg per tree stand, with average at 182.71 kg per tree.

For the following species, the the total dry-weight of 8-year old mangium tree were between 52.03 kg and 310.68 kg per tree, with the average 179.74 kg. The average above ground portion contributed 164.23 kg (approximately about 91.37 percent of the average total biomass weight). Meanwhile the average bellow-ground portion contributed 15.52 kg or about 8.63 percent of average total biomass weight (179.75 kg). Related as such, the carbon content of mangium tree in average was approximated at 89.87 kg and it was ranging between 26.02 kg and 155.34 kg, per tree.

Further, the total biomass weight of 10-year old sungkai tree were between 27.55 kg and 126.30 kg per tree, with the average at 75.55 kg. The avrage above-ground portion of sungkai contributed 64.25 kg (85.04 % of the average total biomass, while average bellow-ground portion contributed only 11.30 kg (14.96 %). The carbon content of sungkai tree in average was approximated at 37.78 kg and its was ranging between 13.78 kg and 63.15 kg per tree.

B. Contribution of tree components to biomass formation

Particular tree components by weight could each give different contributions to biomass formation, as shown at Tables 2. Further, Table 2 indicates that trunk component was the highest contribution to such formation compared to those of other tree components, representing 49.46 percent of the total tree biomass for mahoni, 58.64 percent for mangium, and 44.71 percent for sungkai. Biomass weight by percentage in average appeared to decrease with respect to the particular tree components in the following order (after the tree trunk), i.e. boughs, roots, bark, leaves, and finally twigs. There is an interesting case about mangium, only this species noted to have abundant amount of dead branch, representing 5.98 percent of the total biomass weight. Top root ratio of mangium species (10.59) was higher than those of mahoni and sungkai which were only 4.58 and 5.51, respectively. The biomass and carbon content for tree component of each species per hectare are shown in Table 5.

C. Biomass and carbon sink in plantation forest

Planting distances in the selected plot were 1.5m by 4m, 3.5m by 2.5m, and 2m by 2m for mahoni, mangium, and sungkai respectively. However, planting distance which is commonly used in plantation forest is 3m by 3m. In this case, the data of such biomass matter and carbon sink in plantation forest were calculated in

Table 1. Biomass matter (kg) and the corresponding carbon content/sink (kg) in sampled trees selected of various species growing in Industrial Plantation Forest situated in South Sumatera, Indonesia.

Species	Tree No	Age (years)	Height (m)	Diameter (cm)	Biomass matter (kg)		Total Biomass matter (kg)	C (carbon) content (∞ C-sink/absorption) (kg)		Total C content/sink (kg)
					Above-ground	Below-ground		Above ground	Below ground	
Mahoni (<i>Swietenia macrophylla</i>)	1	20	15.5	19.3	150.4	32.87	183.27	75.20	16.44	91.64
	2	20	21.2	25.7	329.35	71.98	401.33	164.68	35.99	200.67
	3	20	12.40	11.7	35.72	7.81	43.53	17.86	39.05	21.77
	4	20	22.7	37.4	771.75	168.67	940.42	385.88	84.34	470.21
	5	20	19.5	17.6	212.17	46.37	285.54	106.09	23.19	142.77
Average			18.24	22.34	299.88	65.54	365.42	149.94	32.77	182.71
Percentage (%)					82.06	17.94				
Mangium (<i>Acacia mangium</i>)	1	8	22.0	18.7	174.69	16.51	191.20	87.345	8.26	95.60
	2	8	22.4	20.1	150.81	14.25	165.06	75.405	7.13	82.53
	3	8	19.9	10.6	47.54	4.49	52.03	23.77	2.25	26.02
	4	8	23.8	23.4	283.86	26.82	310.68	141.93	13.41	155.34
Average			22.03	18.2	164.23	15.52	179.74	82.12	7.76	89.87
Percentage (%)					91.37	8.63				
Sungkai (<i>Peronema canescens</i>)	1	10	12.3	16.9	108.11	18.19	126.30	54.06	9.10	63.15
	2	10	10.9	13.5	58.24	11.77	70.01	29.12	5.89	35.01
	3	10	11.5	14.1	67.05	11.26	78.31	33.53	5.63	39.16
	4	10	10.1	8.7	23.59	3.96	27.55	11.78	1.98	13.78
Average			11.2	13.3	64.25	11.30	75.55	32.17	5.65	37.78
Percentage (%)					85.04	14.96				

Table 2. Biomass matter in the tree components (i.e. trunk, bark, bough, twigs, dead branch, flowers leaves and roots) of particular tree species growing in Industrial Plantation Forest, situated in South Sumatera, Indonesia

Species/ Age	Tree No	Height (m)	Diameter (cm)	Biomass matters (kg) in the components of the tree:								
				Trunk	Bark	Bough	Twigs	Dead branch	Flowers	Leaves	Root	Top Root ratio
<i>Swietenia macrophylla</i> (20 years)	1	15.5	19.3	94.68	10.79	31.37	4.12	-	-	9.44	32.87	
	2	21.2	25.7	211.87	34.70	66.14	4.08	-	-	12.56	71.98	
	3	12.40	11.7	28.10	3.87	0.64	0.82	-	-	2.29	7.81	
	4	22.7	37.4	449.48	61.88	229.32	4.44	-	-	26.63	168.67	
	5	19.5	17.6	119.42	16.44	71.295	1.43	-	-	3.58	46.37	
Average		18.24	22.34	180.71	25.54	79.75	2.98	-	-	10.9	65.54	4.58
Percentage (%)				49.46	6.99	21.82	0.81			2.98	17.94	
<i>Acacia mangium</i> (8 years)	1	22.0	18.7	113.04	17.89	26.14	-	11.10	-	6.52	16.51	
	2	22.4	20.1	103.08	16.31	21.43	-	4.71	-	5.28	14.25	
	3	19.9	10.6	34.14	5.40	3.26	-	4.00	-	0.74	4.49	
	4	23.8	23.4	171.37	27.12	44.21	13.61	23.16	0.60	3.79	26.82	
	Average		22.03	18.2	105.41	16.68	23.76	8.3	10.74	0.15	4.08	15.52
Percentage (%)				58.64	9.28	13.22	1.89	5.98	0.08	2.27	8.64	
<i>Peronema canescens</i> (10 years)	1	12.3	16.9	57.12	11.7	28.14	2.19	-	-	8.96	18.19	
	2	10.9	13.5	30.46	5.91	15.37	1.86	-	-	4.64	11.77	
	3	11.5	14.1	35.71	6.98	21.82	-	-	-	2.54	11.26	
	4	10.1	8.7	11.83	2.31	7.21	-	-	-	2.24	3.96	
	Average		11.2	13.3	33.78	6.73	18.14	2.03			4.6	11.30
Percentage (%)				44.71	8.9	24.01	1.34			6.09	14.95	

accordance with the usual planting distance, so that the stand density is about 1,111 trees per hectare.

Biomass and carbon content per hectare with respect to the particular species each growing in plantation forest area are shown in Table 3. The average total biomass per hectare for 20-year old mahoni plantation is about 405.9816 ton. Based on that figure, the total capacity of mahoni plantation to absorb carbon was around 202.9908 ton/ha in average. Mahoni in total was the highest in the formation of biomass and in the sequestration (sink) of carbon-element compared to 8-year old mangium, where all species evaluated at the same density of tree stands (i.e. 1,111 stands per ha). The explanation is that the corresponding figure for mangium species was only 199.6911 tons for the total biomass or 99.8456 tons for total carbon absorption/sink, as expressed as total carbon content. Meanwhile, total biomass of 10-year old sungkai was about 83.9360 ton/ha or the average total carbon content was only 41.9680 ton/ha. If we assumed that the rate of increment for each species is equal annually, the mean annual rate of carbon absorption/sink in mahoni (10.1495 ton/ha/year) was lower than that in mangium which averaged about 12.4807 ton/ha/year. Further, the mean annual rate of carbon absorption in 10-year old sungkai (4.1968 ton/ha/year) was lower than those of both mahoni and mangium (i.e. 10.1495 ton/ha/year and 12.4807 ton/ha/year, respectively).

D. Biomass and carbon sink in ground-cover (grassland)

The biomass of ground-cover under tree plantation was also measured for estimating the capacity level of carbon sequestration (absorption), and the related data are presented in Table 4. Ground-cover vegetation consisted of shrubs and grasses, while in baseline area it consisted of not only shrubs and grasses, but also 1-year old regenerated mangium. It was found out that the highest biomass formation and carbon absorption occurred in regenerated mangium/baseline, in biomass was 4.4580 ton/ha and its carbon sink/absorption was about 2.2290 ton/ha.

The second highest (after regenerated mangium/baseline) was that of ground-cover under sungkai (3.9029 ton/ha) with the carbon absorption/sink at 1.9515 ton/ha. The biomass formations of ground-cover under mahoni and mangium plantation were 1.6520 ton/ha and 1.0881 ton/ha, respectively. Correspondingly, the average capacities of ground-cover under mahoni plantation to absorb/sink carbon was 0.8271 ton/ha (expressed as carbon content), followed in decreasing order by ground-cover under mangium plantation with capacity of carbon sink/absorption at 0.5441 ton/ha.

DISCUSSIONS

The results of this current study indicate that the average total of biomass accumulation/formation and carbon sink/absorption of 20-year old mahoni (*Swietenia macrophylla*) were higher than those of 8-year old mangium (*Acacia mangium*) and 10-year old sungkai (*Peronema canescens*). However, the mean annual rate of biomass accumulation as well as carbon sink/absorption (as described by the carbon content in the corresponding biomass) performed by mangium was higher than those of mahoni and sungkai (Table 3). Considered as fast-growing species, the mangium tree seemed able to

Table 3. Biomass matter (ton ha⁻¹) and the corresponding carbon content/sink (ton ha⁻¹) in particular tree species growing in Industrial Plantation Forest, situated in South Sumatera, Indonesia.

Species	Age (years)	Density of tree stands (N ha ⁻¹)	Biomass matter (ton ha ⁻¹)		Total Biomass matter (ton ha ⁻¹)	C content/sink (ton ha ⁻¹)		Total C content/sink (ton ha ⁻¹)	Total C content/sink (ton ha ⁻¹ year ⁻¹)
			Above ground	Below ground		Above ground	Below ground		
<i>Swietenia macrophylla</i>	20	1,111	333.1667	2.8149	405.9816	166.583	36.4075	202.9908	10.1495
<i>Acacia mangium</i>	8	1,111	182.4595	17.2427	199.6911	91.2298	8.6214	99.8456	12.4807
<i>Peronema canescens</i>	10	1,111	71.3817	12.5543	83.9360	35.6909	6.2772	41.9680	4.1968

Remarks: N = number of trees

Table 4 . Biomass matter (ton ha⁻¹) and the corresponding carbon content (ton ha⁻¹) in ground-cover under *S. macrophylla*, *A. mangium* and *P. canescens* stands and in other vegetation growing in Industrial Plantation Forest, situated in South Sumatera, Indonesia

Species/particular vegetation	Sample No.	Biomass matter (ton ha ⁻¹)	C content/sink (ton ha ⁻¹)
<i>Swietenia macrophylla</i>	1	1.2651	0.6326
	2	2.0430	1.0215
Average		1.6520	0.8271
<i>Acacia mangium</i>	1	1.0881	0.5441
Average		1.0881	0.5441
<i>Peronema canescens</i>	1	3.5878	1.7939
	2	4.2181	2.1091
Average		3.9029	1.9515
Base line (1 year old <i>Acacia mangium</i> at second rotation)	1	5.8042	2.9021
	2	3.1118	1.5559
Average		4.4580	2.2290

Table 5. Biomass matter (ton ha⁻¹) and the corresponding carbon content (ton ha⁻¹) in the tree component (i.e. trunk, bark, bough, twigs, dead branch, flowers leaves and roots) of various tropical tree species growing in Industrial; Plantation Forest, situated in South Sumatera, Indonesia

Tree components	Tree species					
	<i>Swietenia macrophylla</i>		<i>Acacia mangium</i>		<i>Peronema canescens</i>	
	Biomass matter (ton ha ⁻¹)	C content/sink (ton ha ⁻¹)	Biomass matter (ton ha ⁻¹)	C content/sink (ton ha ⁻¹)	Biomass matter (ton ha ⁻¹)	C content/sink (ton ha ⁻¹)
Trunk	200.7689	100.3844	117.1104	58.5552	37.7530	18.8765
Bark	28.3750	14.1875	18.5134	9.2657	7.4770	3.7385
Bough	88.6062	44.3031	26.3974	13.1987	20.1536	10.0768
Twigs	3.3108	1.6554	9.2214	4.6107	2.2554	1.1277
Dead branch	-	-	11.9322	5.9661	-	-
Flowers	-	-	0.6666	0.3333	-	-
Leaves	12.1098	6.0549	5.3328	2.6664	5.1106	2.5553
Root	7.2815	36.4075	17.2428	8.6214	12.5544	6.2772

perform the photosynthesis process more actively and intensively than did the slow-growing species, like mahoni. In consequence, mangium absorb carbon (i.e. as CO₂ from the air/atmosphere) faster than did mahoni.

Although sungkai is also regarded as fast growing species, its biomass formation and carbon content, in total, were lower compared to those of both mangium and mahoni. The possible explanation is that sungkai is one of the species which can undergo falling-leaves in certain environmental condition especially in dry season. These experimental data were collected on a dry season period, during which sungkai trees must have undergone some considerable falling-leaves. Therefore, this situation more or less would affect the photosynthesis in the sungkai trees and consequently the biomass accumulation/formation as well as carbon absorption/sink.

The average biomass formation/accumulation and carbon content/sink of cover-ground varied among different species growing in their plantation forest site. Saldarriaga *et al* (1988) assumed that differences in such formation and sink reflected the variability in the ground-cover site which could be related to the variability in soils, species composition, and environment condition (e.g. micro relief, disturbances, etc).

Rosalina (2000), reported that biomass accumulation performed by grassland in Jambi Province varied between 4.41 to 7.57 ton /ha, or being with the corresponding carbon stock at about 2.21 to 3.79 ton/ha. The study conducted by Hairiah and Sitompul (2000) pointed out that *Imperata* sp. could have a maximum C stock at about 1.9 ton/ha. These figures about biomass accumulation (carbon absorption/sink) were higher than the corresponding ones for the ground-cover under mahoni and mangium but almost similar to the ones for the ground-cover under sungkai and regenerated mangium plantation/baseline in South Sumatera (Table 4).

The objective of forest plantation in Indonesia is to support the raw material of the industries (pulp & paper and plywood), wood for construction and fire wood. The Government has recommended around 40 species for forest plantation. Since this activities still for three species therefore more intensive research in the future are still needed in order to get the complete information on the capacity of each forest plantation species to absorb carbon dioxide. This information is very important as the base line of the capacity of forest plantation to absorb carbon dioxide in Indonesia.

IV. CONCLUSSIONS

The result of this study pointed out that mahoni (*Swietenia macrophylla*), mangium (*Acacia mangium*) and sungkai (*Peronema canescens*) could have a significant effect, with regard to their capability/potentiality of absorbing carbon from the air, on the consequent formation/accumulation of their biomass matter. With regard to the dry matters contained in such biomass body (e.g. mangium, sungkai, and mahoni), the 20-year old mahoni could develop as much as 202.9908 ton/ha of such dry matters, indicating of 10.1495 ton C absorption (sink) /ha/year. Meanwhile, the 8-year old mangium and the 10-year old of sungkai consecutively could absorb/sink 99.8456 ton carbon/ha (12.480 ton/ha/year) and 41.9680 ton carbon/ha (4.1968 ton/ha/year).

The ground-cover under particular species growing in their plantation site capable or involved in the carbon absorption/sink was about 0.8271 ton C/ha, 0.5441 ton C/ha, and 1.9515 ton C/ha for the ones consecutively under mahoni cover, under mangium cover, and under sungkai cover. Meanwhile, for the regenerated mangium (1-year old), the capability of carbon absorption/sink was about 2.2290 ton/ha.

Since the species of forest plantation has decided around 40 species, more intensive research in the future are still needed in order to get more complete information on the capacity of each forest plantatiuon species to absorb carbon dioxide as the base line data.

REFERENCES

- Anonymous. 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. A special Report of IPCC. Cambridge University Press. 377pp
- Anonym. 2001. Feasibility Study on a Participatory Re-forestation Project in Lombok Island for Reinforcement of the Sink carbon Dioxid. Executive Summary. Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center (JIFPRO). Unpublish.
- Hairiah, K. and S.M. Sitompul. 2000. Assesment and simulation of above ground and below ground C. stock and dynamics. APN Science Policy Workshop on terrestrial Carbon Assesment for Possible Traiding Under CDM Project. Bogor 28 - 29 February 2000.
- Morikawa,Y. 2001. Mannual of Biomass Measurement in Plantation and in Regenerated Vegetation. JIFPRO and JOPP, Tokyo, Japan.
- Rosalina, U.W. 2000. Assesment of above ground C stock using Remote Sensing and GIS. APN Science Policy Workshop on terrestrial Carbon Assesment for Possible Traiding Under CDM Project. Bogor 28 - 29 February 2000.
- Saldarriaga, J.G.. Darrell C West, M.L Thrap and C. Uhl. 1988. Long Term Chronosequence of Forest Succession in Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. Journal of Ecology. 1988.76.398 – 958.

(資料-2)

ANNEX

CDMの様式及び手続き

A.定義

林野庁仮訳

1. この ANNEX の目的を達するため、議定書第 1 条と第 14 条の定義を準用する。さらに、
 - (a) 「排出削減単位(ERU)」とは、議定書第 6 条及びその要件に従って発行される単位であり、第 5 条に従って、決議 2/CP.3 に定義されまたはその後見直された、地球温暖化係数を使用し算出された二酸化炭素 1 トンと同等である。
 - (b) 「認証された排出削減(CER)」とは、議定書第 12 条及びその要件に従って発行される単位であり、第 5 条に従って、決議 2/CP.3 に定義されまたはその後見直された、地球温暖化係数を使用し算出された二酸化炭素 1 トンと同等である。
 - (c) 「割当量単位(AAU)」とは、決議-/CMP.1(割当量計上の様式)の登録関連規定に従って発行される単位であり、第 5 条に従って、決議 2/CP.3 に定義されまたはその後見直された、地球温暖化係数を使用し算出された二酸化炭素 1 トンと同等である。
 - (d) 「除去単位(RMU)」とは、決議-/CMP.1(割当量計上の様式)の登録関連規定に従って発行される単位であり、第 5 条に従って、決議 2/CP.3 に定義されまたはその後見直された、地球温暖化係数を使用し算出された二酸化炭素 1 トンと同等である。
 - (e) 「利害関係者(Stakeholder)」とは、個人、グループ、地域を含んだ公衆で、プロジェクト活動によって影響を被り得る者である。

G. 適格性の確認(validation)と登録(registration)

35. 「適格性の確認」とは、決議-/CP.6(Article 12)及びこの Annex に定められた CDM の要件に対して、下記の Appendix B に概要を示したプロジェクトデザイン文書を基準に行われる、指定 OE によるプロジェクト活動の独立した評価過程のことである。
36. 「登録」とは、CDM プロジェクト活動として適格性を確認されたプロジェクトを理事会が公式に承認することである。登録は、検証、認証及び当該プロジェクトの CER 発行のための必要条件である。
37. プロジェクト活動の適格性の確認のために、プロジェクト参加者に選定された指定 OE は、契約に基づいて、以下の要件が満たされていたことを確認するために、プロジェクトデザイン文書及び補完文書をレビューするものとする。

- (a) パラ 28 及び 30 に述べる参加要件が満足されていること。
- (b) 地域の利害関係者の意見が要請され、意見の概要が示され、意見に対する正当な説明がなされたとの指定 OE への報告書が受け付けられていること。
- (c) プロジェクト参加者が、境界への影響を含むプロジェクト活動の環境影響評価の分析についての文書を指定 OE に提出していること。また、それらの影響がプロジェクト参加者又はホスト国により相当なものと考えられるならば、ホスト国により求められる手続きに従い環境影響評価を行っていること
- (d) プロジェクト活動が、温室効果ガスの発生源による人為的な排出の削減に帰結することが期待され、これが、パラグラフ 43 及び 52 に従い、提案プロジェクトがない場合に比して追加的であること。
- (e) ベースラインの方法論とモニタリング計画が、下記の要件に適合すること。(i)過去に理事会で採択された方法論、又は、(ii)パラ 38 に述べられる新たな方法論を確立するための方法と手続き
- (f) モニタリング、検証及び報告についての規定は、決議-/CP.7(Article 12)及びこの Annex に従うこと。
- (g) プロジェクト活動が、決議-/CP.7(Article 12)及びこの Annex に示される CDM プロジェクト活動のための全てのその他要件、並びに COP/MOP 及び理事会の関連決議に従うこと。

38.指定 OE が、プロジェクト活動に、パラグラフ 37(e)(ii)に言及される新たなベースライン又はモニタリングの方法論を使用しようとする場合、プロジェクト活動登録の提出に先立って、プロジェクトの記述とプロジェクト参加者の確認を含むプロジェクトデザイン文書案とともに、検討のために提案された方法論を理事会に提出するものとする。理事会は、迅速に、可能ならば次の会合で4ヶ月以内に、この Annex の様式と手続きに従い、提案された新たな方法論をレビューするものとする。一度理事会により承認されたならば、理事会は承認した方法論を関連するガイダンスに従い公にするものとし、指定 OE はプロジェクト活動の適格性の確認を進め、登録のためにプロジェクトデザイン文書を提出することができる。理事会がこのような方法論を承認したときは、関連するガイダンスとともに公にするものとする。COP/MOP が承認された方法論の改訂を要請する場合には、CDM プロジェクト活動にはこの方法論を使ってはならない。プロジェクト参加者は、適切な場合は、受理したガイダンスを考慮に入れ、方法論を改訂するものとする。

39.方法論の見直しは、パラ 38 に述べられる新たな方法論を設立するための仕組みと手続きに従って行われるものとする。既に承認された方法論の見直しは、見直し後に登録されたプロジェクト活動のみに適用されるものであり、既存の登録プロジェクトについては、そのクレジット発生期間中、影響を与えないものとする。

40.指定 OE は、

- (a) 理事会への適格性確認の報告書の提出に先立って、プロジェクト参加者から、プロジェクト活動が持続可能な開発を支援しているというホスト国の確認を含む、関係国の指定された国の責任者から自発的な参加であることの書面による承認を受け取っているものとする。
 - (b) パラグラフ 27(h)に含まれる機密規定に従って、プロジェクトデザイン文書を公にするものとする。
 - (c) 締約国、利害関係者、及び UNFCCC が認定した NGO からの適格性の確認要件にかかる意見を 30 日以内に受け、公にするものとする。
 - (d) 意見の締め切り後、提供された情報と寄せられた意見を考慮に入れ、プロジェクト活動が適格であるかどうかについて決定を行うものとする。
 - (e) プロジェクト参加者にプロジェクトの決定についての情報を伝えるものとする。プロジェクト参加者への通知は次のものを含む。(i)適格性の確認及び理事会への適格性報告書提出日 (ii)プロジェクトデザインが、適格性の要件を満たさないと決定する時には、不受理の理由の説明
 - (f) 提案されたプロジェクト活動が適格であると決定する場合、適格性を確認したプロジェクトデザイン文書、サブパラ 40(a)に言及するホスト国の書面による承認、及び受け取ったコメントを正当に説明したかの説明を含む、適格性確認報告書の形での登録要請を理事会に提出するものとする。
 - (g) 適格性確認報告書を理事会に伝達し、公にするものとする。
- 41.理事会の登録は、プロジェクト活動に参加している締約国又は少なくとも理事のうち3名が、提案された CDM プロジェクト活動について見直しを要求した場合を除いて、登録要請を理事会が受理した日から 8 週間後に成立するものとする。理事会の見直しは、次の規定により行われる。
- (a) 適格性確認要件と関連する事項が叙述されているものとする。
 - (b) 遅くとも見直し要求後の翌々会合までに、プロジェクト参加者及び公衆との意志疎通した決定とその理由を添えて、結論が出されているものとする。
- 42.提案されたプロジェクト活動で承認されなかったものは、適切な見直しが行われ、この見直しが、手続きに従ったものであり、公のコメントを含む適格性の確認と登録の要件を満たしているならば、適格性の確認と登録が再考されうる。
- 43.当該 CDM プロジェクト活動がない場合に比較して、発生源による温室効果ガスの人為的な排出が削減される場合には、CDM プロジェクト活動は追加的(additional)である。
- 44.CDM プロジェクト活動の「ベースライン」は、提案されたプロジェクト活動がなかった場合、温室効果ガスの発生源からの人為的な排出を適切に表すシナリオである。ベースラインは、プロジェクト境界内における、付属書 A に掲げられる全てのガス、セクター及び発生源カテゴリーからの排出を含むものとする。ベースラインは、パラグラフ 37 と 38 に述べられたベースラインの方法論を使用して求められる場合、提案されたプロ

プロジェクト活動がなかった場合に、発生源からの人為的排出を適切に説明しているものと考えられるものである。

45. ベースラインは下記により確立されるものとする。

- (a) プロジェクト参加者により、決議-/CP.7(Article 12)とこの Annex に含まれる、承認されたもしくは新たな方法論の使用規定に従って、
- (b) アプローチ、仮定、方法論、パラメータ、データソース、キーファクター、追加性、及び不確実性への考慮、の選択について透明性を確保しつつ、
- (c) 各プロジェクトごと (**project-specific base**) に、
- (d) 決議-/CP.7(Article 12) 及び COP/MOP の関連決議により特定された基準に合う小規模 CDM プロジェクト活動においては、当該活動のために作成された簡素化された手続きにより、
- (e) 関連する国の及び/又はセクターの政策と状況、例えばセクター改変イニシアティブ、地方の燃料調達可能性、電力セクター拡張計画やプロジェクトセクターの経済状況など、を考慮に入れつつ、

46. ベースラインは、ホスト国の特別な状況により、発生源からの排出が、将来、現時点より増加するというシナリオを含んでもよい。

47. ベースラインは、プロジェクト活動の外側で又は強圧的(**force majeure**)な活動レベルへの削減によっては、**CER** は獲得できないと、定義されるものとする。

48. プロジェクト活動のためにベースラインの方法論を選択する際、プロジェクト参加者は理事会のガイダンスを考慮に入れ、下記のアプローチのうちプロジェクト活動に最も適切と思えるものを選択して、その選択の適切さの正当性を述べるものとする。

- (a) 摘要可能な現行の排出又は歴史的な排出、ないしは
- (b) 投資への障害を考慮に入れ、経済的に魅力ある手法を代表する技術による排出、
- (c) 最近5年以内に、同様の社会的、経済的、環境的、技術的な状況下で実施された同様なプロジェクトで、その実績が同カテゴリーの上位 **20%**に入る、平均的排出率又は除去率。

49. プロジェクト参加者は次の代替方法の一つから提案されたプロジェクト活動のための「クレジット発生期間」を選ぶものとする。

- (a) 最大7年とする。ただし、指定 **OE** が最初のプロジェクトのベースラインがまだ有効である、または、摘要可能な新しいデータを考慮に入れていると決定し、このことを理事会に報告すれば、最大2回更新できる。
- (b) 最大 **10** 年。この場合更新のオプションはない。

50. 発生源による人為的な排出の削減は、パラグラフ **59** 及び **62(e)** のモニタリングと検証の規定に従って、リーケッジが補正される。

51. 「リーケッジ」は、プロジェクト境界の外側で発生する、温室効果ガスの発生源による排出のネットの変化と定義され、測定可能で **CDM** プロジェクト活動に原因が帰するこ

とができるものである。

52. 「プロジェクト境界」は、**CDM** プロジェクト活動にかなりそしてある程度原因を帰せられる、プロジェクト参加者の力の及ぶ範囲にあって、温室効果ガスの全ての、発生源による人為的な排出を包含するものとする。

H. モニタリング

53. プロジェクト参加者は、プロジェクトデザイン文書の一部として下記のモニタリング計画を含めるものとする。

- (a) クレジット発生期間中、プロジェクト境界内において、温室効果ガスの発生源からの人為的な排出を推定ないし測定するために必要な全ての関連データの収集と保管。
- (b) クレジット発生期間中、プロジェクト境界内において、温室効果ガスの発生源からの人為的な排出のベースラインを決定するために必要な全ての関連データの収集と保管。
- (c) クレジット発生期間中、プロジェクト活動にかなりそして正当に原因を帰せられるプロジェクト境界外の、温室効果ガスの発生源からの人為的な排出の増大との、すべての可能な源泉の同定、及びデータの収集と保管。
- (d) パラ 37(c)の規定に関連する情報の収集と保管。
- (e) モニタリングプロセスのための質的保証とコントロール手続き。
- (f) 提案された **CDM** プロジェクトによる、発生源からの人為的な排出の削減の、定期的な計算及びリーケッジ効果の手続き。
- (g) 上記パラ 53(c)と(f)に言及するすべての計算過程を示した文書。

54. 提案されたプロジェクト活動についてのモニタリング計画は、パラ 37 と 38 に従って過去に採択されたモニタリングの方法論、または新たな方法論であり、下記に示すもの。

- (a) 指定 **OE** が、提案されたプロジェクト活動の状況に対しては適当であると決定され、また、別の場所で上手く適用されてきたもの。
- (b) 良いモニタリング事例(**good monitoring practice**)を反映している。

55. 決議-/CP.7(Article 12)及びCOP/MOPの関連決議で特定された基準に合う小規模**CDM**活動については、プロジェクト参加者は、小規模プロジェクトのための簡便化された様式及び手続きを使うことができる。

56. プロジェクト参加者は、登録されたプロジェクトデザイン文書にあるモニタリング計画を実行するものとする。

57. 情報の正確さ及び/又は完璧さを改善するためのモニタリング計画の見直しは、プロジェクト参加者により正当化の説明がなされ、指定 **OE** により適格性確認の見直しが提出されるものとする。

58. 登録されたモニタリング計画及びその見直し計画の実施は、検証、認証及び**CER**発行

の前提条件となるものとする。

59. モニタリング、及び、発生源からの人為的な排出の削減の報告に続き、所与の期間の CDM プロジェクト活動の CER は、登録された手法によって、ベースラインの排出から、発生源による人為的な排出を差し引き、リーケッジの補正をすることにより、計算される。
60. プロジェクト参加者は、検証の実施を当該プロジェクト参加者と契約した指定 OE に対して、検証及び認証のために、パラグラフ 53 に述べる登録されたモニタリング計画に基づいたモニタリング報告を提供するものとする。

I. 検証(verification)及び認証(certification)

61. 「検証」とは、検証期間における、登録された CDM プロジェクト活動の結果として起こる、温室効果ガスの発生源からの人為的排出によるモニターされた削減についての、指定 OE による、定期的な個々のレビューと事後の決定である。「認証」とは、ある特定期間に、プロジェクト活動が達成した、検証された温室効果ガスの発生源からの人為的排出による削減についての、指定 OE が行う書面による保証である。
62. パラグラフ 27(h)の守秘規定に従い、検証の実施をプロジェクト参加者と契約した指定 OE は、モニタリング報告を公に入手可能なものとするとともに、
- (a) 提供されたプロジェクト文書が登録されたプロジェクトデザイン文書の要件並びに決議-/CP.7(Article 12)及びこの Annex の関連規定に沿っているか決定するものとする。
 - (b) 必要に応じて現地調査を行うものとする。適切な場合にはとりわけ、成果記録の見直し、プロジェクト参加者と地域の利害関係者へのインタビュー、測定値の収集、確立された実践経験の視察とモニタリング器具の正確性の検査も含みうる。
 - (c) 適当な場合、他のソースからの追加データを用いるものとする。
 - (d) モニタリング結果のレビューとともに、発生源からの人為的な排出の削減についての推定が正しく適用され、その文書が完璧で透明性が確保されていることを検証するものとする。
 - (e) 必要ならば、プロジェクト参加者に対して、将来のクレジット期間のためのモニタリングの方法論への適切な変更を提案するものとする。
 - (f) パラ 62(a)から導かれ、パラ 62(b)及び/又は(c)から得られるデータと情報に基づいて、適当であれば、登録されたプロジェクトデザイン文書とモニタリング計画に含まれているものと符合する計算手続きを用い、CDM プロジェクト活動がなければ起こり得なかったであろう、温室効果ガスの発生源からの人為的な排出の削減について、決定するものとする。
 - (g) 実際のプロジェクト活動とその運営を、プロジェクトデザイン文書に一致させること

により生ずる懸念を明らかにして、プロジェクト参加者に伝えるものとする。プロジェクト参加者は、懸念を述べて、関連する追加情報を提供することができる。

- (h) プロジェクト参加者、参加国及び理事会に、検証報告を提出するものとする。この報告は公にするものとする。
63. 指定 **OE** は、検証報告に基づき、特定期間中に **CDM** プロジェクト活動がなければ起こり得なかったであろう、温室効果ガスの発生源からの人為的排出の削減について、検証された量を達成したことを書面で認証するものとする。指定 **OE** は、認証プロセス終了後速やかに、プロジェクト参加者、関係締約国及び理事会に、書面で認証決定を通知するものとし、この認証報告書は公にするものとする。

J. 認証された排出削減(**CER**)の発行

64. 認証報告書は、温室効果ガスの発生源からの人為的排出の削減について、検証された量と同等の **CER** の発行を、理事会に対して要求するための法的根拠をなすものとする。
65. 発行は、プロジェクト活動の参加国又は少なくとも理事の3名が、提案された **CDM** プロジェクト活動の見直しを要請した場合を除いて、発行要求を受理した日から **15** 日後に成立する。この見直しは、不正、背任行為、又は指定 **OE** の不適格性のみに限定されるものとし、下記の手順で行われる。
- (a) 見直しの要請があった場合、理事会は、次の会合において、取るべき行動を決定するものとする。その要請にメリットがあると決定された場合、見直しを行い、提案されている **CER** 発行の承認の適否を決定するものとする。
- (b) 理事会は、見直しを実施することの決定後 **30** 日以内に再検討を完了するものとする。
- (c) 理事会は、プロジェクト参加者に対して見直しの結果を通知し、提案されている **CER** 発行の承認についての決定とその理由を公にするものとする。
66. 理事会から、**CDM** プロジェクト活動に対して **CER** を発行するよう指示を受けた、理事会の権威のもとに勤務する **CDM** 登録簿管理者は、下記の **Appendix D** に従って、**CDM** 登録簿の「理事会の未決勘定(**pending account**)」に対して、速やかに、指定された量の **CER** を発行する。この発行にあたって、**CDM** 登録簿管理者は
- (a) 議定書第 **12** 条 8 項に基づき、管理費をカバーし、(気候変動の悪影響への)適応に必要な費用を支援するための収益の一部(**share of proceeds**)に応じた量の **CER** を、収益の一部を管理するための **CDM** 登録簿の適切な勘定に入れるものとする。
- (b) 残りの **CER** を、要請に従い、関係する締約国とプロジェクト参加者の登録アカウントに入れるものとする。

APPENDIX B

プロジェクトデザイン文書

1. この **Appendix** の規定は、**CDM** の様式と手続にかかる **Annex** に従い、解釈されるものとする。
2. この **Appendix** の目的は、プロジェクトデザイン文書に要求される情報の概要を述べることである。プロジェクト活動は、**CDM** の様式と手続に関する **Annex** の規定、とりわけ、適格性の確認及び登録にかかるセクション **G**、並びに、モニタリングにかかるセクション **H** を考慮に入れ詳細に記述されるものとする。プロジェクトデザイン文書には次のものが含まれるものとする。
 - (a) プロジェクトの目的の説明、技術移転を含むプロジェクトの技術的説明、プロジェクト境界の記述と事由説明
 - (b) **CDM** の様式と手続に関する **Annex** に従った提案されるベースラインの方法論
 - (i) 確立された方法論の適用
 - 承認された方法論が選択されたことの陳述
 - 承認された方法論が当該プロジェクトにどう適用されるのかの記述
 - (ii) 新たな方法論の適用
 - ベースラインの方法論の説明とその選択の事由説明（当該方法論の強味と弱味の評価を含む）
 - ベースライン予測に用いられたキーパラメータ、情報源及び仮定、並びに不確実性の評価の説明
 - ベースライン排出の予測
 - ベースラインの方法論が潜在的なリーケッジにどのように言及しているかの説明
 - (iii) その他の考察（例示：国の及び/又は分野別の政策及び環境が考慮されているかの記述、並びに、ベースラインが透明性のある控えめな方法で設定されたかの説明）
 - (c) プロジェクトの予測される実際的な寿命及びクレジット発生期間の選択についての陳述
 - (d) 登録された **CDM** プロジェクト活動がない場合に発生したであろう量以下に、いかに発生源による人為的な地球温暖化ガスが減少されたかについての説明
 - (e) 環境影響評価
 - (i) 境界への影響を含む環境影響評価の分析にかかる文書
 - (ii) もし影響がプロジェクト参加者又はホスト国により相当(**significant**)のものであるで

あると考えられる場合：ホスト国により求められる手続きに従って採られた環境影響評価の文書を支援するための結論と言及

(f) 附属書 I 国からのプロジェクト活動のための公的資金の出所についての情報。これは、公的資金が ODA の流用(**diversion**)につながらず、附属書 I 国の財政的義務にカウントされないことを確認するものとする。

(g) 利害関係者の意見：プロセスの記述、受け取ったコメントの概要、受け取ったコメントに対して取られた正当な説明の報告

(h) モニタリング計画

(i) 正確さ、比較性、完全さ及び適格性に関して、データの必要性和データの質の明確化

(ii) モニタリング、収集及び報告のための質の保証及びコントロールの規定を含む、データ収集とモニタリングに用いられる方法論

(iii) 新たなモニタリング計画の場合は、方法論の記述(当該方法論の強味と弱みの評価、及び他の場合にうまく適用されてきたかどうかの評価を含む)

(i) 計算

(i) プロジェクト境界内の CDM プロジェクト活動による発生源による人為的排出を計算し見積もるために使用される計算式の記述

(ii) 下記のように定義されるリーケッジを計算し予測するために使用される計算式の記述：CDM プロジェクト活動の境界外で発生するが、計測でき CDM プロジェクト活動に帰することができる、発生源による人為的排出のネットの変化

(iii) CDM 活動の排出を表す上記(i)と(ii)の合計

(iv) ベースラインによる発生源による人為的排出を計算し予測するために使用される計算式の記述

(v) ベースラインのリーケッジを計算し予測するために使用される計算式の記述

(vi) ベースラインの排出を表す上記(iv)と(v)の合計

(vii) CDM プロジェクト活動による排出削減を表す上記(vi)と(iii)の差

(j) 上記を支援する参考書類

APPENDIX C

ベースライン及びモニタリングの方法論についての

ガイドラインを設定するための付託事項(T/R)

理事会は、CDMの様式と手続に従い専門家を利用して、検討発展させCOP/MOPに提案するものとする。とりわけ：

(a) 下記のために、様式と手続に述べられる原理と一致したベースラインとモニタリングの方法論にかかる一般的ガイダンス：

(i) 決議-/CP.7(Article 12)及び上記Annexに含まれるベースラインとモニタリングの方法論に関する規定を詳細に詰める。

(ii) 一貫性、透明性と予測性を促進する。

(iii) 発生源による人為的な排出のネットの減少が、実質的で測定可能なものであること、並びにプロジェクト境界内で発生したことの正確な反映であることを保証するための厳格さを提供する。

(iv) 別の地理的地域において、また、決議-/CP.7(Article 12)及びCOP/MOPの関連する決議に沿って適格であるプロジェクトカテゴリーにおいても適用可能であることを保証する。

(v) 第12条5項及び上記Annexパラ43の追加的要件に言及する。

(b) 次の分野において特定のガイダンスを提供するものとする。

(i) ベースラインの設定、及び/又は、モニタリングに関して共通の方法論的特徴を示すプロジェクトカテゴリーの定義（例：セクター、サブセクター、プロジェクトタイプ、技術、地理的エリアに基づくもの）。これには、地理的統合性のレベルのガイダンスを含み、データの利用可能性を考慮に入れる。

(ii) プロジェクト活動がなかった場合、発生したであろうことを適切に表すと考えられるベースラインの方法論

(iii) プロジェクト活動の結果として、一貫性と費用対効果も考慮に入れつつ、発生源による人為的排出の実質的な削減の正確な測定を提供するモニタリングの方法論

(iv) 適当な場合は、関連する状況を考慮に入れ、最も適切な方法論が選択されることを保証するように選択肢を手引きする、意思決定の系統図およびその他の方法論的手段

(v) 可能で適切な場合には、プロジェクト活動がなかった場合に生じたであろう事象を適切に推計できる、方法論の適当なレベルでの標準化。標準化は、発生源による人為的排出の削減を過大推計することを防ぐために、保守的であるべきである。

(vi) ベースラインとモニタリングの一部として含まれるべき全ての温室効果ガスのアカウンティングを含むプロジェクト境界の決定。リーケッジの関連性と、適当なプロジェクト境界及びリーケッジレベルの事後評価手法の設定のための提案。

- (vii)適用可能な国家政策屋特別の国又は地域環境の説明（例示：分野改善イニシアティブ、地域燃料の利用可能性、電力分野展開計画、プロジェクト活動に関連する分野の経済状況）
 - (viii)ベースラインの活力（例示：当該分野において、ベースラインが使用された技術/燃料の違いを比較しうるか。）
- (c) 上記(a)(b)のガイダンスの展開において、理事会は下記を考慮に入れるものとする。
- (i)実施国または適当な地域で行われている事例と、確認された傾向
 - (ii)活動またはプロジェクトカテゴリーについて最も安価な技術



写真1
タイ、チーク 22年生
調査林分の林況



写真2
タイ、チーク 17年生
調査林分の林床植生調査



写真3
タイ、チーク林周辺の
ベースライン（2次林）



写真4
タイ、チーク22年生林の
測定調査（標本木伐倒）



写真5
タイ、チーク22年生林の
測定調査（樹幹の測寸）



写真6
タイ、チーク22年生林の
測定調査（樹幹の秤量）



写真7 チーク17年生林の
測定調査（葉の秤量）



写真8 チーク17年生林の
測定調査（根の掘上げ）



写真9 チーク17年生林の
測定調査（掘上げた根）



写真10
東カリマンタン、
スンカイ10年生
調査林分の林況



写真11
東カリマンタン、
ベースライン調査
(アランアラン草地)



写真12
東カリマンタン、
ベースライン植生調査(2次林)



写真13
中部ジャワ、チーク15年生
調査林分の林況



写真14
中部ジャワ、アルビシア(セゴン)
7年生 調査林分の林況



写真15
中部ジャワ、メルクシマツ
15年生 調査林分の林況



写真16
ロンボク島、タガヤサン
5年生 調査林分の林況



写真17
ロンボク島、成長促進試験
林分の林況



写真18
ロンボク島、施肥の実施状況



写真19
ロンボク島、根の堀上作業



写真20
ロンボク島、深根性の根張り



写真21
ロンボク島、ベースライン
植生（ランタナ低木林）