

### E-3 荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究

#### (2) プランテーションや荒廃草地などのナチュラルフォレストコリドー導入に関する立地管理方法の開発

##### ③ 多樹種を用いたランドスケープレベルにおけるプランニング

住友林業株式会社筑波研究所

松根健二・小松俊弘

<研究協力者> 住友林業株式会社筑波研究所

中村健太郎

平成14～16年度合計予算額 5, 803千円

(うち、平成16年度予算額 2, 303千円)

[要旨] 急激に荒廃する熱帯降雨林を再生し、且つ残存する天然林の保全することは、地球環境の維持、改善に貢献するものである。本研究では、焼畑や森林火災により草原化あるいは脆弱な疎林と化した熱帯降雨林跡地において、多樹種を用いた植栽試験を実施し、その初期成長を明らかにするとともに、このような場所における森林造成の可能性を検討することを目的とした。

平成15年度の研究において、インドネシア共和国東カリマンタン州のスプル実験林に植栽された在来種3種、外来種3種について、植栽後約5年のバイオマス量を推定した。在来樹種である *Shorea gratissima*、*Dryobalanops lanceolata* 及び *Peronema canescens* の林分の地上部バイオマス量はそれぞれ、 $1.09\text{tDw ha}^{-1}$ 、 $1.10\text{tDw ha}^{-1}$  及び  $7.44\text{tDw ha}^{-1}$  であった。外来樹種である *Shorea roxburghii*、*Tabebuia impetiginosa* 及び *Enterolobium cyclocarpum* の林分の地上部バイオマスはそれぞれ、 $9.06\text{tDw ha}^{-1}$ 、 $29.91\text{tDw ha}^{-1}$  及び  $186.19\text{tDw ha}^{-1}$  であった。これらの値をスプル実験林内の二次林やアラン・アラン草地バイオマス調査データと比較すると、*T. impetiginosa* と *E. cyclocarpum* を除き供試した樹種の5年間のバイオマス固定量は、実験林内の二次林より少なく、植栽間隔5m×4mの *D. lanceolata* 及び *S. gratissima* 林分における炭素固定量は、アラン・アラン草地に比べても低かった。一方、外来種である2x2mで植栽された *E. cyclocarpum* の林分は非常に大きなバイオマスを示した。平成16年度の研究では、これら6樹種を用いた植林シミュレーションを行い、その事業の可能性を検討した。また、*E. cyclocarpum* のように成長が早く、且つそのバイオマスを利用できる樹種という観点から、当該地域の在来樹種の中から、比較的成長の早いと思われる3種 (*Octomeles sumatrana*、*Dillenia excelsa*、*Anthocephalus chinensis*) についてその材質を調べ、合板加工試験を実施した。これら3種は合板心材への利用が可能であることを明らかにし、3種の中、インドネシアにおける林分成長データの入手できた *A. chinensis* を昨年度の研究に供試した6種に加えて植伐シミュレーションをした結果、植林事業の収益性は改善した。未利用樹種の探索とその造林技術の開発及び成長データの蓄積が当該地域において事業成立を促す鍵となりうることを示した。

[キーワード] リハビリテーション、荒廃熱帯林、プランニング、インドネシア共和国

#### 1. はじめに

1982-83年に発生した大規模な森林火災により、インドネシア共和国東カリマンタン州では約350万ヘクタールの森林が失われ、それ以降も焼畑耕作や盗伐により森林の荒廃は助長されてきた。当該地域に

はこうした森林火災等の攪乱の繰り返しにより、劣化の進んだ二次林が広がっている。これらの二次林は数種の限られた先駆樹種から構成され、かつての天然林に比べると種の多様性が著しく低下している。また林冠の高さは6-8m程度にしかならずバイオマスの現存量も小さいと思われる。このような劣化した二次林は広い範囲に分布するが、かつて天然林を構成した多種多様な樹木は一部に残存するのみで、天然下種更新などの植生回復には非常に長い時間を要すると思われる。また、このような劣化二次林は未だに拡大を続けており、天然林の保護の観点から何らかの対策が必要とされている。こうした現状に対し、これまでさまざまな努力が払われてきた<sup>1)、2)、3)、4)</sup>。その中でも、植生の回復を目的とした植林は一つの解決策であり、実現可能な技術として確立させることは当該地域における緊急の課題である。

## 2. 研究目的

本研究では、焼き畑や森林火災により荒廃した熱帯降雨林において多樹種を用いた植林事業の可能性を検討することを目的とする。具体的には、劣化した二次林において造林木の活着率や成長量を調査し、林分の成長量評価を行うとともに、得られたデータを基にしたシミュレーションを通じて事業の可能性等の評価を行う。

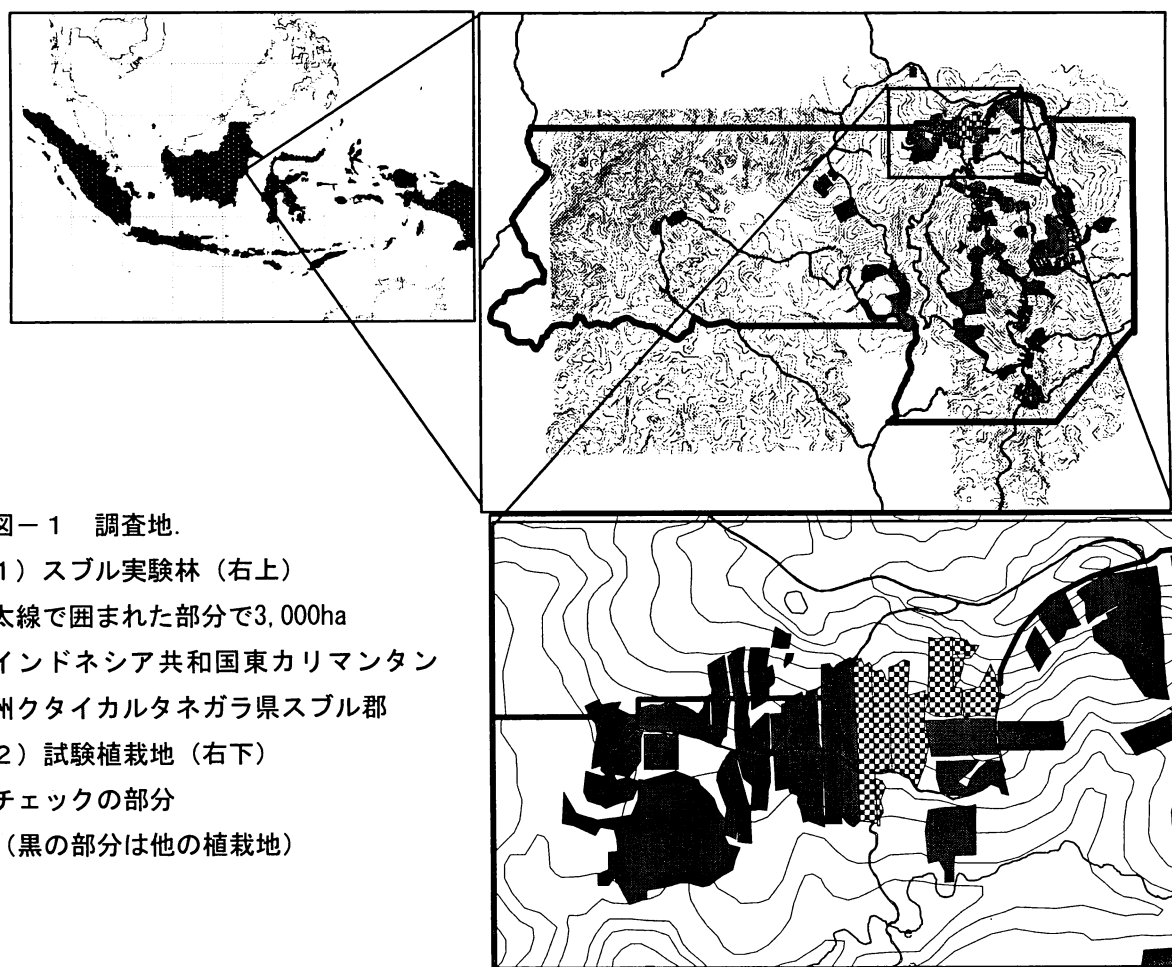


図-1 調査地.

1) スプル実験林 (右上)

太線で囲まれた部分で3,000ha

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プル郡

2) 試験植栽地 (右下)

チェックの部分

(黒の部分は他の植栽地)

### 3. 研究方法

#### (1) 調査地概要

調査は住友林業㈱が造成したスプル実験林にて実施した（南緯0° 16' 13"S、東経116° 59' 15"E、標高約130 m）。スプル実験林は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プル村に位置し（図-1）、フタバガキ科をはじめとする在来樹種及び外来種による造林技術の開発を目的として1991年に設立された実験林である。

スプル実験林における年間降雨量は1857.2mm、平均気温は31℃である（スプル実験林未発表データ、1993-96）。明確な乾季はないが、例年5~9月は比較的降雨量が少ない。地形は小規模の河川と谷によってきざまれた波状丘陵地であり、斜面における高低差は30mを超えない程度である。土壌は第3紀系の堆積岩からなるOrthic Acrisolsである<sup>5)</sup>。

1980年に実施された当地での森林バイオマス調査では872.5 t ha<sup>-1</sup>という記録があり<sup>6)</sup>、当該地域にはかつて発達した森林が分布していたことは疑いないが、ここ25年の間に当該地域の森林は択伐による森林開発（1975-82年）や約310万haの森林が消失した大規模森林火災（1982-83年）により繰り返し攪乱を受けてきた。その後、残存していた森林も移動焼畑耕作及び盗伐により疲弊し、現在では*Piper aduncum*、*Macaranga* spp.、*Mallotus* spp.、*Trema* spp.等の先駆樹種が優占する劣化した二次林が広く分布している<sup>7)</sup>。

#### (2) 調査林分の概要

本研究に用いた樹種は1997年にスプル実験林の北部に植栽された郷土樹種3種と外来種3種である。郷土樹種は*Shorea gratissima*、*Dryobalanops lanceolata*、*Peronema canescens*である。この3種による植栽地は社会林業試験として設置され、植栽後3年間、苗木の間にトウモロコシ、落花生、バナナなどが耕作された。外来種は*Enterolobium cyclocarpum*、*Tabebuia impetiginosa*および*Shorea roxburghii*である。調査林分の植栽樹種、植栽年、林齢、植栽間隔及び林分面積を表-1に示す。

表-1 調査林分の樹種、樹齢、植栽間隔、密度、胸高直径及び樹高の平均値、最大値及び最小値。

樹種*	Sr	Ti	Ec	Sg	Dl	Pc	
林齢 (年)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	
植栽間隔	2x2m	2x2m	2x2m	5x4m	5x4m	5x4m	
植栽密度 (本ha <sup>-1</sup> )	2500	2500	2500	500	500	500	
樹高 (m)	平均	3.5	4.2	Na	3.8	3.1	5.5
	最大 - 最小	7.5-0.2	8.8-0.2	Na	6.8-0.7	6.3-0.5	8.9-1.4
胸高直径 (cm)	平均	4.5	6.0	17.4	3.2	3.3	8.2
	最大 - 最小	10.9-0.3	28.1-0.8	44.2-2.7	7.5-0.5	10.5-0.2	16.3-1.4

\* 樹種の略号は次の通り。Sr: *Shorea roxburghii*; Ti: *Tabebuia impetiginosa*; Ec: *Enterolobium cyclocarpum*; Sg: *Shorea gratissima*; Dl: *Dryobalanops lanceolata*; Pc: *Peronema canescens*

(3) 5年間の成長量調査 (バイオマス調査)

バイオマスの調査方法はMorikawa (2000)<sup>8)</sup>の調査法によった。各林分において3~4本の供試木を伐倒し、器官毎(葉、幹、枝、根)の現存量を測定した。根については掘り取り調査を行ったが、その際土中に残った細根は微量であることから調査対象外とした。供試木の各器官の現存量を表-2a及び2bに示す。

以上が、平成15年度の報告内容である。

表-2a *Shorea roxburghii*、*Tabebuia impetiginosa*及び*Enterolobium cyclocarpum*の供試木の器官別バイオマス。

樹種 番号	<i>S. roxburghii</i>			<i>T. impetiginosa</i>			<i>E. cyclocarpum</i>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
齢(年)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
樹高(cm)	520.0	386.6	197.0	855.0	596.3	310.0	2049.0	1704.0	594.0
胸高直径(cm)	5.8	2.9	1.3	10.7	5.9	2.9	24.4	12.1	4.1
バイオマス(kg)									
幹	4.29	0.57	0.13	15.59	6.60	0.68	80.15	24.42	1.36
樹皮	1.22	0.30	0.08	3.90	1.37	0.35	9.83	3.53	0.17
枝	1.88	0.20	0.03	15.47	2.26	0.05	14.76	2.13	0.10
葉	1.35	0.42	0.11	3.49	0.83	0.34	2.83	0.73	0.11
小計(地上部)	8.74	1.50	0.35	38.45	11.05	1.41	107.57	30.80	1.74
根*	3.10	0.60	0.30	13.00	3.00	0.80	0.00	18.50	1.90
全体	11.84	2.10	0.65	51.45	14.05	2.21	107.57	49.30	3.64
材積(m <sup>2</sup> )									
皮付き	0.010	0.002	0.000	0.042	0.011	0.002	0.319	0.073	0.005
皮なし	0.008	0.001	0.000	0.031	0.007	0.002	0.276	0.063	0.004

表-2b *Shorea gratissima*、*Dryobalanops lanceolata*及び*Peronema canescens*の供試木の器官別バイオマス。

樹種 番号	<i>S. gratissima</i>			<i>D. lanceolata</i>			<i>P. canescense</i>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
齢(年)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
樹高(cm)	497.4	453.2	302.0	459.4	355.0	313.0	618.0	521.0	335.0
胸高直径(cm)	5.2	3.4	2.1	6.0	3.7	2.3	11.4	5.5	3.5
バイオマス(kg)									
幹	3.43	1.35	0.45	5.17	1.32	1.38	16.17	3.72	1.36
樹皮	0.58	0.21	0.11	0.65	0.26	0.09	3.83	1.78	1.40
枝	1.19	0.22	0.04	2.09	0.58	0.07	13.65	0.17	0.00
葉	1.26	0.57	0.10	0.08	0.30	0.06	7.63	0.30	0.26
地上部	6.47	2.34	0.71	7.98	2.45	1.59	41.27	5.96	3.01
根*	2.00	0.80	0.40	5.00	1.00	0.40	14.50	2.20	0.70
全体	8.47	3.14	1.11	12.98	3.45	1.99	55.77	8.16	3.71
材積(m <sup>3</sup> )									
皮付き	0.007	0.003	0.001	0.009	0.003	0.001	0.032	0.010	0.003
皮なし	0.006	0.003	0.001	0.008	0.002	0.001	0.026	0.008	0.002

表-3 試料丸太の長さ、元口/末口径、材積及び採取した個体の樹高及び胸高直径.

樹種	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	試料番号	丸太の 長さ(cm)	末口径 (cm)	元口径 (cm)	材積 (m <sup>3</sup> )
<i>Octomeles sumatrana</i>	51	31.2	1-1	520	50	52	0.8494
			1-2	510	40	48	0.6201
			1-3	520	39	40	0.5095
			1-4	520	31	34	0.3449
			1-5	520	24	30	0.2381
<i>Dillenia excelsa</i>	47	31.5	2-1	263	45	48	0.3571
			2-2	266	44	45	0.3308
			2-3	260	43	44	0.309
			2-4	259	42	43	0.2938
			2-5	260	37	39	0.2358
			2-6	266	37	38	0.2349
<i>Dillenia excelsa</i>	26	21.8	2-7	270	23	25	0.0977
			2-8	270	21	23	0.0821
<i>Anthocephalus chinensis</i>	41	26.6	3-1	270	41	42	0.292
			3-2	270	40	41	0.2781
			3-3	270	38	40	0.2579
			3-4	270	35	38	0.2259
			3-5	270	33	35	0.196
<i>Anthocephalus chinensis</i>	36	28.4	3-6	270	36	37	0.2259
			3-7	270	34	36	0.2077
			3-8	270	32	34	0.1847
			3-9	260	31	32	0.162
			3-10	270	29	31	0.1526
			3-11	270	26	29	0.1282
			3-12	270	24	26	0.106

#### (4) 新規樹種の導入

調査地であるスプル実験林内及びその周辺に分布する在来樹種の中から比較的成長が早いと思われるビヌワン (*Octomeles sumatrana*)、シンプール (*Dillenia excelsa*) 及びカランパヤシ (*Anthocephalus chinensis*) について、その合板利用への可能性に検討した。

試料の丸太はスプル実験林内外より収集したものである。丸太を採取した立木のデータを表-3に示す。供試した丸太は25本、6.9m<sup>3</sup>であった。材質は日本農林規格JAS(2000)に従って調査した。調査項目は、比重、硬度、ホルマリン含有率、乾燥合板収率である。丸太は合板加工し、各樹種からできた合板について接着の強度、曲げ性能、ホルムアルデヒド放散量等を測定した。

#### (5) 植伐シミュレーションによる植林事業の検討

本研究で成長データを取得した6種及び材質調査に供試した3種の中から、インドネシアにおける林分成長データを取得することのできた*A. chinensis*による植伐シミュレーションを行い、これら7種を用いた植林事業の可能性について検討した。

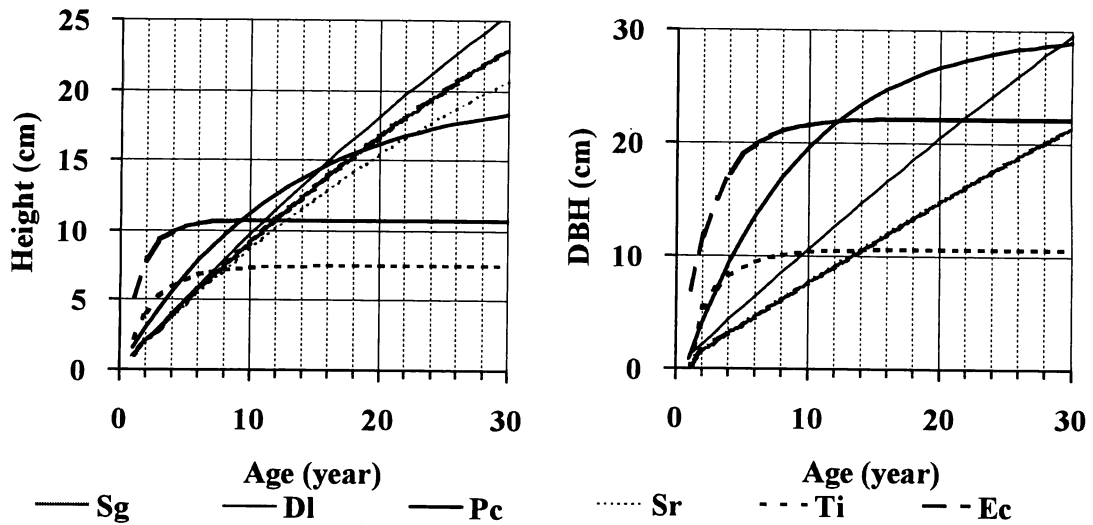


図-2 平均樹高（左図）及び平均直径（右図）の推移。

Sg, Dl, Pc, Sr, Ti及びEcはそれぞれ、*Shorea gratissima*, *Dryobalanops lanceolata*, *Peronema canescens*, *Shorea roxburghii*, *Tabebuia impetiginosa*, *Enterolobium cyclocarpum*を示す。

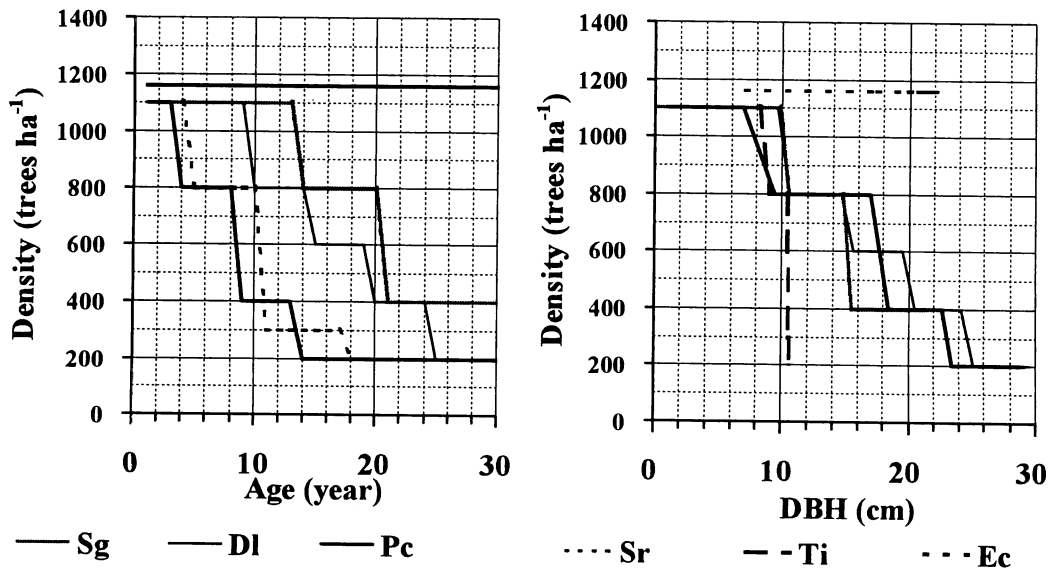


図-3 間伐に伴う林分密度の推移（左図）及び平均胸高直径と林分密度の関係（右図）。  
凡例は図-2. に同じ。

①平均樹高及び平均胸高直径の成長予測

シミュレーションに用いた6種の成長は、植栽後5年間の成長データにミッチャーリッヒの成長曲線に当てはめることによって得た。その際最大値は文献<sup>9)</sup>、<sup>10)</sup>、<sup>11)</sup> から外挿した。予測された平均樹高及び平均胸高直径成長を図-2に示す。*A. chinensis*の林分成長データは文献<sup>12)</sup> によった。

## ②間伐計画

間伐の時期及び本数は、予測した平均胸高直径を勘案して適宜決定した。間伐の結果である平均胸高断面積と林分密度の関係及び林分密度の時間変化を図-3に示す。

## ③植林シミュレーション

本研究にて検討する植林事業の主な条件は以下の通りとした。

### ア 事業面積100ha

尚、本シミュレーションでは計算結果は全て事業面積に比例する。100haとしたのはプログラム実行上の都合によるもので、アウトプットの数値は1,000haを想定した場合は、結果を10倍、10,000haを想定した場合は100倍すればよい。

### イ 事業期間30年間

ウ 森林火災、病虫害によるリスクは勘案しない。

エ 材価は、建材用が50US\$、チップ・パルプ材を15US\$とし、林分の平均胸高直径によってチップ・パルプ材と建材の割合を定めた（表-4）。但し、*E. cyclocarpum*については林分の平均胸高直径に関わらず、全てチップ・パルプ材として計算した。

オ 施業コストは、インドネシアの植林事業調査事例<sup>13)</sup>より引用した。

### カ 樹種の組み合わせ

次の3通りについて、その事業性を検討した。

ア *E. cyclocarpum*のみによる収益を目的とした植伐計画

イ 在来樹種 (*S. gratissima*, *D. lanceolata*, *P. canescens*)のみによる収益を目的とした植伐計画

ウ *S. gratissima*, *D. lanceolata*, *P. canescens*の事業終了時（30期の期末）の合計材積最大を目的とした植伐計画。但し事業期間全体の収益が0以上となることを前提とした。

エ ウに*A. chinensis*を加えた場合の植伐計画

尚、本シミュレーションでは収益とは各期における翌期繰越利益あるいは翌期繰越利益の事業期間の総計とした。

表-4 林分の平均胸高直径と生産材積に占めるチップ・パルプ材及び建材の比率。

平均胸高直径 (cm)	Pulp (%)	Wood (%)
<25cm	100	0
>=25cm	70	30
>=30cm	50	50
>=35cm	30	70

## 4. 結果・考察

### (1) 植栽試験林の成長

在来種である *Shorea gratissima*, *Dryobalanops lanceolata* および *Peronema canescens* の林分の地上部バイオマスはそれぞれ  $1.09\text{tDw ha}^{-1}$ 、 $1.10\text{tDw ha}^{-1}$ 、 $7.44\text{tDw ha}^{-1}$  であった。一方、*Shorea roxburghii*、*Tabebuia impetiginosa* および *Enterolobium cyclocarpum* の林分の地上部バイオマスは  $9.06\text{tDw ha}^{-1}$ 、 $29.91\text{tDw ha}^{-1}$ 、 $186.19\text{tDw ha}^{-1}$  であった。図4は樹種別林分の地上部バイオマス量を示したものである。

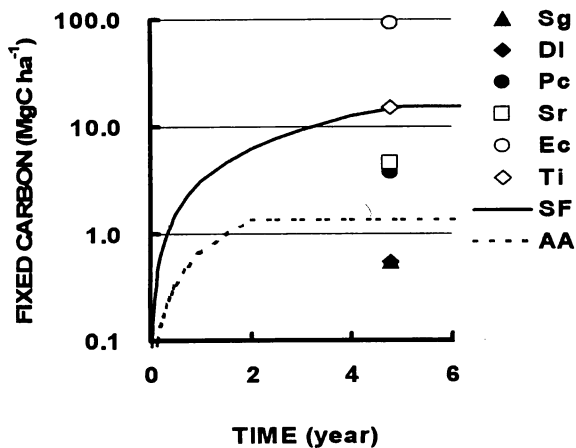


図-4 8年生樹種別植栽地、スプル実験林における二次林 (SF) 及びアラン・アラン草地 (AA) の地上部炭素固定量。

樹種の略号は次の通り。

Sg: *Shorea gratissima*; DI: *Dryobalanops lanceolata*; Pc: *Peronema canescens*; Sr: *Shorea roxburghii*; Ec: *Enterolobium cyclocarpum*; Ti: *Tabebuia impetiginosa*  
 二次林のデータはHasimoto et al. (2000)<sup>7)</sup>による。

スプル実験林内の二次林及びアラン・アラン草地の地上部現存量を併せて図中に示した。二次林のバイオマス量データは焼畑後に成立した二次林を対象とした研究で、Hashimoto et al. (2000)<sup>7)</sup>による (図-4中の黒点)。アラン・アラン (*Imperata cylindrica*) 草地は、当該地域における典型的な植生の一つである。度重なる野火の影響もあろうが、木本種の侵入はほとんどなく、長期間その植生は維持される。調査を行ったアラン・アラン草地は、2000年4月に野火で灰化しており、アラン・アラン草地では植生の変化がほとんど認められないことから、そのバイオマス量は更新後1-2年で最大に達したものと推察される<sup>13)</sup>。

スプル実験林内の二次林やアラン・アラン草地と比較すると、*T. impetiginosa*と*E. cyclocarpum*を除き本試験に用いた樹種による5年間のバイオマス固定量は、実験林内の二次林より少なかった。また、植栽間隔5mx4mの*D. lanceolata*及び*S. gratissima* 林分における炭素固定量は、アラン・アラン草地に比べても低かった。一方、外来種である*E. cyclocarpum*による2mx2mの植栽地は大きなバイオマスを示した。厳密には同一植栽密度による成長量の比較が必要ではあるが、今回の結果は供試した在来樹種、特にフタバガキ科の林分成長が著しく遅いものであることを示唆するものである。

(2) 在来未利用樹種の材質及び合板利用可能性

(ア) 材質

供試木の材質を表-5に示す。平均硬度は*Dillenia excelsa*が最も硬く88.2Nmm<sup>-1</sup>であった。ホルマリン濃度は3種ともほとんど変わらず、約0.005mg l<sup>-1</sup>程度であった。柁目方向の平均収縮率は2.0 - 3.2 %と

表-5 供試木の材質。

種名	比重	硬度 (kg cm <sup>-2</sup> )	収縮率		ホルマリン濃度 (mg l <sup>-1</sup> )	合板歩留 (%)
			柁目 (%)	板目 (%)		
<i>Octomeles sumatrana</i>	0.38	186.70	3.20	5.22	0.04	38.89
<i>Dillenia excelsa</i>	0.59	902.70	2.02	6.63	0.04	32.37
<i>Anthocephalus chinensis</i>	0.38	383.40	2.26	4.38	0.06	44.32



ほとんど種間差はなく、板目方向の平均収縮率は4.38% (*Anthocephalus chinensis*)から6.63% (*Dillenia excelsa*)と比較的ばらついた。因みに*Gmelina arborea*の場合、柁目方向、板目方向の平均収縮率はそれぞれ、2.4%及び4.9%程度とのデータがある。尚、合板への歩留は3種とも50%以下であった。

(イ) 合板物理性

試作した合板は、3種とも5枚の単板から成る厚さ11.5mm、板面の品質規格ではA-Cである。各種合板の接着強度、曲げ性能、ホルムアルデヒド放散量、収縮率を表-6に示す。

接着の程度は構造用合板の規格と比較して、十分な強度を示した。曲げ強さは、繊維方向(0°)、繊維方向に直角の方向(90°)のいずれも*D. excelsa*合板で最も高く、*O. sumatrana*合板が最も低かった。3種の合板の示した曲げ強さはいずれの樹種の合板も構造用合板規格の25.5Nmm<sup>2</sup>以上の値を示した。曲げヤング係数(x 10<sup>3</sup> Nmm<sup>-2</sup>)は0°、90°両方において*D. excelsa*合板が最も高い値を示した(0°:10.5; 90°:6.3)。構造用合板の曲げヤング係数のJAS規格は0°で6.5以上、90°で3.5以上であり、*O. sumatrana*及び*A. chinensis*合板は繊維方向に90°の曲げヤング係数が規格にやや満たなかった。

以上の結果は、これら3種の合板は普通合板としての利用は十分可能であること、構造用合板としてもその可能性があることを示唆した。特に*D. excelsa*は有望であり、ここでは詳細について触れなかったが、その表面性(装飾性)から合板の表面/裏面材としての価値もあることが分かった。

(3) 植伐シミュレーション

在来樹種のみによる植林シミュレーションの結果を図-5、6及び7に示す。事業の収益性として翌期繰越利益をとると、これを中心とした植林事業は成林にいたる長期性とメンテナンスにかかる費用を考えた場合、実現可能性に乏しい(図-7)。一方、6種全部を用い、最大の収益を目的とした場合の結果を図-8、9及び10に示す。植栽木が*E. cyclocarpum*に集約し(図-8および9)、事業の財務状況は大きく改善した。*E. cyclocarpum*の示すような高いバイオマス固定量は、当該地域の植林事業成立のための有効な手段の一つとなりうることを示した。

表-6 *Octomeles sumatrana*, *Dillenia excelsa*, *Anthocephalus chinensis*合板の物理性能.

樹種	剥離強度 (Nmm <sup>-2</sup> )	浸潤後の剥離強度 (N mm <sup>-2</sup> )	曲げ強さ (MOR) (N mm <sup>-2</sup> )		曲げヤング係数 (MOE) (N mm <sup>-2</sup> )		ホルムアルデヒド放散量 (平均値) (mg l <sup>-1</sup> )	収縮率(%)	
			0°	90°	0°	90°		厚み 方向	幅 方向
			<i>O. sumatrana</i>	1.07	1.22	29.66		25.86	5.2
<i>D. excelsa</i>	1.20	1.90	69.67	66.80	10.5	6.3	0.06	2.02	6.63
<i>A. chinensis</i>	1.73	1.77	48.76	36.81	4.8	3.0	4.80	2.26	4.38

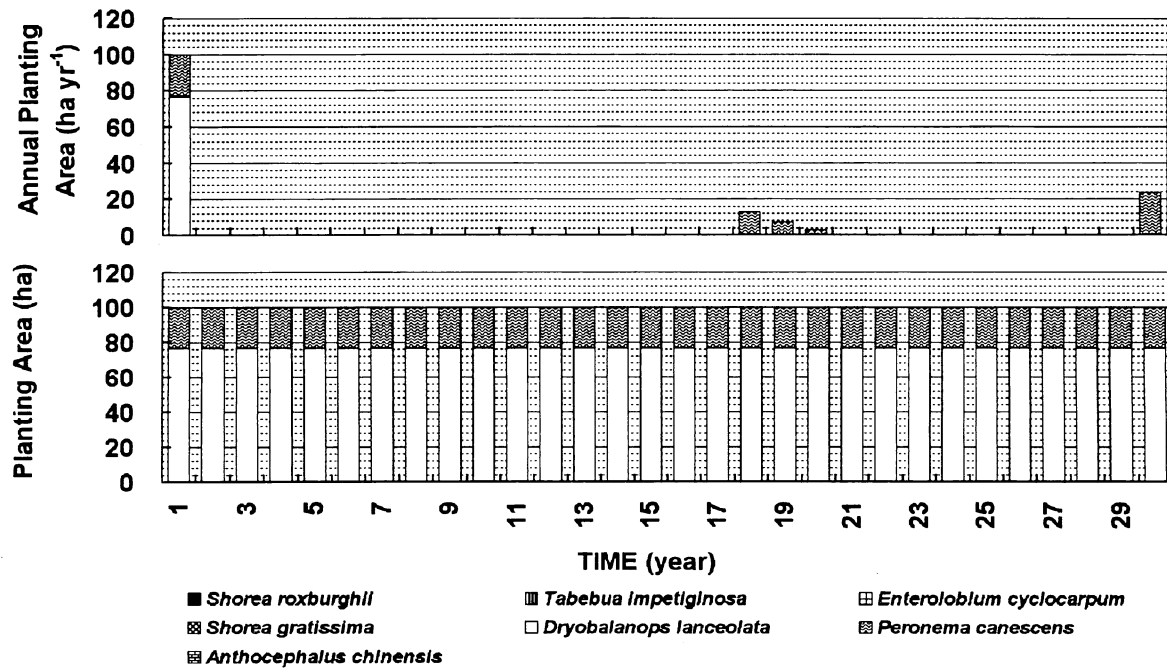


図-5 植伐シミュレーションの結果：各年の植栽面積（上図）及び植栽面積の推移（下図）。  
条件：在来樹種のみで収益を最大とした場合。

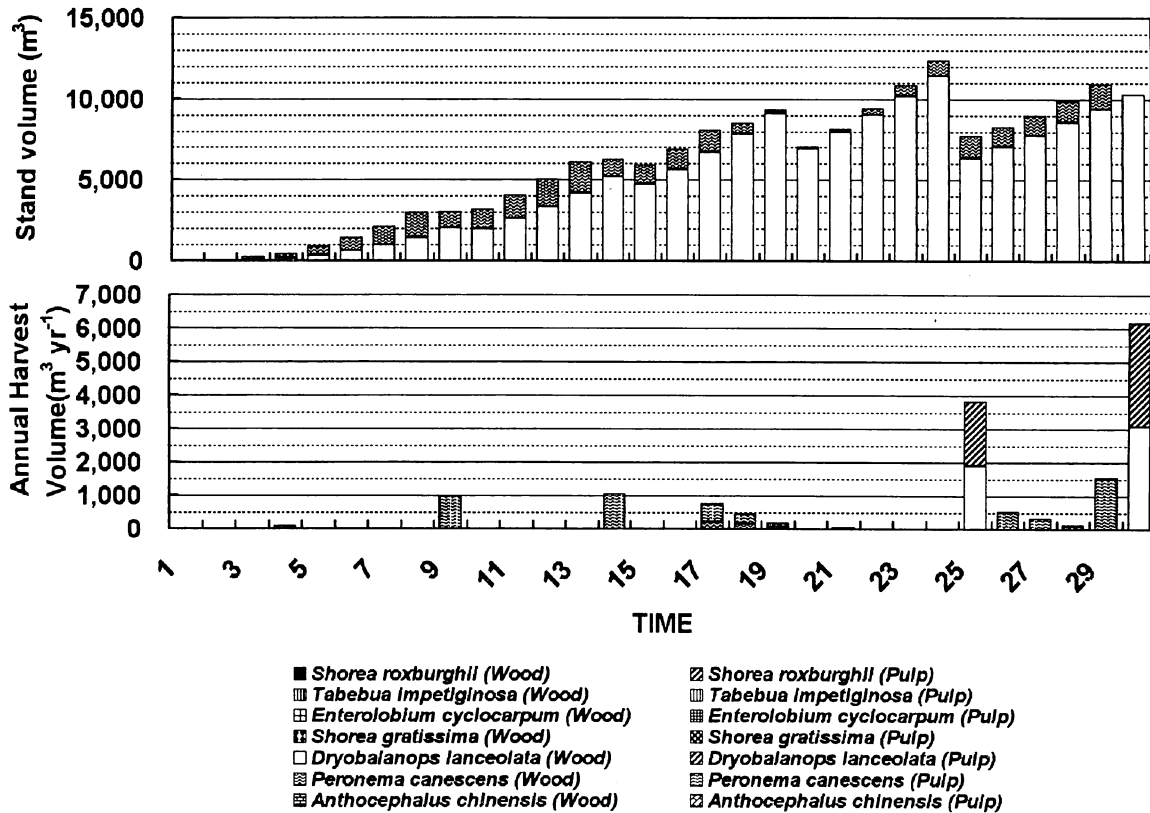


図-6 植伐シミュレーションの結果：森林材積の推移（上図）及び各年の伐採材積（下図）。  
条件：在来樹種のみで収益を最大とした場合。

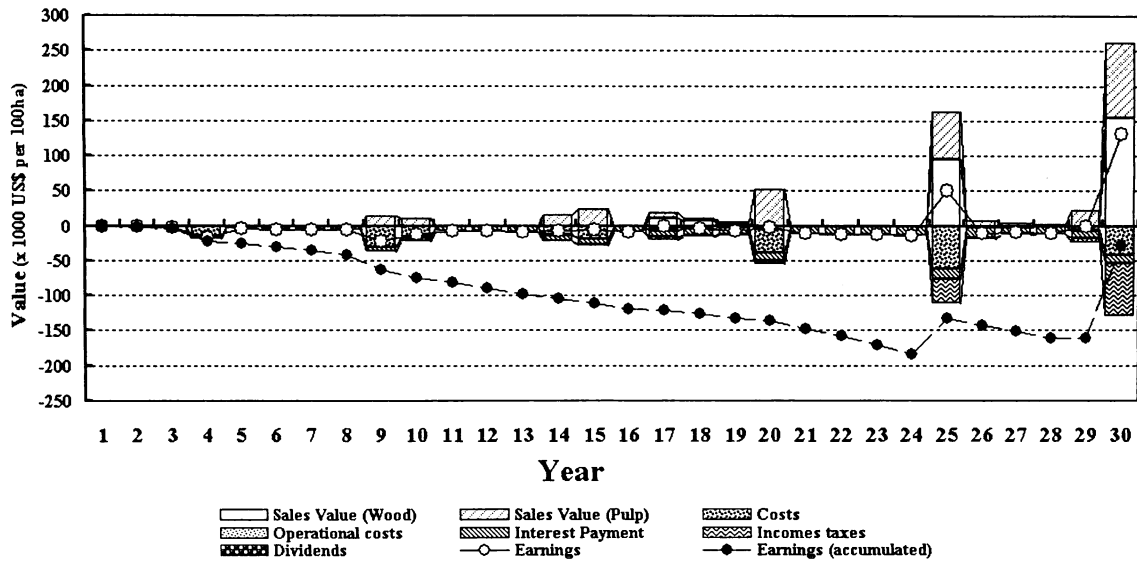


図-7 植伐シミュレーションの結果：収益及びコストの推移（○：各期の翌年繰越利益；●：翌年繰越利益の累積）。  
条件：在来樹種のみで収益を最大とした場合。

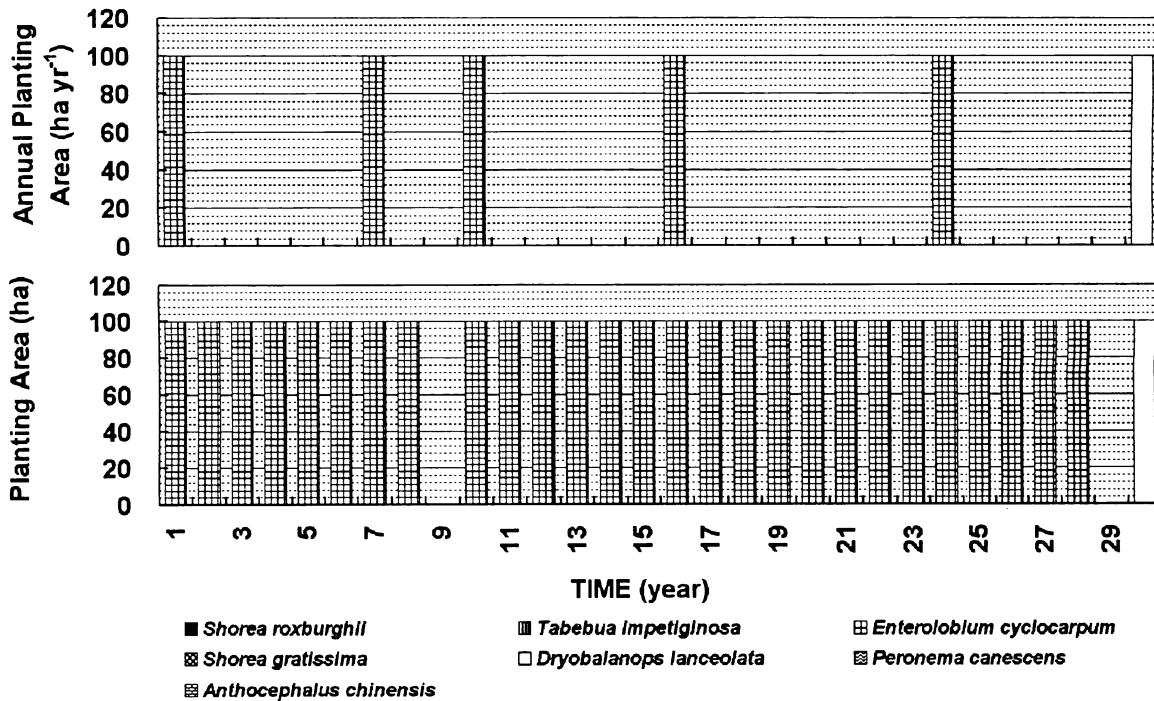


図-8 植伐シミュレーションの結果：各年の植栽面積（上図）及び植栽面積の推移（下図）。  
条件：在来樹種のみで収益を最大とした場合。

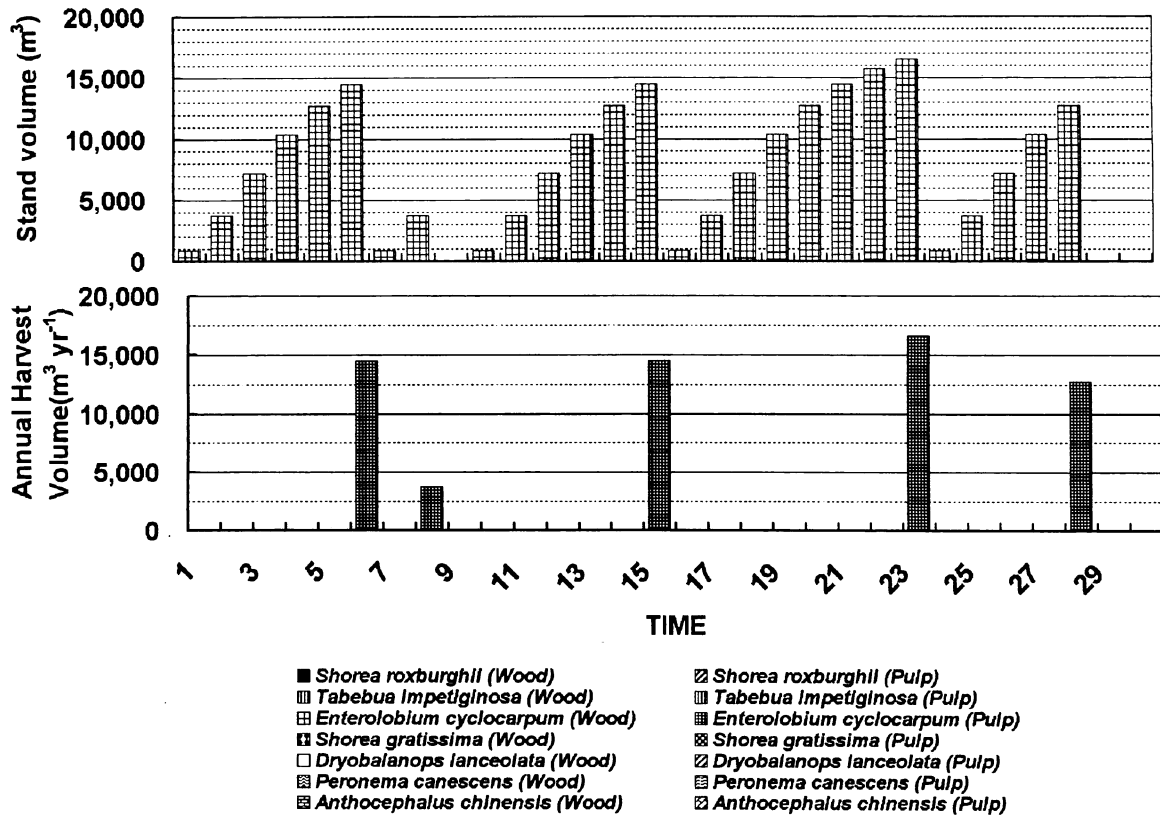


図-9 植伐シミュレーションの結果：森林材積の推移（上図）及び各年の伐採材積（下図）。  
条件：6種で収益を最大とした場合。

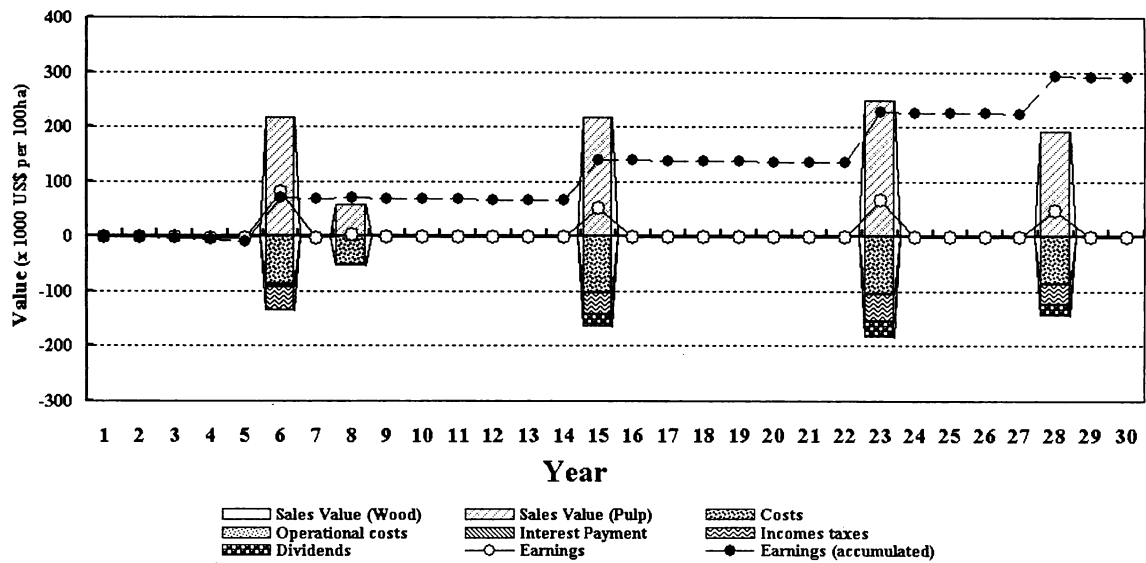


図-10 植伐シミュレーションの結果：収益及びコストの推移（○：各期の翌年繰越利益；●：翌年繰越利益の累積）。  
条件：6種用いて収益を最大とした場合。

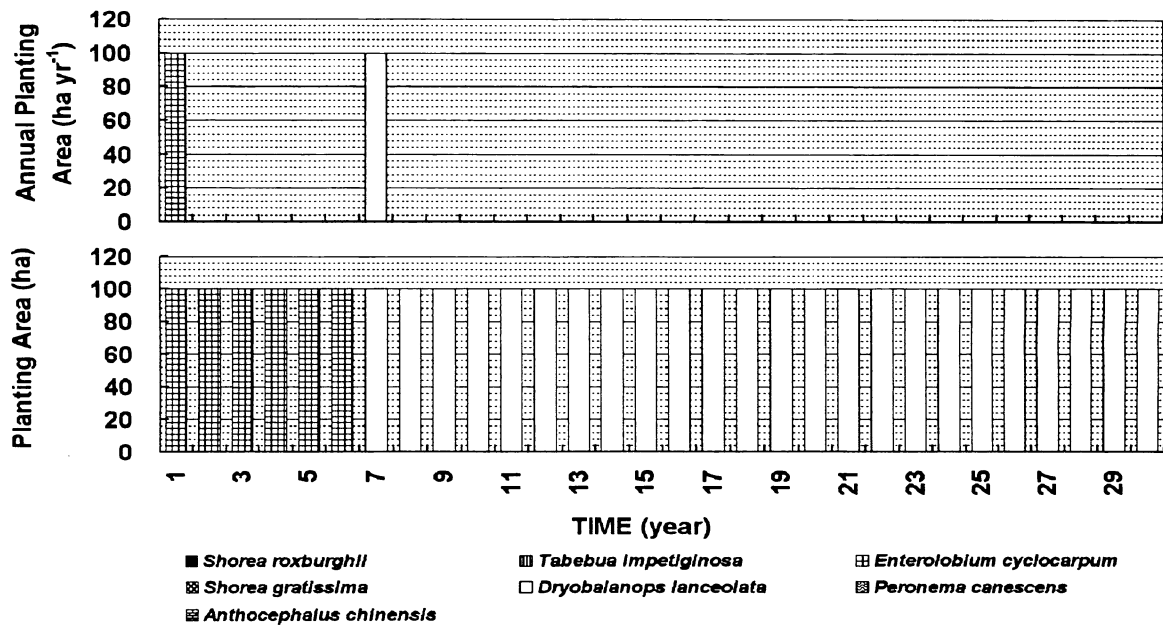


図-11 植伐シミュレーションの結果：各年の植栽面積（上図）及び植栽面積の推移（下図）。  
条件：在来樹種+*E. cyclocarpum*のみで在来種（*S. gratissima*、*D. lanceolata*、*P. canescens*）の  
事業最終年度の合計材積を最大とした場合。

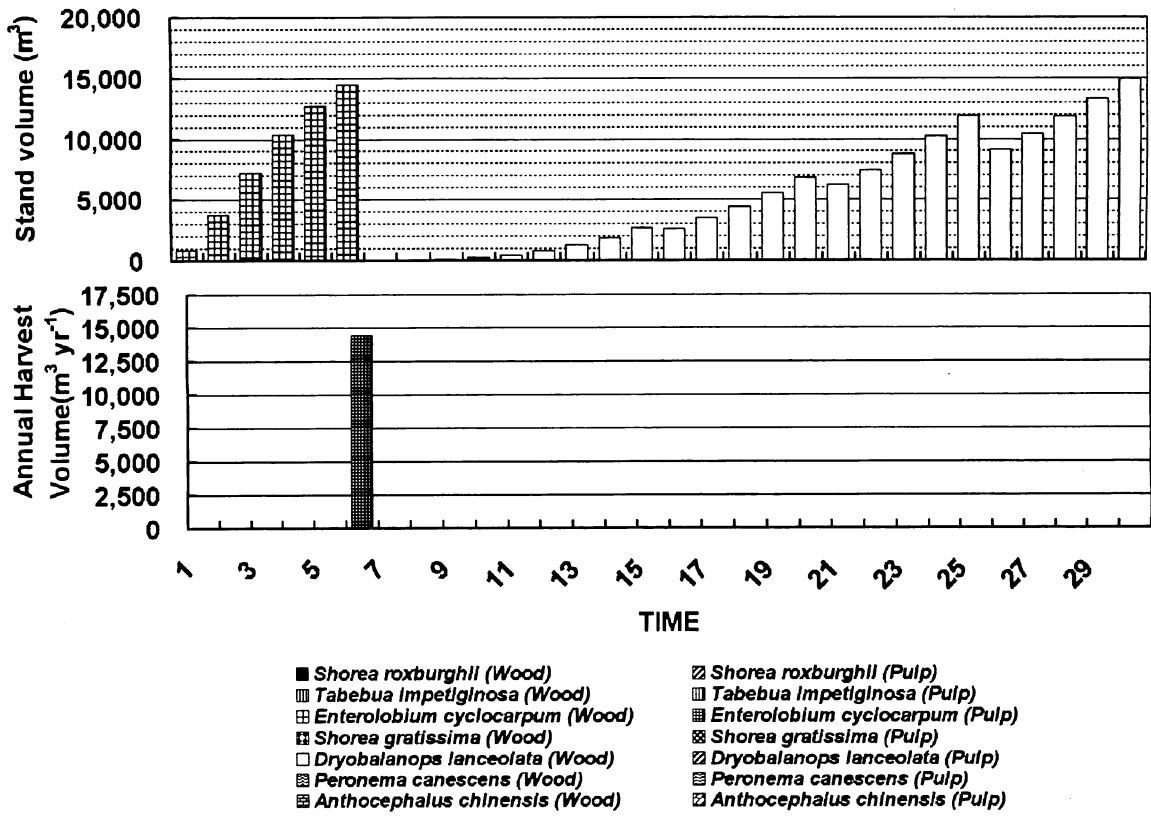


図-12 植伐シミュレーションの結果：森林材積の推移（上図）及び各年の伐採材積（下図）。  
条件：在来樹種+*E. cyclocarpum*で在来種（*S. gratissima*、*D. lanceolata*、*P. canescens*）の  
事業最終年度の合計材積を最大とした場合。

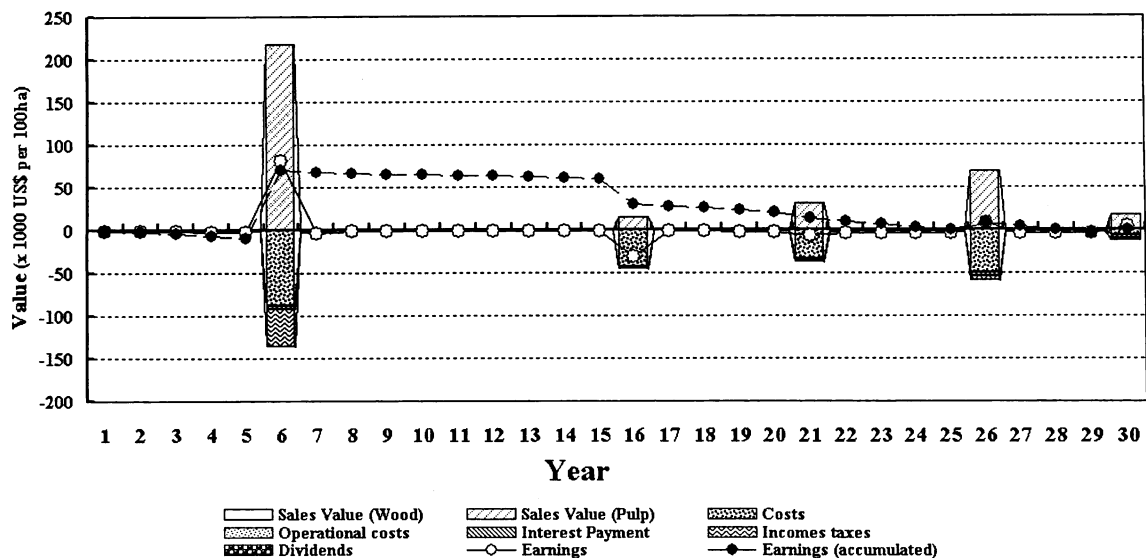


図-13 植伐シミュレーションの結果：収益及びコストの推移（○：各期の翌年繰越利益；●：翌年繰越利益の累積）。

条件：在来樹種+*E. cyclocarpum*で在来種（*S. gratissima*、*D. lanceolata*、*P. canescens*）の事業最終年度の合計材積を最大とした場合。

次に、在来種3種と*E. cyclocarpum*を用い、事業最終期（30年目）までの収益がトータルでマイナスにならない（翌期繰越利益の累積：図中の●が最終期に0以上であること）という条件のもと、在来種3種の林分材積合計が事業終了時に最大になるような植伐計画をシミュレートした結果を図-11、12及び13に示す。最初の5年間で*E. cyclocarpum*の植栽と伐採を行い、6年目以降*Dryobalanops lanceolata*を植栽し、保育作業を続けた場合が最も在来種による林分蓄積の大きい事業となり、事業最終期の立木材積はヘクタール当り149m<sup>3</sup>となった。これは平均胸高直径が約30cmの*D. lanceolata*の森林である。その財務状況は最初の5年間の*E. cyclocarpum*植林による収益により、*D. lanceolata*の植栽と保育を事業期間中赤字計上しない結果となり、森林造成事業成立の可能性を示唆するものである。

同様に、事業最終期（30年目）までの収益がトータルでマイナスにならない（翌期繰越利益の累積：図中の●が最終期に0以上であること）条件のもと、在来種3種の林分材積合計が事業終了時に最大になるような植伐計画を*E. cyclocarpum*の代わりに、*Anthocephalus chinensis*を用いてシミュレートした結果を図-14、15及び16に示す。事業における造林樹種の構成は*D. lanceolata*と*A. chinensis*の2種となり、最終的に事業区全体の約55%（55ha）に約7,300m<sup>3</sup>の*D. lanceolata*の森林が成立する結果となった（図-14及び15）。この*D. lanceolata*植栽地は23年生でヘクタール当りの材積は約133m<sup>3</sup>となる。*E. cyclocarpum*を用いた場合と比べると、最終的な林分蓄積は小さく、事業期間中に赤字を計上するなど、財務状況は悪くなる（図-16）。一方、*Anthocephalus chinensis*は在来樹種であり、環境へのインパクトの少なさや病虫害に対するリスクも幾らか軽減される点など事業成立にとって重要な点においてメリットも多い。

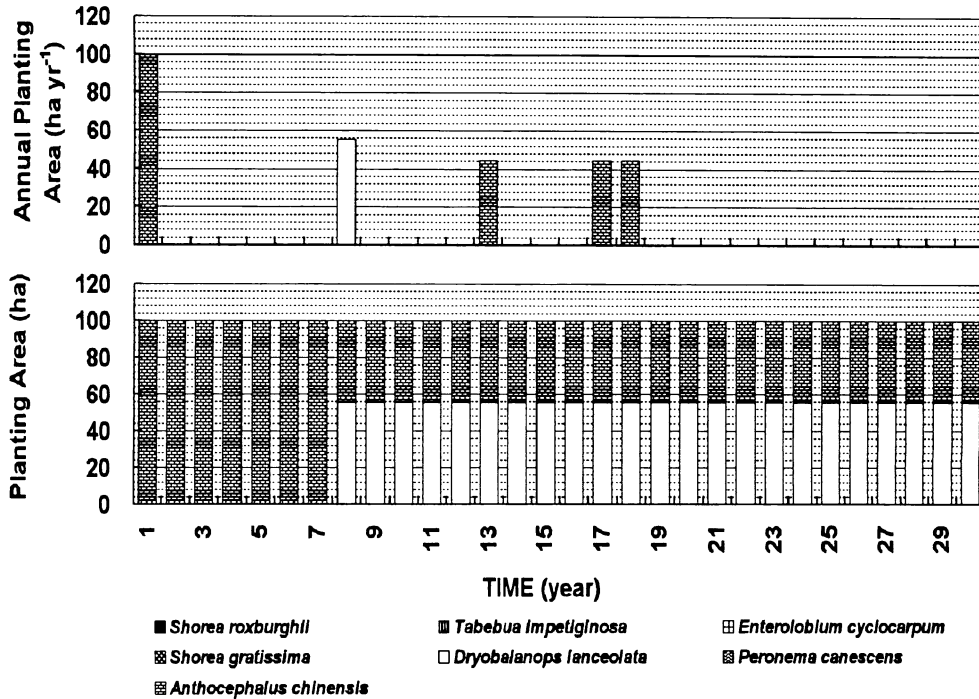


図-14 植伐シミュレーションの結果：各年の植栽面積（上図）及び植栽面積の推移（下図）。  
 条件：在来樹種+*E. cyclocarpum*+*A. chinensis*で在来種（*S. gratissima*、*D. lanceolata*、*P. canescens*）の事業最終年度の合計材積を最大とした場合。

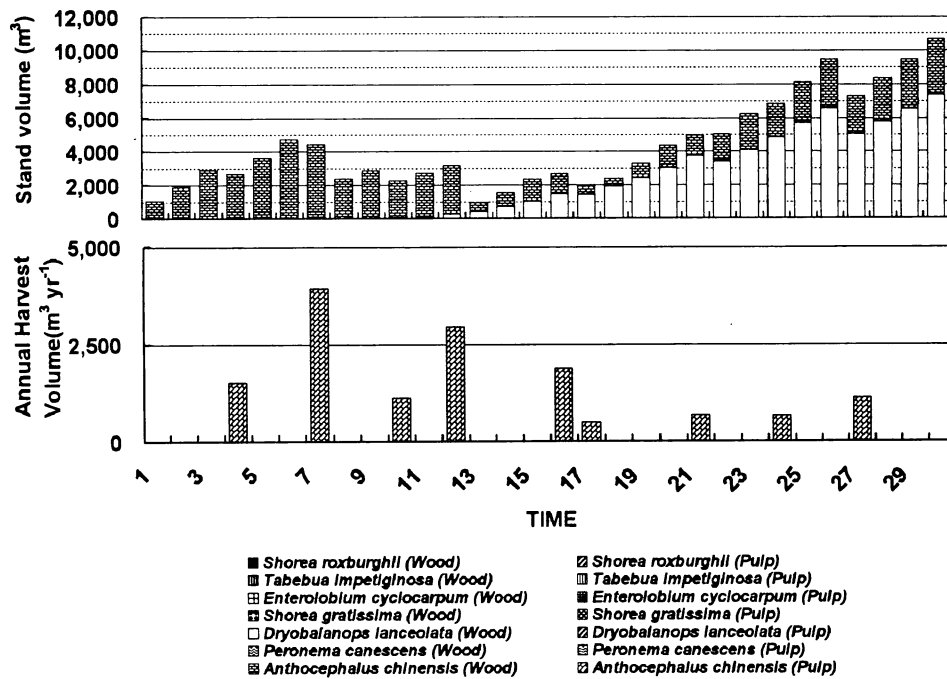


図-15 植伐シミュレーションの結果：森林材積の推移（上図）及び各年の伐採材積（下図）。  
 条件：在来樹種+*E. cyclocarpum*+*A. chinensis*で在来種（*S. gratissima*、*D. lanceolata*、*P. canescens*）の事業最終年度の合計材積を最大とした場合。

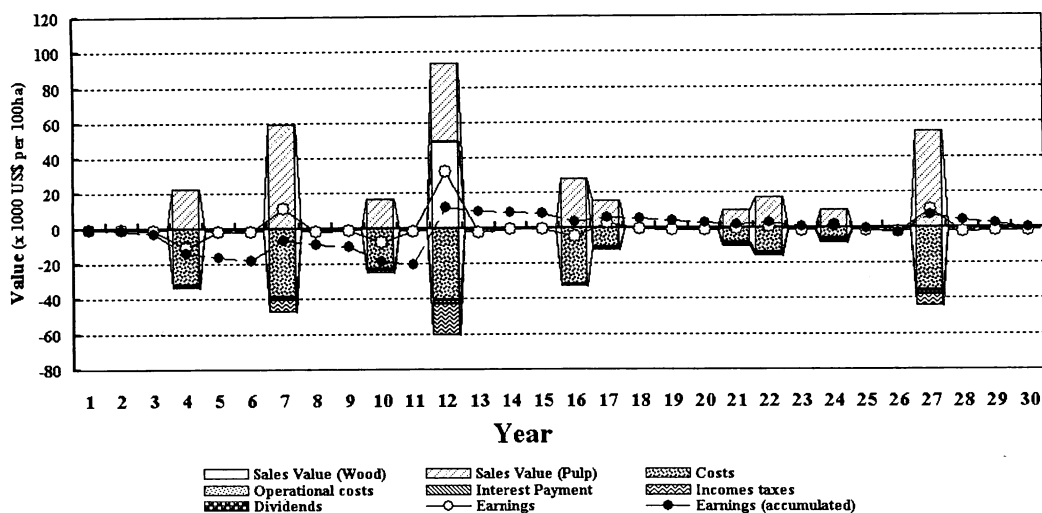


図-16 植伐シミュレーションの結果：収益及びコストの推移（○：各期の翌年繰越利益；●：翌年繰越利益の累積）。

条件：在来樹種 + *E. cyclocarpum* + *A. chinensis* で在来種 (*S. gratissima*, *D. lanceolata*, *P. canescens*) の事業最終年度の合計材積を最大とした場合。

本研究は、熱帯林再生プロジェクトにおいて実際に植林された樹種の成長から、再植林事業の可能性について検討を加えたものである。精度の高い予測には非常に長い時間がかかるため、極初期の成長から大胆に林分成長を予測し、その結果を現在の経営環境をもとに植林事業をシミュレートした。熱帯林リハビリテーションでは、ともすれば目的樹種を中心とした事業を指向しがちであるが、原植生の優占樹種は一般に成長が遅く、事業の成立は難しいと思われた。ここで視点を変え、これまで森林のリハビリテーションにおいても余り注目されなかった樹種に焦点をあて、これを利用することによって徐々に目的の森林に誘導する手法は、一つの有効な手段であると思われた。そうした場面においては外来種の利用も有効である。実際の事業化に当たっては利用の検討から造林技術の確立、林分成長の実測データによる検証、選抜育種等の研究が必要である。

## 5. 本研究により得られた成果

熱帯天然林跡地に植栽された樹木は立地環境に対する応答により、様々な成長量を示すことが示された。今回用いた樹種による植林事業をシミュレートし、フタバガキ科等かつての優占種のみによる再植林事業は実現可能性に乏しいことを示した。一方で、早生樹等、利用価値の高い樹種との組み合わせることにより、事業性が向上する可能性を見出した。在来樹種の中から比較的成長の早いと思われる数種を用いた合板加工試験から、利用可能な樹種が存在することを明らかにした。このような成長の早い有用樹種を見出し、利用することによって、熱帯林の再生事業成立の可能性が増すことを示した。

## 6. 引用文献

- 1) Ådjers, G. et al. (1995) Enrichment planting of dipterocarps in logged-over secondary forest; Effect of width, direction and maintenance method of planting line on *Shorea* species. *Forest Ecology and Management* 73: 259-270.



- 2) Palmiotto, P. A. (1993) Initial response of Shorea wildings transplanted in gap and understory microsites in a lowland rain forest. *Journal of Tropical Forest Science* 5: 403-415
- 3) Nussbaum, R. et al. (1995) Factors limiting the growth of indigeneous tree seedling planted on degraded rain forest soil in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management* 74: 149-159
- 4) Ang, L.H. and Y. Maruyama (1995) Survival and early growth of Shorea plactyclados, Shorea macroptera, Shorea assamica and Hopea nervosa in open planting. *Journal of Tropical Forest Science* 7: 541-557
- 5) FAO (1988) Soil map of the world. Revised Legend, World Soil Resources Report 60, FAO, Rome.
- 6) Yamakura, T. et al. (1986) Tree size in a mature dipterocarp forest stand in Sebulu, East Kalimantan, Indonesia. *Southeast Asian Studies*, 23: 452-478
- 7) Hashimoto, T. et al. (2000) Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *Forest Ecology and Management* 92: 331-337
- 8) Morikawa, Y. (2000) Manual of Biomass Measurement in Plantation and in Regenerated Vegetation. JIFPRO and JOPP, Tokyo, Japan
- 9) 北野至亮編 (1984) 熱帯植物要覧 熱帯植物研究会 養賢堂.
- 10) Lemmens, R.H.M.J. and Soerianegara eds. (1995) Plant Resources of South-East Asia No. 5 (2). Timber trees: Minor commercial timbers. Procea, Bogor, Indonesia.
- 11) Soerianegara and R.H.M.J. Lemmens eds. (1994) Plant Resources of South-East Asia No. 5(1) Timber trees: Major commercial timbers. Prosea, Bogor, Indonesia.
- 12) Suharlan, A. et al. (1975). Yield table of ten industrial wood species. Lembaga Penelitian Hutan. (西川匡英、高橋文敏、白石則彦、増田義昭 (1996) 熱帯林の成長データ収録 (その2) 財団法人国際緑化推進センターより引用)
- 13) (財) 国際緑化推進センター CDM植林促進技術開発事業 平成14年実行報告書、平成15年3月.
- 14) 住友林業株式会社 (2004) 平成15年度環境省請負業務 地球温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査 インドネシア共和国3州における植林及びバイオマスエネルギー利用プロジェクト調査報告書

## 7. 国際共同研究等の状況

インドネシア共和国林業省との共同実施による熱帯林再生プロジェクトによる。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

なし

<その他誌上発表 (査読なし)>

- ① Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 115-122(2004)

“Planting trials of six species at a secondary forest in East Kalimantan, Indonesia (執筆担当: K. Matsune and T. Komatsu)”

- ② Y. Matsumoto, E. Ueda, and S. Kobayashi (Eds.): Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005, in press (2005)

“Planning of a Forest Plantation -Finding out new species for the rehabilitation project in East Kalimantan, Indonesia- (執筆担当: K. Matsune and K. Nakamura)”

(2) 口頭発表 (学会)

- ① K. Matsune: International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests” , Tsukuba, Japan, 2004

“Planning of forestry plantation - Planting trials of eight species at a secondary forest in East Kalimantan, Indonesia”

- ② K. Matsune and K. Nakamura: International workshop on “The Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests” , Tsukuba, Japan, 2005

“Planning of a Forest Plantation -Finding out new species for the rehabilitation project in East Kalimantan, Indonesia-”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後、学会、論文等を通じ、成果の広報、普及に努める。