

本層のhaあたり平均材積は 528 m³である。

Alan bunga林との相違は中径木のAlanによる単純一斉林の形態を示している点と、Alan bunga 林にはほとんどみられなかった中層のAlanの小径木が存在することなどである。

(9) 層5(2) 混交フタバガキ科林

優占種は Merantiグループ、Kedondong、Ubah、Medang、KerANJI、Keruing 等である。胸高直径40cm以上のグループAに属する樹種は Merantiグループ、Keruing、Kapur グループ等のフタバガキ科で、材積割合は26%である。

本層のhaあたり平均材積は 375 m³であり、立木本数は各層のうち最少であるが商業樹種グループAに属する立木1本あたりの利用材積は5 m³近くあり、層3.3(3)のAlan bunga林に次ぐ大径木が存する。

(10) 層5(2. BX) 混交フタバガキ科林

過去において層5(2)の一部伐採が行われた林分であって、開発の方法や強度、その後の経過年数などの相違によって森林内容の変異が大きい。優占種はプロットの平均値として Kedondong、Keruing、Belian、Ubah、Perah の順となる。グループAに属する樹種はKeruing、Belian、Resak、Meranti で、胸高直径40cm以上のこれらの材積割合は34%となっている。

本層のhaあたり平均材積は 237 m³であり、これは淡水湿地林・層2.1/2.2に次ぐ低い値であるが、中・下層木に上記商業樹種が後継樹として成育しているのが目立つ。

(11) 層5(4) 混交フタバガキ科林

優占種はKapur bukit、Meranti グループ、Keruing、Resak などフタバガキ科の樹種が多くを占めている。胸高直径40cm以上のグループAに属する樹種の材積割合は60%で質の高い森林であり、中層にはフタバガキ科の後継樹がみられる。

本層のhaあたり平均材積は 440 m³である。

(12) 層8 二次林

二次林はほとんど泥炭湿地林帯に分布している。優占種はRamin、Kapur paya、Ubah、Pulai、Sindok sindok 等で構成されているが、Pulai やSindok sindok の陽生樹はいずれ消滅し、Ramin、Kapur paya、Ubah、Resak 等が優占する泥炭湿地林への遷移過程にあると考えられる。また排水の良好な箇所では将来Kedondong が優占するであろう。

本層のhaあたり平均材積は 205 m³で、立木本数も当然のことながら 663本と多い。

Table-15 に層別のhaあたり立木本数および材積を示した。

Table-15 Commercial value by stratum

Stratum	Number/ha			Volume/ha			Volume per Tree	
	Group A & 40≤D	All trees	Ratio %	Group A & 40≤D m ³	All tees m ³	Ratio %	Group A & 40≤D m ³	All tees m ³
2.1(1)	5	310	1.6	11.592	229.969	5.0	2.318	0.742
2.2(1)	21	413	5.1	44.190	277.907	15.9	2.104	0.673
3.1(1)	28	473	5.9	63.023	448.380	14.1	2.251	0.948
3.1(1.BX)	33	355	9.3	89.633	260.465	34.4	2.716	0.734
3.1(2)	39	252	15.5	151.463	393.082	38.5	3.884	1.560
3.2(2)	25	268	9.3	98.181	331.004	29.7	3.927	1.235
3.3(3)	74	229	32.3	472.215	584.673	80.8	6.381	2.553
3.5(1)	110	383	28.7	336.541	528.278	63.7	3.059	1.379
5(2)	17	219	7.8	99.056	374.546	26.4	5.827	1.710
5(2.BX)	13	191	6.8	52.966	236.853	22.4	4.074	1.240
5(4)	51	243	21.0	261.594	334.768	78.1	5.129	1.378
8	8	663	1.2	23.127	205.010	11.3	2.891	0.309
Total	44	324	13.6	198.958	391.028	50.9	4.522	1.207

3.3. 蓄積の推定

3.3.1. 航空写真判読基準カードの作成

航空写真判読基準カードは別名立体判例写真ともいう。あらかじめ各種の森林タイプごとにステレオグラムが作成されていれば、ある任意の林分の森林タイプを写真判読するとき、それらのステレオグラムと照らし合せて両者が一致するカードを選出し、森林タイプを決定することができる。同様にしてカードに記載されている林分構成因子の立木本数や材積、優勢木の主要樹種等をその林分の判読推測値として用いることもできる。最終的に求められる植生図（森林タイプ区分、土地利用区分）の作成に当たり、このステレオグラムによって全調査地を比較判読し、森林タイプの確定を行った。

航空写真判読基準カードの具体的な作成方法は次の3点から構成されている。

- a. 小標本地（地上調査実施箇所）の2倍引き伸ばし写真を用いて航空写真上にマークし、所定のサイズに裁断後、正確に立体視できるように基準カード上に標定して貼付する。
- b. 3.2.4の「標本地調査結果の分析」では毎木調査データが解析され、森林タイプの形質的特徴が一見してわかるようにデータが整理されている。その中からステレオグラムとして必要な林分構成要素を取り上げカードに転載する。
- c. 林分構成因子の写真判読値と写真諸元を掲載する。写真諸元は貼付された立体モデル写真で視差測定桿等を使って測樹するときに必要な数値である。

航空写真判読基準カードの様式は Table-16 のとおりである。

ここで左上段の太線枠内の記載事項は全林木の解析データである。

樹種構成は上層木の立木本数の上位 5 樹種を記載する。枝下高と胸高直径は分子に平均値、分母に範囲が示される。

中段の太線枠内は上層木のみについての数値で、下段には上層木以外の立木本数のみを記入する。

右上段の太線枠内は写真判読値で、最初の欄は小標本プロット内の上層木の平均樹冠直径である。

林冠の欄は林冠型の特徴を表示した。色調は写真に写っている林冠層の色調を次のように判読し記載した。

- a. 濃灰色 Dark gray
- b. 灰色 Gray
- c. 明灰色 Light gray

中段の太線枠内は写真の諸元で最後の絶対視差は視差測定桿で樹高を測定するときに必要な因子である。

下段の太線枠内は地況で、標高、微地形、地質、土壌タイプを記載し、最後に地上調査の実施年月日を記入する。

ステレオグラムの中央に図示した森林タイプ図は小標本地周辺の森林状況を示すと同時に調査地の所在の現地確認を容易にするためである。中央下段の写真は林分地上写真である。

3.3.2. 航空写真材積式の作成

層別（森林タイプ別）材積および全体蓄積の推定は、前述したとおり層化二重抽出法（層化複合回帰推定）で行う。したがって大標本地の材積は小標本地の実測材積（ Y ）と写真判読値（平均樹冠直径 X_1 と樹冠疎密度 X_2 の積）との直線回帰式によって推定する。

(1) 小標本地の写真判読

航空写真で小標本地の林分平均樹冠直径と樹冠疎密度を測定する。

平均樹冠直径（ X_1 ）の測定は、写真上に区画された小標本地内から10本の立木を選択し、樹冠直径楔尺板（Crown diameter scale）でこれらの樹冠直径を計測し、平均値を求めて平均樹冠直径とした。樹冠が非常に小さく均一な林分については、目測によって平均的樹冠をもつ立木を選び、その樹冠直径を測定して平均樹冠直径とした。

Table-16 Standard interpretation card
 PLOT NO. _____ COURSE, PHOTO NO. (Left) _____ (Right)

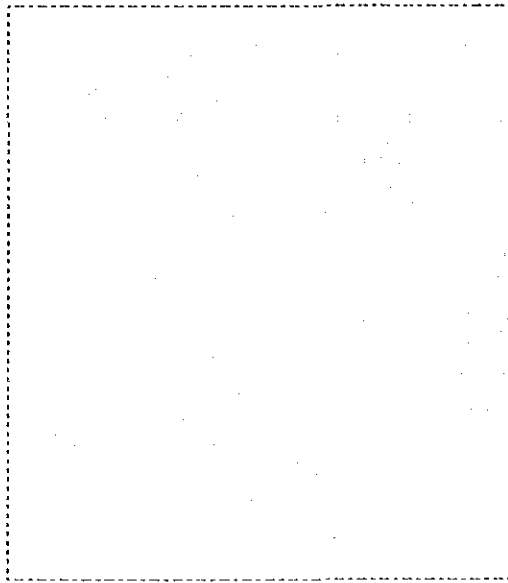
FOREST TYPE

Forest Description		
Volume/ha		m ³
Species Composition		
Clear Length		m
D. B. H		cm
Crown Density		
Number/ha		
(Upper-story Tree)		
Clear Length		m
D. B. H		cm
Crown Diameter		m
Number/ha		
(Middle-story Tree)		
Number/ha		

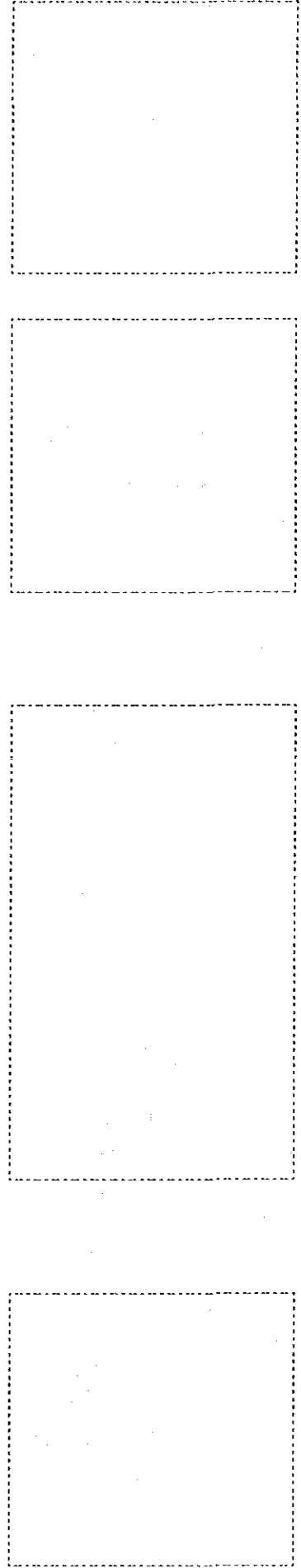
Characteristic of Photo-interpretation	
Mean Crown Diameter	m
Canopy	
Tone	

Data List for Photography	
Date of Photo.	
Focus Length	mm
Flying Height	
Above Ground	m
Scale of Photo.	
Absolute Parallax	mm

Land Description	
Altitude	m
Micro-topography	
Geology	
Soil	
Date of Field Survey	



FOREST TYPE MAP



Ground Photo.

Table-17 Crown diameter classification

Crown diameter classification	Interpreted mean crown diameter
1	Below 7 m
2	7.1m~ 9.9m
3	Over 10m

樹冠疎密度は小標本地の上層木を対象に樹冠疎密度板を用いて測定し、予備写真判読時における林型区分の樹冠疎密度階「密」「中」「疎」をさらに細分して次の5段階とした。

Table-18 Crown density classification

Aerial stand volume fomula		Crown density classification
5	Over 90%	High density
4	70%~89%	Medium density
3	50%~69%	
2	30%~49%	Sparse density
1	Below 30%	

小標本地の平均樹冠直径 (X_1)と樹冠疎密度 (X_2)の写真判読値はApp. Table-32 に示すとおりである。

(2) 航空写真材積式の作成および適用

全蓄積を従属変数 (y)、樹冠直径と樹冠疎密度を独立変数 (x_1)、(x_2) として、3通りの直線回帰式および重回帰式による材積推定精度を検討した。この結果3式とも推定精度に大きな差は認められず、写真判読作業の容易さと材積推定式の簡易さから次に示す直線回帰式を採用した。

$$y = a + b x \dots\dots\dots (1)$$

y : haあたり材積 x : 平均樹冠直径階 (X_1)と樹冠疎密度階 (X_2)の積

App. Table-32 の y および x の値を用いて統計処理する。

$$\begin{aligned} \Sigma x_1 &= 294 & \Sigma y_1 &= 14,026.57 & \Sigma x_1^2 &= 2,676 \\ \Sigma y_1^2 &= 5,928,139.754 & \Sigma y_1 \cdot x_1 &= 123,711.42 \end{aligned}$$

$$\bar{x} = 7.74 \quad \bar{y} = 369.12 \quad n = 38$$

これらを用いて常数 a および b を求める。

$$Sx^2 = \Sigma (x_i - \bar{x})^2 = \Sigma x_i^2 - \Sigma x_i^2 / n = 401.3684$$

$$Sy^2 = \Sigma (y_i - \bar{y})^2 = \Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2 / n = 750,648.5444$$

$$Sxy = \Sigma (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) = \Sigma x_i \cdot y_i - (\Sigma x_i) \cdot (\Sigma y_i) / n = 15,190.06263$$

$$b = Sxy / Sx^2 = 15,190.06263 / 401.3684 = 37.8457$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 369.12 - 37.8457 \times 7.74 = 76.194$$

従って層ごとの平均写真判読値 (\bar{x}_h) を代入して、層別 ha あたり平均材積を計算する直線回帰式は次式となる。

$$y = 76.194 + 37.8457 \bar{x}_h \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで \bar{x}_h は層別の写真判読値 (x_h) の平均値、h は層 1 ~ L を表す。

3.3.3. 航空写真の判読

作成した航空写真判読基準カードと予備判読で区分した写真上の森林タイプ区分とを照合して誤判読箇所を修正し、最終的な森林タイプ区分を決定した。

次に航空写真上の森林タイプ区分を 2 万分の 1 地形図に移写し森林タイプ図を作成した。

写真判読上の問題点としては、淡水湿地林と泥炭湿地林の層 3.1(1) との判別および層 3.1(2) と層 3.2(2) との判別がやゝ困難箇所があった。

農耕休耕地と農耕放棄地の二次林化した箇所が大面積にあって、将来の土地利用形態が不明なためこれらはすべて農耕地に含めた。また農耕放棄地で二次林化した箇所と二次林の境界の判読は困難を極めたが、周辺の状況によって両者を区分した。

大標本地は上記の森林タイプ図上に 167 点のプロットを層面積と森林タイプ (内容) を考慮して各層内にランダムに配置した。

配置された大標本を航空写真上に配置した後、平均樹冠直径および樹冠疎密度を計測し、小標本の写真測定と同様な操作を行って両者の積 x'_h を算出した。各層ごとの平均判読値 x'_h は App. Table-33 に示した。

3.3.4. 森林タイプごとの面積の確定

層別および全林分蓄積の推定、さらに森林調査簿の作成には森林タイプ別の面積を測定する必要がある。このため、調査地の密着写真 (縮尺 1/26,880) 上に描画された森林タイプ区分線を縮尺 1/20,000 地形図に移写し、地形図上で森林タイプ別の面積を測定した。その結果は次表のとおりである。

Table-19 Area by forest type

Forest type		Area (ha)		
		Forest land	Left-over area	Total
Freshwater swamp forest	2.1(1)	1,107.93	11.65	1,119.58
	2.2(1)	3,780.18	2.63	3,782.81
	2.2(1. BX)	99.05		99.05
	2.2(1. S)	67.88		67.88
Peat swamp forest	3.1(1)	67.54		67.54
	3.1(1. BX)	360.49	0.46	360.95
	3.1(2)	2,033.69		2,033.69
	3.1(2. BX)	831.44		831.44
	3.2(2)	567.89	1.88	569.77
	3.2(2. BX)	606.54		606.54
	3.2(2. S)	28.67		28.67
	3.3(3)	583.51		583.51
	3.3(3. BX)	364.19		364.19
3.5(1)	391.34		391.34	
Mixed dipterocarp forest	5(2)	13,087.36	28.52	13,115.88
	5(2. BX)	8,770.35	8.10	8,778.45
	5(3)	358.70		358.70
	5(4)	1,848.89		1,848.89
	5(4. BX)	14.97		14.97
Secondary forest	8	1,057.31		1,057.31
	8(S)	67.49		67.49
Plantations	9	116.19		116.19
Cultivation, cleared land & village	10		14,752.55	14,752.55
Unstocked land & land slide	11		119.36	119.36
Sungai Belait			92.25	92.25
Total		36,211.60	15,017.40	51,229.00

3.3.5. 森林タイプごとの平均材積と全体蓄積の推定

森林タイプごとの材積と全体蓄積の把握は3.3.2. で述べたように複合回帰推定による層化二重抽出法によって行った。適用する直線回帰式は3.3.2.(2) の次式である。

$$y = 76.194 + 37.8457 \bar{x}_n$$

これは小標本の実測材積と写真判読値 x_n [平均樹冠直径階 Table-17 と樹冠疎密度階 Table-18 の積] から求めたものである。ここで \bar{x}_n を平均樹冠直径階と樹冠疎密度階の最低階の積 1 とした場合の推定材積は 114.04 m^3 となる。すなわち ha あたり 114.04 m^3 に満たない材積の異質な層は本式の適用外となる。林分を構成している21の層のうち2.2(1. S)、3.2(2. S)、8(S)の3層については層化二重抽出法が適用できず、直接航空写真から材積を判読した。他の

18層については上式による層化二重抽出法によって層別haあたり平均材積、総平均材積および全体蓄積の推定を行った。

層ごとのhaあたり平均材積は上記(2)式にApp. Table-33の平均写真判読値(\bar{x}_h)をあてはめて算出した。また層2.2(1.S)、3.2(2.S)、8(S)は目測値としてそれぞれ2.0 m³、15.0 m³、4.0 m³とした。

各層の平均材積の標準誤差計算は各層に割り当てられた小標本数が十分でないので、層内小標本の実測材積のRangeによって算出した。範囲Rの分布の標準誤差は次式によって得られる。

$$E(R) = d_2 \sigma$$

これにより σ の不偏推定値は R/d_2 によって求めることができる。係数 d_2 も分布型やnによって決定される値であってTable-20のとおりとなる。またRによる層ごとの標準誤差はTable-21のとおりである。

層2.1(1)と2.2(1)および3.1(1)と3.1(2)は森林タイプと材積がそれぞれ類似しているため両者を合わせて計算している。また層3.1(1.BX)は小標本地が1箇所のみで計算不能により棄却した。

層ごとのhaあたり平均材積(\bar{y}_h)の推定値および標準誤差(s_{y_h})はTable-22のとおりである。

Table-20 Coefficients(d_2) used for standard deviation calculation (Normal distribution)

n	d_2	Remarks
2	1.128	
3	1.693	
4	2.059	
5	2.326	
6	2.534	
7	2.700	
	

Table-21. Estimation of the standard error in mean stand volume

Stratum	Range of stand volume	Number of small sample plots(n)	d_2	$sy_h(R/d_2)$	$\bar{sy}_h(sy_h/\sqrt{n})$
2.1(1)	132.82	4	2.059	64.507	32.254
2.2(1)					
3.1(1)	272.29	5	2.326	117.064	52.353
3.2(1)					
3.2(2)	389.61	5	2.326	167.502	74.909
3.3(3)	185.95	4	2.059	90.311	45.156
3.5(1)	78.48	2	1.128	69.574	49.196
5(2)	243.95	7	2.700	90.352	34.150
5(2. EX)	198.12	4	2.059	96.222	48.111
5(4)	214.78	4	2.059	104.313	52.157
8	90.68	2	1.128	80.390	56.844
Total		37			

Table-22 Average stand volume by stratum

Forest type	Forest land		\bar{x}_h	\bar{y}_h (m ³ /ha)	$W_h \bar{y}_h$	$W_h \bar{x}_h$	Standard deviation (sy_h)	Standard error ($s\bar{y}_h$)	Rates of error $s\bar{y}_h/\bar{y}_h \times 100(\%)$
	N_h (Area)	$W_h = (N_h/N)$							
2.1(1)	1,107.93	0.0308	3.9	223.912	6.896	0.120	64.507	32.254	14.40
2.2(1)	3,780.18	0.1052	4.3	239.051	25.148	0.452	64.507	32.254	13.49
2.2(1.EX)	99.05	0.0028	2.0	152.006	0.426	0.006	—	—	—
3.1(1)	67.54	0.0019	6.0	303.388	0.576	0.011	117.064	52.353	17.26
3.1(1.EX)	360.49	0.0100	2.8	182.282	1.823	0.028	—	—	—
3.1(2)	2,033.69	0.0566	8.0	379.080	21.456	0.453	117.064	52.353	13.81
3.1(2.EX)	831.44	0.0232	3.4	204.990	4.756	0.079	—	—	—
3.2(2)	567.89	0.0158	6.4	318.527	5.033	0.101	167.502	74.909	23.52
3.2(2.EX)	606.54	0.0169	3.6	212.559	3.592	0.061	—	—	—
3.3(3)	583.51	0.0162	13.3	579.662	9.390	0.215	90.311	45.156	7.79
3.3(3.EX)	364.19	0.0101	3.9	223.912	2.261	0.039	—	—	—
3.5(1)	391.34	0.0109	9.0	416.925	4.544	0.098	69.574	49.196	11.80
5(2)	13,087.36	0.3642	7.9	375.295	136.682	2.877	90.352	34.150	9.10
5(2.EX)	8,770.35	0.2441	4.7	254.189	62.048	1.147	96.222	48.111	18.93
5(3)	358.70	0.0100	9.0	416.925	4.169	0.090	—	—	—
5(4)	1,848.89	0.0515	10.4	469.909	24.200	0.536	104.313	52.157	11.10
5(4.EX)	14.97	0.0004	4.0	227.697	0.091	0.002	—	—	—
8	1,057.31	0.0294	2.4	167.144	4.914	0.071	80.390	56.844	34.01
Total(18)	35,931.37	1.0000			318.005	6.386			
2.2(1.S)	67.88			2.00					
3.2(2.S)	28.67			15.00					
8(S)	67.49			4.00					
9(PL)	116.19								

haあたり材積が最も多い森林タイプは層3.3(3)のAlan bunga林でhaあたりの材積は 580 m³、誤差率は7.79%で材積のバラツキが最も少ない。次いで材積の多い森林タイプは混交フタバガキ科林の層5(4)であり、同じく層5(3)、Padang alan 林 層3.5(1)の順となる。現在プランテーションの造成が進行されている周辺林分は層5(2, EX) であって、このhaあたり材積を算出すると 254,189 ± 2 × 18,93 ≒ 216 ~ 292 となり 216 m³から 292 m³の範囲内にあると推定される。

層化二重抽出法の適用地域全体のhaあたり平均材積、すなわち母集団の y_i の平均値 \bar{Y} の推定値は次式で求められる。

$$\bar{y}_{i,r} = \bar{y} + b (\bar{x}' - \bar{x}) \dots\dots\dots (3)$$

\bar{y} 、 \bar{x} 、b はそれぞれ次式によって小標本から計算される。

$$\bar{y} = \sum y_i / n \quad \bar{x} = \sum x_i / n \quad b = S_{xy} / S_{x^2}$$

\bar{x}' は大標本からの x_i の母平均 \bar{X} の推定量である。

$$\bar{x}' = \sum N_h \cdot \bar{x}_h / N = \sum w_h \cdot \bar{x}_h$$

N_h : 層 h の面積 (h = 1 ~ L)

N : 層ごとの面積の合計

\bar{x}_h : 層 h の平均判読値

$\bar{y}_{i,r}$ の母分散は 1/n が無視できる場合は次の近似式を適用する。

$$\sigma^2 \bar{y}_{i,r} \approx \sigma^2 y (1 - \rho^2) / n + \rho^2 \sigma^2 y / n'$$

上式で $\sigma^2 y$ は y_i の母分散、 ρ は x_i と y_i の母相関係数である。

この分散の標本からの不偏推定量は次式によって求められる。

$$s^2 \bar{y}_{i,r} = s^2 y \cdot x / n + (s y^2 - s^2 y \cdot x) / n' \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式の s² y · x は残差分散であり、s² y は y_i の標本分散であって次のとおりである。

$$s^2 y \cdot x = \frac{1}{n-2} (S y^2 - b S x \cdot y)$$

$$s^2 y = S y^2 / (n-1)$$

本森林調査では小標本の数が小さく 1/n が無視できないので、分散の標本からの不偏推定量は次式によって求めた。

$$s^2 \bar{y}_{i,r} = s^2 y \cdot x \left\{ \frac{1}{n} + \frac{(\bar{x}' - \bar{x})^2}{S x^2} \right\} + \frac{(s^2 y - s^2 y \cdot x)}{n'} \dots (5)$$

小標本および大標本のデータを (3) 式および (5) 式に当てはめ ha あたり平均材積 ($\bar{y}_{i,r}$) とその分散 (s² $\bar{y}_{i,r}$) を計算すると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}\bar{y}_{i,r} &= y + b (\bar{x}' - \bar{x}) \\ &= 369.12 + 37.8457 (6.386 - 7.74) \\ &= 317.877\end{aligned}$$

$$s^2 y = S y^2 / (n - 1) = 750,648.5444 \div 37 = 20,287.7985$$

$$\begin{aligned}s^2 y \cdot x &= (S y^2 - b S x y) / (n - 2) \\ &= (750,648.5444 - 37.8457 \times 15,190.06263) / (38 - 2) \\ &= 4,882.4998\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s^2 \bar{y}_{i,r} &= s^2 y \cdot x \left\{ \frac{1}{n} + \frac{(\bar{x}' - \bar{x})^2}{S x^2} \right\} + \frac{(s^2 y - s^2 y \cdot x)}{n'} \\ &= 4,882.4998 \left\{ \frac{1}{38} + \frac{(6.386 - 7.74)^2}{401.3684} \right\} + \frac{20,287.7985 - 4,882.4998}{167} \\ &= 243.03575\end{aligned}$$

$$s \bar{y}_{i,r} = \sqrt{s^2 y_{i,r}} = 15.5896 \quad \text{: Standard error}$$

自由度 (n - 2) = 36、信頼度95%の t 表の値は2.029 であるのでhaあたり平均材積の信頼限界は次のとおりとなる。

$$317.88 \pm 2.029 \times 15.590 = 317.88 \pm 31.632$$

また誤差率は $31.63 \times 100 / 317.88 = 9.95\%$ である。

したがってhaあたり平均材積は約10%の誤差率で、286 m³から 350 m³の範囲内にあると推定された。

全体の総蓄積は次により計算される。

$$35,931.37\text{ha} \times (317.88 \pm 31.632) \text{ m}^3 = 11,421,863.90 \text{ m}^3 \pm 1,136,509.23 \text{ m}^3$$

..... (誤差率9.95%)

これに目測推定した3層を加えると次のとおりとなる。

$$2.2(1.S) \quad 67.88\text{ha} \times 2.00 \text{ m}^3 = 135.76 \text{ m}^3$$

$$3.2(2.S) \quad 28.67\text{ha} \times 15.00 \text{ m}^3 = 430.05 \text{ m}^3$$

$$8(S) \quad 67.49\text{ha} \times 4.00 \text{ m}^3 = 269.96 \text{ m}^3$$

$$\text{Total} \quad \quad \quad 835.77 \text{ m}^3$$

総蓄積はこれら両者を合計して11,422,700 m³となった。なお層別の面積と蓄積は Table-23 に示した。

Table-23 Area and stand volume by stratum

Forest type	Stratum	Area ha	Stand volume m ³
Freshwater swamp forest	2.1(1)	1,107.93	248,078.82
	2.2(1)	3,780.18	903,655.81
	2.2(1. EX)	99.05	15,056.19
Peat swamp forest	3.1(1)	67.54	20,490.83
	3.1(1. EX)	360.49	65,710.84
	3.1(2)	2,033.69	770,931.21
	3.1(2. EX)	831.44	170,436.89
	3.2(2)	567.89	180,888.30
	3.2(2. EX)	606.54	128,925.54
	3.3(3)	583.51	338,238.57
	3.3(3. EX)	364.19	81,546.51
	3.5(1)	391.34	163,159.43
Mixed dipterocarp forest	5(2)	13,087.36	4,911,620.77
	5(2. EX)	8,770.35	2,229,326.50
	5(3)	358.70	149,551.00
	5(4)	1,848.89	868,810.05
	5(4. EX)	14.97	3,408.62
Secondary forest	8	1,057.31	176,723.02
2.2(1. S)	2.2(1. S)	67.88	135.76
3.2(2. S)	3.2(2. S)	28.67	430.05
8(S)	8(S)	67.49	269.96
T o t a l	T o t a l	36,095.41	11,427,394.67

'Notes' EX : Exploited forest

S : Sparse density

Table-23 の蓄積の総計は総蓄積の推定式で算出した値と約 4,700 m³、0.04%程度の違いが生じているが、これは計算手順の異なりから発生したものである。

3.4. 森林調査結果の考察

航空写真判読による森林タイプ区分、小標本地の選定、大標本地のランダム抽出と写真判読等当満足できる各種作業によって当初期待した精度を上回る成果が得られた。すなわち調査設計段階におけるhaあたり平均材積および総蓄積の推定精度は信頼限界80%、誤差率20%を目標に置いたが、結果として蓄積推定精度は信頼限界95%、誤差率10%で推定することができた。

これは雲量0のクリアーな仕上がりの航空写真の判読によるところが大きい。次に小標本地数が当初予定を上回って38点調査できたことと大標本地 167点が設定できたことがあげられる。熱帯降雨林の蓄積調査としては非常に高い精度の成果が得られたと思料する。

次に現地調査の結果から得た各森林タイプの特徴と今後森林施業を実施するうえの所見を述べることとする。

淡水湿地林の特に2.1(1)タイプは混交フタバガキ科林内の沢筋に侵入しており、この林分は溪岸保全ため存置する必要性が高い。外縁の混交フタバガキ科林を皆伐した場合、侵食土壌が本林分内に流出堆積し、堆積量が多い場合は立木が枯損する危険性が極めて高い。

泥炭湿地林、層3.1 および 3.2タイプは材積等森林内容の層内変動が比較的大きいが立地条件の共通する場合が多い。このような立地条件で排水が良好な箇所では農耕地やゴムのプランテーションが分布している場合があり、Kapur paya等好湿地性の樹種の造林対象地となり得る。

層8の二次林は概して混交泥炭湿地林の跡地に成立している場合が多い。現状は小径木(DBH:40cm以下)で構成されているが、商業樹種の後継樹が多く含まれている場合もあり、これらの樹種を積極的に育成するような森林施業も導入することを提案したい。

Alan bunga林、層3.3(3)はAlanだけの単層林冠を形成し、下層はAlanの後継樹が成育していない。Alan bunga林の択伐後18年程度経過した箇所における後継樹種はKapur paya等Alan以外の多様な樹種が成育しており、Alan bunga林の更新の難しさが窺い知れた。

Padang alan 林、層3.5(1)はAlan bunga林と異なり中下層はAlanの小中径木が成育している。択伐など適切な森林施業により天然更新の可能性を示している。

低地混交フタバガキ科林、層5(2, BX) は伐採方法や伐採率、また伐採後の経過年数等により、材積の層内変動が大きい。〔Table-22 参照〕材積の少ないプロットではhaあたり 210m³程度であるが、中下層には商業樹種が成育している箇所も少なくない。プランテーションの造成には本森林タイプが適しているが、これら商業樹種の保残について配慮したい。

低地混交フタバガキ科林、層5(2)、5(3)、5(4)はAlan bunga林に次いで高い材積をもつ森林タイプである。林型は上層、中層、下層の3層を形成している。上層はフタバガキ科の樹種が優占し、中下層にもフタバガキ科を含む商業樹種が成育している。上層林冠が疎開した部分には稚樹の発生がみられる。この森林タイプは適切な森林施業によって持続的に森林組成の維持を図りたいものである。

3.5. 植生図

本報告書でいう植生図とは農耕地等土地利用状況も含めた森林タイプの分布を示す図面のことである。植生図は縮尺20,000分の1で5シートからなっている。

森林区画をすることに当たってはDaerah Tutong とDaerah Belait を分け、それぞれ森林タイプ(農耕地等も含む。)ごとに区画した。森林区画の中には数千ヘクタールに及ぶものがある。この場合は尾根筋等天然の地形によって分割するのが妥当であるが、地形が全般的に小起

伏波状であって地形による区画が困難であった。区画の最少面積は概ね 5 ha 程度とし、原則的に時計廻りに連番をふった。森林区画ごとに森林区画番号と森林タイプ記号を併記した。

1,000 番台はDaerah Tutong、2,000 番台はDaerah Belait である。森林タイプ記号および内容については3.2.4.「標本地調査結果の分析」で記載したほか、植生図にも凡例で示している。

森林以外（除地）の区画はそれぞれ 500番台としている。調査地内のBelait川河川敷は区画したが区画番号は付していない。その他の河川敷および道路は区画内の除地とし、森林調査簿にその面積を記載している。

4. 土壌調査

4.1. 現地調査

4.1.1. 調査箇所の選定

事前の現地調査およびヘリコプターによる空中査察により、現地へのアクセスの現状を調べたが、モデルプランテーションエリアの中部から南には、車で通れる道路は中央部のMerangking から南のBuauへ向かって建設中の道路が一本あるのみで、これは乾燥時には通行が可能であるが、雨が降ると四輪駆動車でも走行が困難となるような状態である。この他には、車の入れる道路は皆無で、南部地区のアクセスとしては川の流れを利用してボートで入り、あとは徒歩による移動となる。

第2フェーズ(1992年8月～9月)では、撮影された航空写真により詳細な微地形、歩道等の判読を試みたが、林相の中に覆い隠されて不明な点が多く、詳細な地形の区分は困難であった。けれども、既存の5万分の一地形図、土壌図(Brunei Agriculture and Forestry Development Study : Soil Survey, Inter-Riverine Zone, ULG, 1982)と航空写真を対比しながら、代表的な土壌タイプと地形に対応する調査地点を、調査日程とアクセスを考慮して決定した。

まず、調査区域の西側を流れるBelait川を溯り、支流のSg. Buauに入り、Buauの集落に行き、そこを拠点にして、調査を開始する予定であったが、Sg. Buauの水量が少なく、川を溯ることが出来なかったので、Belait川とSg. Buauの合流点近くに拠点を設置し、Sg. Buau流域の低地から丘陵地にかけて6箇所の調査地点を設定した。また、Belait川とSg. Buau合流点よりBelait川下流の右岸に位置するApak-Apakの集落近くの低地(Peat Swamp)と丘陵地の2箇所を調査地点とした。

調査の後半は、調査区域の東側を流れるTutong川を溯り、上流左岸にあるBelabauの集落を拠点として西方のSupon Kechil周辺の丘陵地、Sg. Supon源流付近の低地に4箇所の調査地点を設定した。最後に、調査区域のほぼ中央部を南下している建設中の道路(MerangkingからBuauおよびApak-Apakに向けて)に入り、起伏の多い丘陵地の尾根部分、Belait川支流の小河川源流域の低地など5箇所に調査地点を設定した。

第3フェーズ(1993年6月～7月)の調査では、モデルプランテーションエリアの二万分の一地形図が完成したことにより、詳細な地形図の使用が可能になり、これと航空写真を対比しながら、代表的な土壌タイプと地形に対応すると考えられる調査地点を、調査日程とアクセスを考慮して決定した。

まず、調査区域の北西部の起伏の多い丘陵地の既伐採地から6箇所。Belait川西岸地区を除くBukit Sawat地区で丘陵地および低地で6箇所。次にBelait川西岸に位置しているSg. Bang TajokとSg. Malayanに囲まれた起伏の多い丘陵地と低湿地の中から5箇所。前回は調査の拠

点としたBelait川をボートで遡った Apak-Apak周辺で、川沿いの低地、Peat Swamp、丘陵地などで6箇所を調査地点とした。

調査の後半は、調査区域の中でも比較的標高差の大きい丘陵地であるDaerah Tutong に属しているUkong 地区で9箇所。Tasek Merimbunに近いRambai地区の北部に2箇所の調査地点を設定した。

第3フェーズの調査地点は、Apak-Apak 地区を除き自動車利用の可能な地区であったので、できるだけ広い地区をカバーすることができた。

1993年9月の補完調査では、現地へのアクセスが不良のため、今まで調査出来なかった南部地区のDaerah Belait とDaerah Tutong の境界付近へ、川の水量が豊富になり、現地に近いところまでボートが入れることが可能になったので、調査地点を設定することとした。

そこで、Belait川支流のSg. Buauを遡り、さらに支流のSg. Sagat へ入り、Buau school を拠点として、境界付近まで徒歩で入り調査することとした。境界に近い奥地の丘陵部と低地に4箇所、またBuauに近いところの低地に2箇所の調査地点を設定した。

その他、補完調査として、調査区域北部のUkong 地区の丘陵部から低地にかけての土壌タイプの変化、Bukit Sawat 地区の低地部の土壌タイプについて、ボーリング調査を実施した。

全調査地点の分布を Figure-16 に示す。

4.1.2. 調査方法

調査地点に到着したら、周辺の微地形、植生等から代表的調査地点となる場所を決定し、土壌断面調査用の試坑を掘る。続いて試坑内に土壌を観察するための垂直な断面を設定する。土壌調査用の標準断面としては、一般に幅1m、深さ1～1.5m位必要となるが、それより浅い所に基岩がある所では、試坑の深さはそこまでとする。そして、土壌断面の反対側に、調査作業用の数段の階段を作る。

素堀りが終わったら、土壌調査用のコテや剪定鋏などを用いて、調べようとする断面内のスコップの跡を削ったり、植物の根などを切り揃えたりして、観察断面を平滑に調整する。

土壌断面の調整が終わったら、スケールを断面の左側に立てかけ、調査地名および調査年月日などを記入した札を上置いて写真撮影を行う。

続いて、断面のスケッチ、層位の区分、土色、土性、堅密度、石礫や根の分布状態などを断面記載用紙に記載する。断面記載用紙のサンプルは App. Figure-2 に示す。

土壌断面調査項目および記載内容は、FAO発行のGuidelines for soil profile description (2nd ed. 1977) に準拠し、具体的な項目、記載記号を App. Table-34 に示す。なお、代表調査地点における植生（樹木名など）、土地利用状況なども記載する。

この他、検土杖を併用した簡易試坑を行い、土壌区分の境界地点の決定と土壌図作成のため

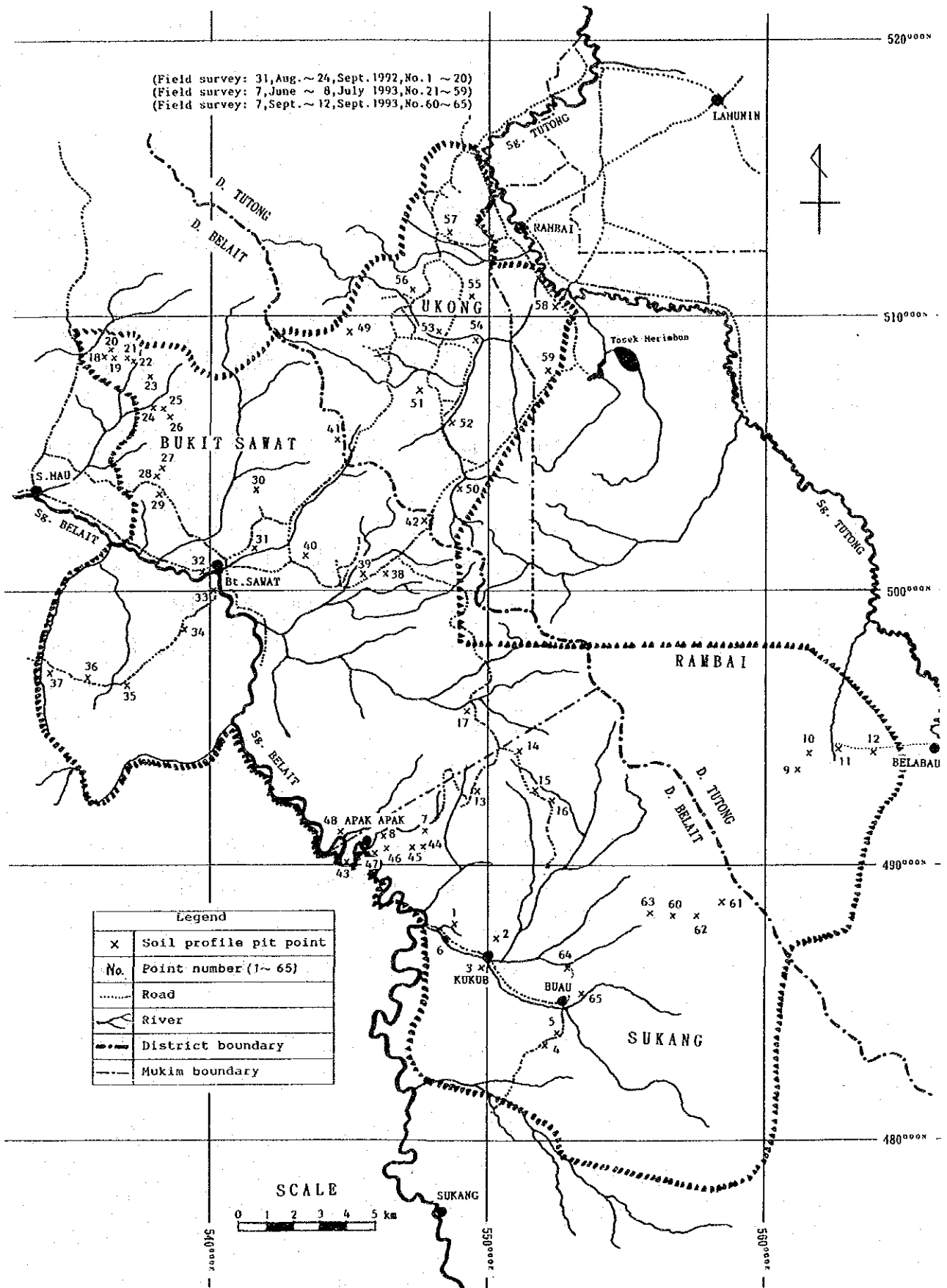


Figure-16 Location of soil survey points

の調査の補完とする。

4.2. 土壌調査の結果

4.2.1. 土壌の特徴

第2フェーズの調査結果では、区域には関係なく、土壌タイプの分布は地形との相関が大きく、また、泥炭湿地林を除いては植生との相関は判然としなかった。

第2フェーズ調査のBelait川とTutong川に挟まれた南部地区は、地形的には大部分が標高の低い波状丘陵地、台地からなり、それらの丘陵地を開析している小河川流域の低地とBelait川周縁部の低湿地、河岸段丘などとなっている。

土壌の特徴としては、それぞれの地形区分に対応する土壌タイプの分布が認められ、丘陵部は主として赤黄色ポドソル性土壌で、FAO/UNESCO方式の分類による大分類でみるとAcrisols（粘土集積低飽和赤色土壌）を主とし、それにCambisols（淡黄色変成土壌）、Gleysols（地下水成還元土壌）などの混在が認められた。低湿地および谷部分では、泥炭の集積が認められ、沖積土壌、還元土壌、有機質土壌および丘陵部の赤黄色ポドソル性土壌との混在した土壌で、FAO/UNESCO方式の分類でみるとHistosols（有機質土壌）、Gleysols（地下水成還元土壌）を主として、それにCambisols（淡黄色変成土壌）、Acrisols（粘土集積低飽和赤色土壌）の混在が認められ、また、一部ではFluvisols（流積土壌）も認められた。その他にケランガスと呼ばれる石英砂の堆積土壌が認められたが、FAO/UNESCO方式の分類によると、Arenosols（石英砂質土壌）となる。

第3フェーズの調査結果でも、第2フェーズと同様に土壌タイプの分布は地形との相関が大きかった。第3フェーズ調査のBelait川とTutong川に挟まれた北部地域は、第2フェーズ調査の南部地域より比較的標高も高く、地形的には大部分が起伏の多い波状丘陵地からなり、それらの丘陵地を開析している小河川流域の低地とBelait川とTutong川周縁部の低湿地、河岸段丘などとなっている。

土壌の特徴としては、第2フェーズと同様にそれぞれの地形区分に対応する土壌タイプの分布が認められた。

補完調査での南部地区の奥地は、地形的には大部分が標高の低いやや緩やかな波状丘陵地、それらを開析している小河川流域の低地と源流部の凹地などとなっている。

土壌の特徴としては、丘陵地、低地とも、主としてそれぞれの地形区分に対応する土壌タイプの分布が認められた。

モデルプランテーションエリアの全区域に分布している土壌タイプは、FAO/UNESCO方式の分類によるAcrisols（粘土集積低飽和赤色土壌）、Arenosols（石英砂質土壌）、Cambisols

(淡黄色変成土壌)、Fluvisols (流積土壌)、Gleysols (地下水成還元土壌)、Histosols (有機質土壌) の6主要土壌群が確認された。また中分類の土壌単位 (Soil unit) では14unitが確認された。それぞれの調査地点における分類は、単独の土壌単位で示されるが、複数の土壌単位の混在、包含の形で表現されるところもある。

モデルプランテーションエリアに出現した土壌の種類
(FAO/UNESCO方式分類による)

土壌単位 (Soil unit)	記号 (Symbol)
Ferric Acrisols	ACf
Gleyic Acrisols	ACg
Haplic Acrisols	ACH
Plinthic Acrisols	ACp
Albic Arenosols	ARa
Chromic Cambisols	CMx
Dystric Cambisols	CMd
Gleyic Cambisols	CMg
Dystric Fluvisols	FLd
Dystric Gleysols	GLd
Butric Gleysols	GLE
Mollic Gleysols	GLm
Fibric Histosols	HSf
Terric Histosols	HSs

全調査地点の土壌断面の分類一覧を、App. Table-35 に示す。

4.2.2. 土壌分類の基本的考え方

本調査の土壌図作成に使用する土壌分類の基本は、FAO/UNESCO: Soil map of the world, Legendによって行う。しかし、このLegendもその後の世界各地での新しい研究、情報により修正が加えられ、1988年にFAO/UNESCO: Soil map of the world, Revised Legend が発表されたので、土壌図作成、土壌分類の解説は、最新の資料に基づいておこなうこととする。

従来、熱帯土壌についての分類には、各国、各地域の熱帯土壌研究が個々バラバラにおこなわれていたことと、共通の用語が用いられず成果が集積されていたため、諸地域における相互の比較対照ができないような状態におかれていた。こういう状況を打開して、世界共通で統一的に使える土壌分類と命名の方法を設定すべく努力がなされた結果が、FAO/UNESCOの世界土壌図の完成と世界土壌図の図示単位に用いられているSoil Unit (土壌単位) の命名法と定義の設定である。FAO/UNESCO方式の分類では、今までの特徴土壌の生成を支配している気候のよう

な外的因子よりも、土壤に内在する特性に基づき、土壤の断面形態、物理的、化学的、生物的諸性質ならびに、これらと調和して全体を構成する、あるいは相互に説明しうる性質が区分原理として用いられている。1974年にFAO/UNESCOが発表した世界土壤図：第1巻にLegendがあり、1979年にでた世界土壤図第9巻-東南アジアの部にBruneiの土壤が初めてFAO/UNESCOの分類方式で示されている。

それによると、Bruneiの沿岸低地部がOd20-a、内陸部がAo106-2/3b、奥地部がAo104-2/3c、と3種の土壤群の記号で示されている。記号Od20-aは、Od(Dystric Histosols貧栄養的有機質土壤)を主とし、これに付随する土壤としてGh(Humic Gleysols 腐植性還元土壤)、その他に包含する土壤としてR(Regosols 岩屑土壤)、Jd(Thionic Fluvisols硫化性流積土壤)が含まれていることを示しており、記号aは傾斜がほぼ平坦であることを示している。記号Ao106-2/3bは、Ao(Orthic Acrisols正常粘土集積低飽和赤色土壤)を主とし、Af(Ferric Acrisols富鉄粘土集積低飽和赤色土壤)、L(Luvisols 粘土集積高飽和赤褐色土壤)が付随し、Gd(Dystric Gleysols貧栄養的還元土壤)を包含していることを示し、2/3bは土性が中・細粒で、傾斜が波状ないし丘陵状であることを示している。記号Ao104-2/3cは、Ao(Orthic Acrisols正常粘土集積低飽和赤色土壤)を主とし、Ah(Humic Acrisols 腐植性粘土集積低飽和赤色土壤)、Bd(Dystric Cambisols貧栄養的淡黄色変成土壤)、Bc(Chromic Cambisols彩色淡黄色変成土壤)、Ag(Gleyic Acrisols還元性粘土集積低飽和赤色土壤)を包含していることを示し、2/3cは土性が中・細粒で、傾斜が急峻開析状ないし山岳状であることを示している。

1988年に発表されたFAO/UNESCOのSoil map of the world : Revised LegendでSoil Unitに改訂があり、記号等に変更(削除、新規追加等)があったので、Soil map of the worldのBruneiの土壤分類を、新しいSoil Unitに書き換えると次のようになる。この中で、Brunei沿岸低地部のRegosolsは、石英砂のケランガスを対象にしているのであれば、Arenosols(石英砂質土壤)とするのが適している。

1974年Legendによる分類	1988年Revised Legendによる分類
Brunei沿岸低地部 (Od20)	
Od(Dystric Histosols)	→ Hsf(Fibric Histosols) HSs(Terric Histosols) HSt(Thionic Histosols)
Gh(Humic Gleysols)	→ GLu(Umbric Gleysols)
R(Regosols)	→ RGd(Dystric Regosols) → ARa(Albic Arenosols)
Jd(Thionic Fluvisols)	→ FLt(Thionic Fluvisols)
Brunei内陸部 (Ao106)	
Ao(Orthic Acrisols)	→ ACh(Haplic Acrisols)
Af(Ferric Acrisols)	→ ACf(Ferric Acrisols)
L(Luvisols)	→ LVh(Haplic Luvisols)

Gd(Dystric Gleysols)	→	GLd(Dystric Gleysols)
Brunei奥地部 (Ao104)		
Ao(Orthic Acrisols)	→	ACh(Haplic Acrisols)
Ah(Humic Acrisols)	→	ACu(Humic Acrisols)
Bd(Dystric Cambisols)	→	CMd(Dystric Cambisols)
Bc(Chromic Cambisols)	→	CMx(Chromic Cambisols)
Ag(Gleyic Acrisols)	→	ACg(Gleyic Acrisols)

本調査で出現した主要土壌群と土壌単位の名称の由来について、FAO/UNESCO : Soil map of the world, Revised Legend の説明を次に示す。

Formative elements used for naming Major Soil Groupings (level 1)

- ACRISOLS : from L. acer, cetum, strong acid; connotative of low base saturation.
- ARENOSOLS : from L. arena, sand; connotative of weakly developed coarse textured soils.
- CAMBISOLS : from late L. cambiare, to change; connotative of changes in colour, structure and consistence.
- FLUVISOLS : from L. fluvius, river; connotative of alluvial deposits.
- GLEYSOLS : from Russian local name gley, mucky soil mass; connotative of an excess of water.
- HISTOSOLS : from Gr. histos, tissue; connotative of fresh or partly decomposed organic material.

Formative elements used for naming Soil Units (level 2)

- ALBIC : from L. albus, white; connotative of strong bleaching.
- CHROMIC : from Gr. chromos, colour; connotative of soils with bright colours.
- DYSTRIC : from Gr. dys, ill, dystrophic, infertile; connotative of low base saturation.
- EUTRIC : from Gr. eu, good, eutrophic, fertile; connotative of high base saturation.
- FERRIC : from L. ferrum, iron; connotative of ferruginous mottling or an accumulation of iron.
- FIBRIC : from L. fibra, fibre; connotative of weakly decomposed organic material.
- GLEVIC : from Russian local name gley, mucky soil mass.
- HAPLIC : from Gr. haplous, simple; connotative of soils with a simple, normal horizon sequence.
- MOLLIC : from L. mollis, soft; connotative of good surface structure.

PLINTHIC : from Gr. plinthos, brick; connotative of mottled clay materials which harden irreversibly upon exposure.

TERRIC : from L. terra, earth; connotative of well decomposed and humified organic materials.

4.3. 土壌図

4.3.1. 土壌図の作成

土壌図は、モデルプランテーションエリアの1992年作成の、縮尺二万分の一地形図を基図として作成した。土壌図は、地形図・植生図と同様に5シートからなっている。

モデルプランテーションエリアの土壌調査結果から、FAO/UNESCO: Soil map of the world, Revised LegendによるMajor soil groupとSoil unit に分類された区分に、さらに粒形組成クラスと傾斜クラスを付加したものを図示単位とした。しかし、モデルプランテーションエリア内には、単一の土壌単位あるいはいくつかの土壌単位の混在したものや、包含したものもあり、それらを識別するため、土壌図のsoil unit を色ベタ、クロス、水平線、ドットで色分けした中に記号で表現した。

4.3.2. 土壌図の解説

本調査で出現した主要土壌群および土壌単位の特徴とそれらの識別について、FAO/UNESCOのSoil map of the world, Revised Legend の定義を次に示す。

ACRISOLS (AC) : Acrisolsはargic B層をもち、表面下 125cmのB層中の少なくとも下部で、酢酸アンモニウム抽出法による塩基飽和度が50%以下のもの。透水性の遅い層上にはE層はなく、粘土の分布パターンおよび舌状侵入などのPlanosols, Nitosols, Podzoluvisolsの特徴的様相はもたない。

Ferric Acrisols (ACf) : 有機物の含量は高くなく、表面下 125cm以内にferricの性質をもち、表面下 125cm以内にplinthite を欠き、表面下 100cm以内にgleyicの性質を欠く。

Gleyic Acrisols (ACg) : 表面下 100cm以内にgleyicの性質をもち、表面下 125cm以内にplinthiteを欠く。

Haplic Acrisols (ACH) : 有機物の含量は高くなく、ferricの性質を欠き、表面下 125cm以内に、plinthiteを欠き、表面下 100cm以内にgleyicの性質を欠く。

Plinthic Acrisols (ACp) : 表面下 125cm以内にPlinthiteをもつ。

ARENOSOLS (AR) : 少なくとも表面下 100cmの深さが砂壤土 (SL) 以上の粗粒で、表面下すべての層の岩屑物や粗屑物が、fluvicやandic の性質のものを除いて、35%以内であり、ochric A層やalbic E層以外の特徴層位をもたない。

Albic Arenosols (ARa) : 表面から 125cm以内に最小50cmの厚さのalbic E層をもち、表面下 100cm以内にgleyicの性質を欠き、石灰質でない。

CAMBISOLS (CM) : cambic B層をもち、塩基飽和度50%以下のcambic B層の上には、ochricやumbric A層またはmollic A層以外の特徴層位をもたない、salicの性質を欠き、Vertisols またはAndosols特有の性質をもたない。

Chromic Cambisols (CMx) : ochric A層をもち、表面から少なくとも20~50cmの間では塩基飽和度が50%かそれ以上であるが、その部分は石灰質でない、濃褐色~赤色のcambic B層をもち、cambic B層内にferralicの性質を欠き、表面下100cm以内にgleyicの性質を欠き、表面下 200 cm以内に永久凍結層を欠く。

Dystric Cambisols (CmD) : ochric A層をもち、表面から少なくとも20~50cmの間で塩基飽和度が50%未満で、verticの性質を欠き、cambic B層中のferralicの性質を欠き、表面下100 cm以内にgleyicの性質を欠き、表面下 200cm以内に永久凍結層を欠く。

Gleyic Cambisols (CMg) : 表面下 100cm以内にgleyicの性質が見られ、表面下 200cm以内に永久凍結層を欠く。

FLUVISOLS (FL) : fluvicの性質が見られ、表面下125cm以内にochric、mollic、umbric A層、あるいはhistic H層、sulfuric層、硫化物以外の特徴層位をもたない。

Dystric Fluvisols (FLd) : 表面から25~50cmの間では塩基飽和度が50%以下で、表面下 125 cm以内にsulfuric層、硫化物を欠く。

GLEYSOLS (GL) : 粗粒物質を除いた非固結物質から生成し、表面下50cm以内にgleyicの性質が見られるfluvicの性質を示す沖積堆積物で、A層、histic H層、cambic B層、sulfuric層、calcic層、gypsic層以外の特徴層位をもたない、Vertisols またはArenosols の特徴的な性質を欠く、salic の性質を欠く、表面下 125cm以内にplinthite を欠く。

Dystric Gleysols (GLd) : 表面から少なくとも20~50cmの間で塩基飽和度が50%以下であり、ochric A層とcambic B層以外の特徴層位をもたない、andic の性質を欠く、表面下 200cm以内に永久凍結層を欠く。

Eutric Gleysols (GLE) : 表面から少なくとも20~50cmの間で塩基飽和度が50%またはそれ以上で、ochric A層とcambic B層以外の特徴層位をもたない、andic の性質を欠く、表面下 200 cm以内に永久凍結層を欠く。

Mollic Gleysols (GLm) : mollic A層またはeutric histic H層をもち、andicの性質を欠き、表面下 200cm以内に永久凍結層を欠く。

HISTOSOLS (HS) : 40cmかそれ以上の有機物層をもち、それが表面から下方に伸びているか、全体として土壌の上部80cmを占め、H層の厚さは岩石上にあるか、または隙間が有機物で満た

されている碎屑物の上にある場合は薄い。

Fibric Histosols (HSf) : 生または低分解有機物、それらの繊維含量が表面から35cmまたはそれ以上である、非常に排水が不良か排水されない、表面下 125cm以内にsulfuric層や硫化物を欠き、表面下 200cm以内に永久凍結層を欠く。

Terric Histosols (HSs) : 明らかな植物繊維の強還元による高分解有機物と、表面から35cmまたはそれ以上の深さで極暗グレイ色～黒色で、排水が出来ないか非常に不良で、表面下125cm以内にsulfuric層または硫化物を欠き、表面下 200cm以内に永久凍結層を欠く。

特徴層位についての説明は、App. Table-36 に示す。

(注) Plinthite : Iron-rich clay with quartz, commonly red mottles, Irreversible change to ironstone on drying. Low organic matter.

各土壌タイプのモデルプランテーション・エリア内における分布を、次に示す。

Ferric Acrisols : Ferric Acrisolsは、モデルプランテーション・エリアの丘陵地の比較的標高の高いところに広く分布している。また、Haplic Acrisols と混在しており、一部ではGleyic Acrisols, Albic Arenosolsとの混在も認められる。

モデルプランテーション・エリアの中央部 (Bukit Sawat とSukang地区の境界付近の開発道路周辺)、北西部 (Bukit Sawat 地区のSg. Mau 上流Plantation Area)、Tasek Merimbun近くのRambai地区などの起伏の大きい丘陵地や尾根部分には、粗粒質 (sandy)のFerric Acrisolsが多く分布している。これらの地区では傾斜も可成り強いので、森林開発による土壌侵食の危険性が大きい。Belait川左岸のBukit Sawat 西部地区に分布しているFerric Acrisols は、細粒質で、また、Sukang南部、Rambai南部地区では中粒質で、モデルプランテーション・エリアの中では、比較的土壌状態は良好である。しかし、起伏の多い傾斜地も可成りあるので、森林開発には土壌保全を考慮すべきである。

Haplic Acrisols : Haplic Acrisolsは、Ferric Acrisols と同様に丘陵地に広く分布しており、Ferric Acrisols と混在しているものが多い。

Bukit Sawat のSg. Mau 上流Plantation Area, Merangking 周辺の中央部、Sukang 地区の一部には、粗粒質のHaplic Acrisols が分布していて、Ferric Acrisols と同様に、土壌侵食の危険がある。他の地区では、中粒～細粒質のHaplic Acrisols が分布している。

Haplic Acrisols は、Histosols を除いた土壌群の中では、土壌のpHが低く、可成り酸性の強い土壌が多く、塩基の溶脱も進んでいて、生産力の低い土壌である。したがって、Haplic Acrisolsの中でも、とくに強い酸性を示す土壌 (粗粒質のところが多い) を造林地とする場合には、酸性に強い樹種の選択が必要である。また、Ferric Acrisols の場合も同様のことが言える。

Gleyic Acrisols : Gleyic Acrisolsは、丘陵地斜面の低部の一部に分布が認められており、Ferric Acrisols との混在などもある。また、中小河川沿いの低地部ではDystric GleysolsやFibric Histosolsなどとの混在も認められ、地下水の影響を受けるような場所に出現している。分布地区は、一定せず散在している。

Plinthic Acrisols : Plinthic Acrisolsは、モデルプランテーション・エリア中央から南部の、Buauへの開発道路沿いの丘陵地斜面の低部で認められただけなので、各地区に存在しても、分布は僅かで部分的なものである。

Albic Arenosols : Albic Arenosolsは、モデルプランテーション・エリア内での分布は、比較的少なく、北西部のBukit Sawat に主として分布しており、他の地区では僅かに散在している。また、他の土壌タイプの断面の中に、石英砂の堆積層や混在しているものが可成り散見される。これらは、土壌断面の主体となる特徴層位を基として土壌分類をすると、Arenosols にならない場合が多い。

Albic Arenosols は、貧栄養土壌であるので、造林地とする場合には、適樹種の実験が必要である。また、Arenosols が混在している場合も、同様のことが言える。Arenosols は、石英砂の粗粒質土壌であるので、傾斜地での土壌侵食の危険性は大きい。

Chromic Cambisols : Cambisolsの分布は、Acrisolsと同様にモデルプランテーション・エリア全般に広く、丘陵地の低地部分、丘陵地を開析している小河川流域の周辺に多い。

Chromic Cambisols は、南部地区のSg. Buauとその支流の小河川周辺低地部で、排水の比較的良好なところに分布が認められた。

Dystric Cambisols : Dystric Cambisolsは、主に丘陵地の斜面や低地部に分布し、一部はHaplic Acrisols と混在している。また、河川流域周辺の低地部では、Dystric Fluvisols、Gleyic Cambisolsとも混在している。

Gleyic Cambisols : Gleyic Cambisolsは、南部、南東部地区の小河川上流域周辺の低地でEutric Gleysols との混在で分布している。一時的に滞水することもあるが、細粒質で比較的生産力の高い土壌である。

Dystric Fluvisols : Dystric Fluvisolsは、Belait川周辺、Sg. Malayan 周辺の沖積低地に分布し、Dystric Cambisols との混在もある。場所によって、粗粒、中粒、細粒質の土壌があり、一定していない。

Dystric Gleysols : Dystric Gleysolsは、Belait川およびTutong川周辺の低湿地、Bukit Sawat 地区や Ukong地区の丘陵地間の小河川流域にある低湿地に、主として分布している。また、Belait川周辺のPeat Swamp地帯のHistosols との混在もある。大部分が、中・細粒質であるが、一部に粗粒質の土壌もある。造林地としての問題点は、土壌が過湿状態になることだけ

である。

Butric Gleysols : Butric Gleysolsは、南部および南東部の小河川上流域周辺の、低地に分布しており、ほとんどがGleyic Cambisolsとの混在である。

Mollic Gleysols : Mollic Gleysolsは、大中河川の岸沿いの低湿地に分布していて、川水の増減により乾湿の変化が激しく、軟弱で崩壊しやすい土壌である。

Fibric Histosols : Fibric Histosolsは、主として大河川周辺や丘陵地を開析している中小河川周辺の低湿地で、Peat Swampと呼ばれるところに分布している。大部分のところで、同じようにTerric Histosolsとの混在があり、また、Gleysolsなどとの混在も可成りある。

Fibric Histosolsは、年中滞水していて、排水が不良のため、地中に入った樹木根や草木が未分解で堆積したり、やや分解の進んだMuck状態のものである。とくに、土壌のpHが低く、強酸性で、排水不良のため、Peat Swamp特有の樹種以外には、造林が不適当な土壌である。

Terric Histosols : Terric Histosolsは、Fibric Histosolsとほぼ同じようなところに分布していて、ほとんどがFibric Histosolsとの混在である。Fibric Histosolsよりは、有機物の分解がすすんだ土壌であるが、同様に酸性が強く、排水も不良である。

従来のブルネイにおける土壌分類と、今回のモデルプランテーション・エリアの土壌調査結果による、FAO/UNESCO方式の分類との対比を次に示す。しかし、FAO方式のSoil Unit とブルネイのSoil Series との分類方式の基本が異なるので、個々には対比出来ないので、大分類でSoil GroupとSoil Type の中に、それぞれのSymbolを加えて対比する。

FAO/UNESCO classification	Brunei classification
Acrisols (ACf, ACg, ACh, ACp)	Upland soils (Red-yellow podzolic soils) (BKT, BTN, SKN)
Arenosols (ARa)	Regosol-pallid sand (Kerangas)(TKL)
Cambisols (CMx, CMd, CMg)	Upland soils and Alluvial soils (BKT, BTN, TTN, ALL)
Fluvisols (FLd)	Alluvial soils (ALL, BDG, TTN)
Gleysols (GLd, GLe, GLm)	Alluvial soils (BDG, BUU, TTN, ALL)
Histosols (HSf, HSs)	Organic soils (AND)

4.4. 土壤調査結果の総合的考察

モデルプランテーション・エリアに分布している土壤は、起伏の多い丘陵地は、主として粘土が下へ移動した塩基の少ない Acrisols であり、起伏の緩やかなところや低地部にかけは、Cambisols である。また、丘陵地や低地部の一部に、石英砂の堆積層のある Arenosols がある。河川流域の低地部および低湿地には、Fluvisols と Gleysols および Peat Swamp での Histosols がある。それぞれの土壤が、ほぼ地形に対応して分布している。

土壤調査の結果から、次の問題点を指摘することができる。

傾斜のきついところに分布している Haplic Acrisols、Ferric Acrisols や Arenosols の中で、粗粒質 (sandy) のところでは、造林地を造成する場合に土壤が移動し易く、とくに土壤侵食の危険が大きいため、特別に土壤保全についての考慮が必要である。また、これらの地域では、土壤が強酸性のところも多く、植栽樹種の選定に当たっても十分な配慮が必要である。

Acrisols のなかでも、傾斜も緩く、土壤が中～細粒質の場合には、造林地としても適当である。しかし、土壤の養分は少ないので、地表の有機物層を出来るだけ失わないような造成方法を執ることが必要である。

Cambisols や Fluvisols は、造林地として適しているが、河川流域沿いは、造林地造成に伴う土砂の河川への流入を防止するために、河川周辺の森林は現状のままとすべきである。

Gleysols は、河川流域の低地や低湿地に分布していて、現在、二次林となっているところが多いが、土壤は一般に細粒質で、排水がやや不良であるので、その点を考慮して造林をすすめることが必要である。また、河川周辺については、Cambisols や Fluvisols の場合と同様である。

Histosols は、Peat Swamp 地帯に分布しているので、低湿地の Peat Swamp Forest を保続させるためにも、現状のままとすべきである。

具体的な地域を挙げると、モデルプランテーション・エリアの中で、北西部の Bukit Sawat 地区の Sg. Mau 上流の Plantation Area の土壤条件が良くない、砂質のところが多く、強酸性の土壤で、起伏が多く、土壤保全の面での問題がある。

Merangking から Buau または Apak-Apak にかけての Bukit Sawat 地区と、Sukang 地区との境界付近の開発道路周辺でも、砂質で急傾斜のところが多く、ここでも土壤保全の面での問題がある。

南東部地区の D. Belait と D. Tutong との境界付近には、まだ道路が無く、可成り成長の進んだフタバガキ科の森林があり、現在は土壤条件も良好であるが、造林地造成のための大規模林道を入れれば、森林が無くなり、土壤も変化する可能性がある。したがって、この地域には、小規模林道の開設と天然林施業により、現状を維持した形での、木材生産方法を行なうことが

望ましい。

造林樹種の選定に当たっては、土壌が粗粒質で、酸性の強い Acrisols、Arenosols のところでは、Acacia mangiumがすすめられるが、他のところでは、造林地造成の方法によって、または土壌の排水性の良否や木材の利用を考慮して、樹種の選定をすることが望ましい。

5. 森林調査簿

森林調査簿の様式は Table-24 のとおりであって、森林区画ごとの各種内容が記載されている。植生図上のある特定の森林区画を森林調査簿で参照すれば当該森林区画に係る各種情報が得られることとなる。

(1) 森林区画

森林区画はDaerah Tutong、Daerah Belait ごとにそれぞれ 1,000番台と 2,000番台の区画番号が与えられている。農耕地等森林以外（除地）も区画を施しそれぞれ 500番台の区画番号を与えている。例えば2111はDaerah Belait 内の森林、1505はDaerah Tutong の非林地である。

(2) 面積

森林区画内の林地面積、非林地（除地）面積が記載されている。後者は沢、道路敷等であって独立して区画されていないもの、かつ林地面積に対してある程度の面積を占めるものについて算出する。非林地で面積的にまとまっているものは独立して区画した。

(3) 地況

地況は標高、傾斜及び土壌型である。標高は地形図より求めた。勾配は地形の状況から度数での表示が困難と考えられたので、平坦、緩、急の3区分で表示した。土壌型は植生図に土壌図を重複させ当該森林区画の土壌型を判別し、FAO/UNESCO方式の分類で表示した。

(4) 林況

林況は航空写真判読による樹冠直径および疎密度、地上調査で計測された林分組成、胸高直径、枝下高およびha当たり本数、ならびに統計的な推定法で算出された当該森林タイプのha当たり材積と当該森林区画の総材積が記載される。

樹種構成は材積の混交歩合で上位から5樹種を記載した。

Table-24

Forest inventory book(ex.)

FOREST INVENTORY BOOK

District		Working Area		Sheet No.																												
Belait		Apak Apak																														
Division	Compartment No.	Land use condition	Area			Forest condition by aerial photos	Forest condition by Sample plots				Remarks																					
			Forest land	Non-forest land	Total		Forest composition	Mean value	Number of trees	Volume per ha		Total volume																				
3.3(3)	xxxx	F	ha	ha	ha	De	Crown density	Crown diameter	m	11	De	Mixture rate	%	75	6	3	3	2	24	15	10	9	9	30	44	16	215	/ha	505	48,668	30,300	18,368
			101	0	101																											
3.1(1)		F	ha	ha	ha	De	Crown density	Crown diameter	m	6	De	Species	%	24	15	10	9	9	24	15	10	9	9	30	18	473	/ha	448	18,368			
			41	0	41																											

6. 自然環境影響調査

6.1. モデルプランテーションエリアにおける環境アセスメントの目的

熱帯雨林が地球環境の保全に果たす役割は大きい。このような地域の人工林造成に際しては地域生態系に与えるインパクトを最小限にするよう配慮して、持続性 (Sustainability) のある森林生産を期待しなければならない。このModel plantationでは、森林造成の実行計画として、大面積皆伐火入れ地ごしらえ及び外来樹種の導入による造林の推進を、人工更新手法の考え方として示されている。Assessment Work はこのような実行計画の実施により予想される環境への影響要因、すなわち、大面積皆伐火入れ地ごしらえに起因する造林地のエロージョンと、Acacia mangiumやKlinki pine などの外来樹種導入がもたらす自然生態系の攪乱、の二項目をピックアップし、これらの影響要因について実態を明らかにし、保全対策を講じていこうというのがねらいである。Assessment work はこのようにして環境に対してインパクトを与える要因をチェックし、森林造成開発と環境との調和をはかるためにおこなわれる。

6.2. 環境アセスメントフローチャート

Model Plantationも一種の森林開発行為であり、この実施に当たって検討を要すると思われる手順について、フローチャートとして示すとFigure-17 のとおりである。

また Assessment Work の影響要因について実態調査・事例調査などの調査地の位置をFigure-18 に示す。

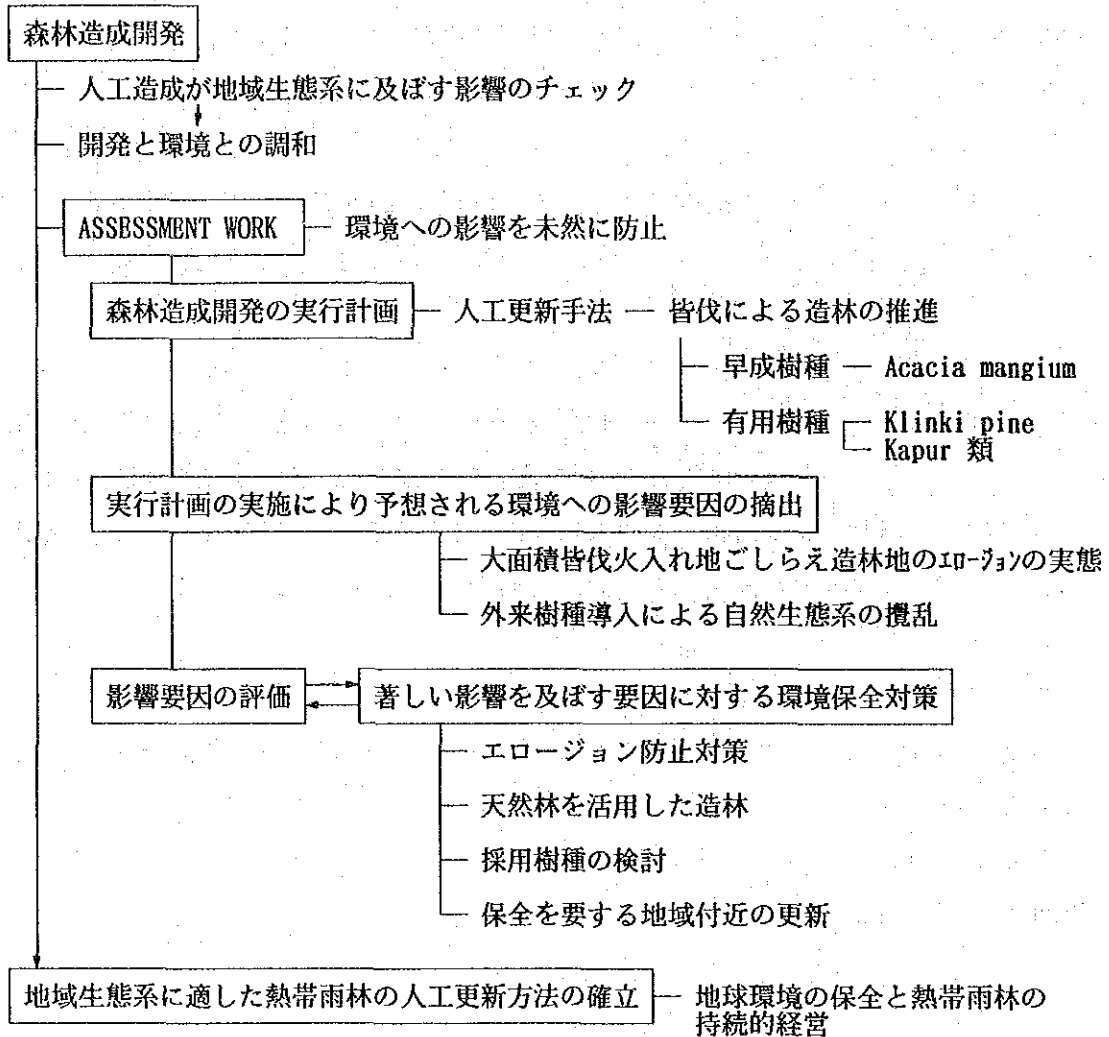


Figure-17 Flowchart of environmental assessment in Model Plantation Area

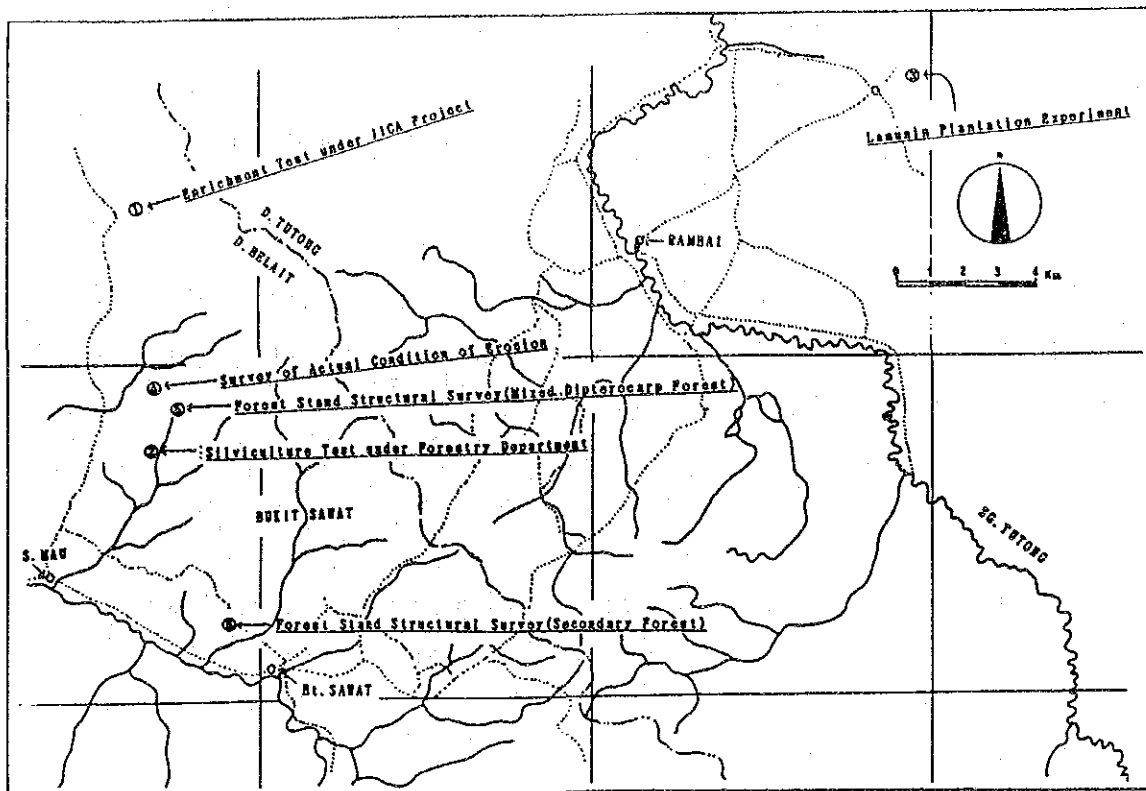


Figure-18 Location of environmental assessment survey plots

6.3. 環境への影響要因の抽出

6.3.1. 大面積皆伐火入れ地ごしらえ造林地におけるエロージョンの実態

現在、Saw Timber Plantation No.9では、大面積皆伐火入れ地ごしらえによる造林が進められている。植林後、林床が自然植生や落葉等で被覆されるまでの間に、主に降雨により地表面の浸食が進行し、多量の土砂が造林地周辺の林分に流入するものと予想される。

このため、周辺環境へインパクトを与える要因としてのエロージョンの実態を明らかにし、現在の施業方法の問題点を探る。

(1) 調査地の概況

位 置 : Saw Timber Plantation No.9 (SG. Mau, Bukit Sawat, Daerah Belait)

総 面 積 : $1 \text{ km} \times 1 \text{ km} = 1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha}$

皆 伐 面 積 : 80ha

地 形 : 小起伏の丘陵性山地

地 質 : 第三紀 固結性の低い軟岩

林 況：過去 Kapur bukit, Kapur paya, Ubah, Nyatoh, Ramin, Meranti 等

1991年11月～1992年3月 …… 伐採

1992年4月 …… 火入れ

1992年9月～1992年10月 …… 植栽 (Acacia mangium)

現在

(2) 浸食の発生形態

裸地化している調査地は、雨水に対する抵抗力が弱く、多くの浸食地が発生している。ガリー浸食と表面浸食が同時進行しているが、浸食による生産土砂量はガリー浸食によるものが圧倒的に多い。浸食の進行状況により、次のように区分できる。

ランク	形態	規模	状況	溝の幅及び深さ
A	ガリー浸食	大規模	崩壊地状	1.0mを越える
B	〃	中規模	ガリー状	0.5～1.0m
C	〃	小規模	リル状	0.5m以下
D	表面浸食	—	—	—

a. ガリー浸食

浸食初期のリル状のものから浸食が進んで崩壊地状になっているものまで、様々なガリー浸食が存在する。

ガリー浸食は火入れにより裸地化した土地条件（素因）に降雨及びそれに伴う地表流（誘因）が作用して発生する。山腹上部の急斜面が表面浸食を受けB層が露出すると、容易にガリーが発達し、ランクD→C→B→Aと拡大する。

林道や作業道も原因の一つとして無視できない。トラックやブルドーザーの走行により圧密された道路面には雨水が浸透しにくく表面流が発生する。表面流は路面自体にガリー浸食を発生させるばかりではなく、尾根に開設された道路の両側斜面に流下してガリー浸食を誘発している場合が多い。

b. 表面浸食

浸食を左右する因子として次のものが考えられる。

- ① 地表面の被覆 ② 地表面の傾斜 ③ 地表面の硬度

地表面が前生樹の根系で被覆されているかどうか、すなわちA層が残存するか剝奪されているかが、浸食に対して大きな影響を与えている。A層が残存する地表面は浸食作用に対して抵

抗性があるが、A層が失われB層が露出する地表面は浸食が著しい。A層を剥奪する最大の原因として作業道等の道路があげられ、表面浸食ばかりではなく、前述のようなガリー浸食をも誘発する危険性が高い。

一般的に、傾斜が急になれば表流水の流速は速まり浸食力は増強する。

表面浸食を受けている箇所は、今後ガリー浸食に発達する危険性が高い。

(3) 試験地の設定

ガリー浸食試験地 3 箇所、表面浸食試験地 6 箇所、計 9 箇所の試験地の位置はFigure-19 に示すとおりである。

a. ガリー浸食

ランク A、B、C のガリー浸食地を対象として、各ランク 1 つの試験地を設定した。

ガリー浸食による地表面の変動を把握するため、横断測量を実施した。また、植生の進入状況を把握した。試験地の模式図は App. Figure-3 および App. Figure-4 のとおりである。

b. 表面浸食

地表面の被覆と傾斜を組み合わせる次を示す 6 箇所の試験地を設定した。

① A層残存 …… 傾斜緩	④ A層剥奪 …… 傾斜緩
② A層残存 …… 傾斜中	⑤ A層剥奪 …… 傾斜中
③ A層残存 …… 傾斜急	⑥ A層剥奪 …… 傾斜急

2 m 四方の四隅に鉄筋を打ち込み、地表面箇所に印を付けた。さらに植生の進入状況を把握した。試験地の模式図は App. Figure-5 のとおりである。

(4) 試験結果

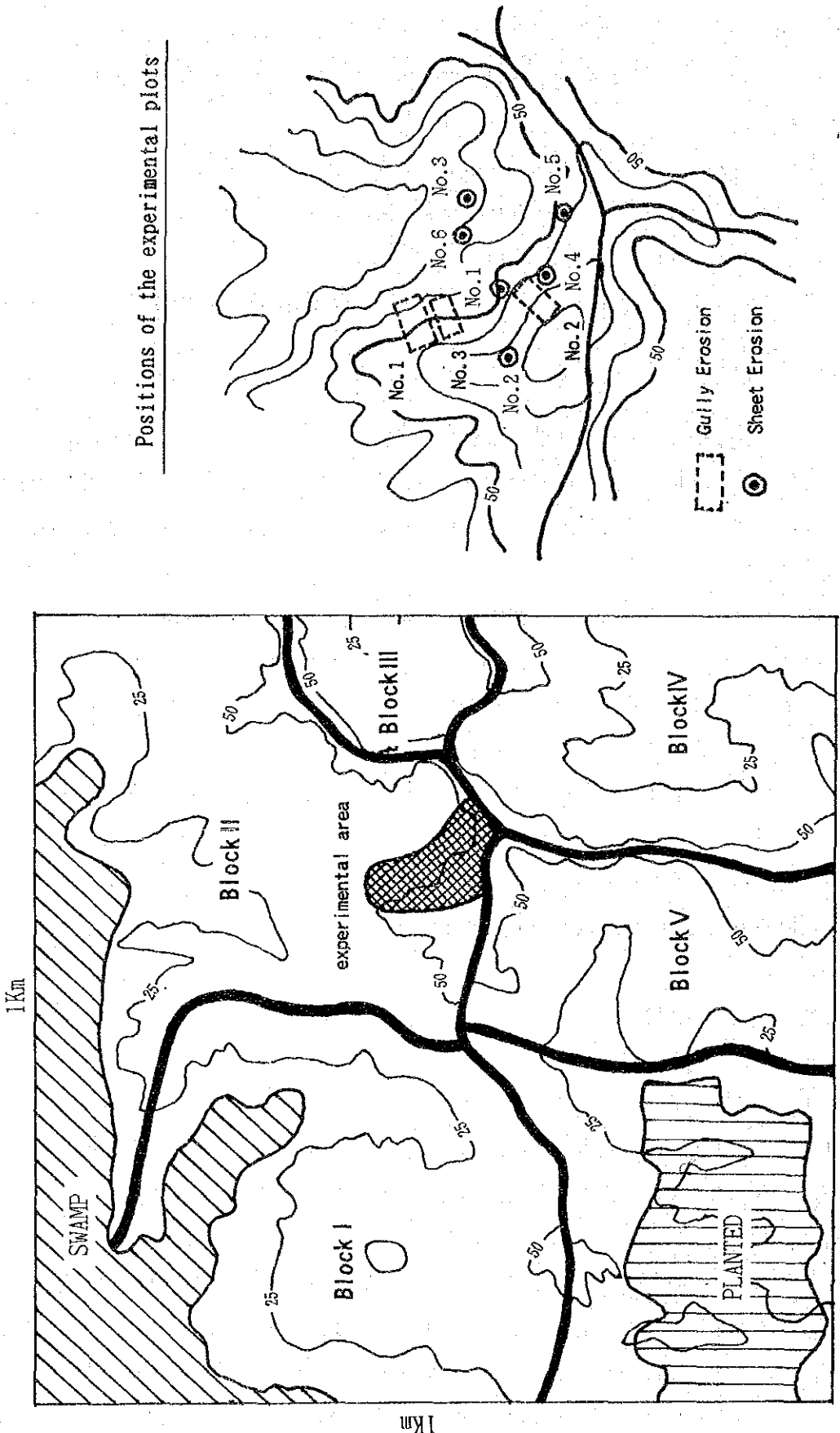
a. 浸食による地表面変動

1992年9月と1993年6月に地表面を観測した。

1) ガリー浸食試験地

ランク A、B、C のガリー浸食地の横断面を図化し、現地観察結果を加味すると以下のような傾向が認められる。また、代表的な横断面を Figure-20 に示す。

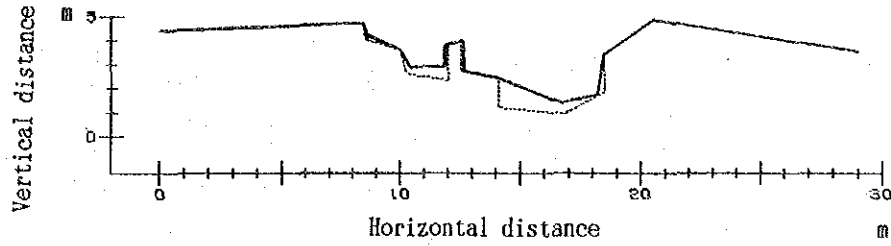
- ① 各試験地で浸食は明らかに進行している。
- ② ランク A、B、C の順に浸食量が多い。これは、この順に雨水が集中し易いためである。
- ③ 雨水が集中するガリーは縦浸食により拡大している。ランク A、B にこの傾斜が強い。
- ④ 縦浸食は深さ 4 m に及ぶものもあり、山側へ後退しながら発達し続ける。
- ⑤ ガリー以外の裸地は表面浸食の形態をとる。ランク C にこの傾向が強い。



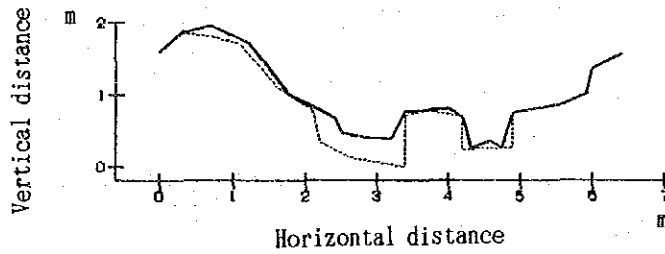
Positions of the experimental plots

Figure-19 Location of experimental area

Rank A No. 8 LINE



Rank B No. 7 LINE



Rank C No. 8 LINE

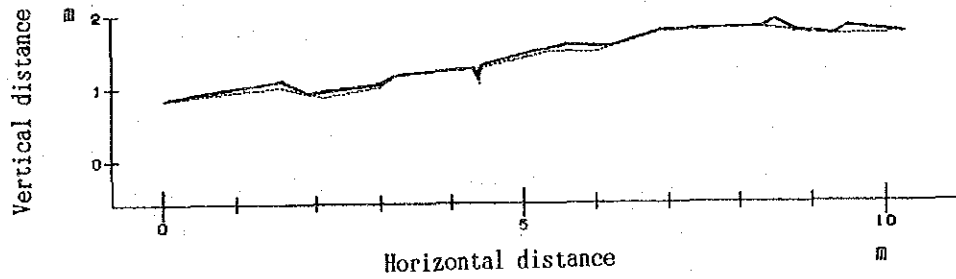


Figure-20 Progress of gully erosion

2) 表面浸食試験地

各試験地の地表面変動結果は以下のとおりである。

	A 層		
	残存	剥奪	平均
傾斜急	1.70cm	4.75	3.23
中	2.85	1.80	2.33
緩	1.60	0.60	1.10
平均	2.05	2.38	2.22

これにより、次のような傾向が把握できる。

- ① A層が残存する斜面よりも剝奪された斜面の方が浸食が著しい。
- ② 斜面傾斜が急なほど浸食が著しい。

b. 植栽木の成育状況

1992年9月の試験地設定直後、ガリー浸食試験地内にはAcacia mangiumが植栽された。No.2 ガリー試験地（ランクB）の試験地内外でそれぞれ10本の植栽木の樹高を測定した結果、試験地内1.57m、試験地外2.79mという値が得られ、試験地内では極端に成長が悪いことが判明した。他の試験地でも同様の結果が得られたが、これについては次のような原因が考えられる。

- ① 表土層が剝奪され養分が乏しい。
- ② 降雨時に地表流が発生し雨水の浸透量が少ない。
- ③ 地表面を被覆するA層が欠如し降雨を保水できないため、乾燥し易い。

c. 自然植生の進入状況

1) ガリー浸食試験地

ガリー内部は自然植生がほとんど認められず、わずかにKedok kedok が進入しているだけである。一方、ガリー外部では37%の植生被覆が認められた。

2) 表面浸食試験地

各試験地によって、次に示すような結果が得られた。平均32%の植生被覆があるが、傾斜が急なほど被覆率が低い傾向が認められた。

		A 層		
		残存	剝奪	平均
傾 斜	急	22.50%	2.50	12.50
	中	2.50	48.75	25.63
	緩	42.50	72.50	57.50
	平均	22.50	41.25	31.88

(5) 浸食地の分布

a. 浸食地の分布特性

1992年9月、Saw Timber Plantation No.9 (1km×1km=1km²=100ha)内の浸食地をランクA、B、C（以上ガリー浸食）、D（表面浸食）ごとに地形図に描き、その分布状況及び規模を調べた。その結果、浸食地は傾斜が急な箇所に多く分布するほか、林道や作業道の影響も少なからず受けていることが判明した。

浸食地の各ランクごとの箇所数は、Table-25 のとおりである。総数325、ランクAはその約1割、30箇所である。

Table-25 Erosion in Saw Timber Plantation

Area	Item	Rank of Erosion				
		A	B	C	D	Total
I	Number	3	17	24	25	69
	Percentage	4.3	24.6	34.8	36.2	100.0
II	Number	4	20	24	38	86
	Percentage	4.7	23.3	27.9	44.2	100.0
III	Number	3	8	6	9	26
	Percentage	11.5	30.8	23.1	34.6	100.0
IV	Number	13	15	22	21	71
	Percentage	18.3	21.1	31.0	29.6	100.0
V	Number	7	9	34	23	73
	Percentage	9.6	12.3	46.6	31.5	100.0
Total	Number	30	69	110	116	325
	Percentage	9.2	21.2	33.8	35.7	100.0

b. 浸食地の分布の推移

1993年6月に浸食地の分布を再度調査した。しかし、植栽木により視界を遮られ、全域を1992年9月時と同様に調査するのは困難であった。したがって、Block III (面積3.7ha)に着目して、新規浸食地の発生、既往浸食地の拡大、既往浸食地の復旧等の状況を観察した。その結果、多くの浸食地は拡大、ないし前回調査と同様の状態にあり、復旧傾向にある浸食地は少なかった。

(6) 周辺林分への影響

a. 下流域への土砂流入状況

Block IIIの下流端 (Saw Timber Plantation No. 9の林縁部) で、土砂の堆積状況を調査した。また、この地点からさらに下流へ土砂の流出状況を追跡した。この結果、浸食により生産された新規堆積土砂の堆積深は、Block III下流端で60cm、50m下流で60cm、100 m下流で45cm、150 m下流で25cmであった。浸食により生産される土砂は砂状で粘性に乏しいため、降雨時の表流水により容易に運搬されることが判明した。

b. 周辺林分の立木の成長状況

Saw Timber Plantation No. 9の皆伐、火入れ地ごしらえが、周辺林分に成育する立木にどのような影響を与えたか、Block IIIで調査した。林縁に沿った約130mの区間で、47本の立木が枯死し、さらに30本の立木が枯死寸前の状態にあった。この中にはMeranti, Damar hitamのような有用樹が含まれていた。この原因としては、前述の土砂の流出のほか、火入れ、根系露出、急激な疎開等が考えられる。

6.3.2. 外来樹種導入による自然生態系の攪乱

(1) 外来樹種の現地適応性

植栽候補樹種3種の中、早成樹種のAcacia mangiumと有用樹種のKlinki pine は外来樹種 (Exotic tree)である。早成樹種は、一般的に二次林が草原となったり荒廃地化した、立地環境の劣悪な箇所の造林に使用される。A. mangiumはオーストラリアが自生地、マレーシアのサバ州の荒廃地造林やパプア・ニューギニアのマダン地方のパルプ用材確保のために造林されている。ナンヨウスギの一種であるKlinki pine (Araucaria hunsteinii)はパプア・ニューギニアの亜高山・高山に自生している有用樹種で、同国のプロロ地方(標高約700~1000m)に造林地が多い。熱帯雨林における樹種の多様性は特徴的なことであるといわれている。このことから、大面積火入れ地ごしらえにより環境を改変して、外来種の導入により単純一斉林化をはかることは、その地域の自然生態系を攪乱させる結果となる。原産地と天然分布の標高・地形・土壌などを異にしている現地への適応性は事例調査などにより徹底した分析が必要である。

(2) 外来樹種導入による虫害の発生

それまであった多様な郷土樹種が単一な外来樹種に置き換えられると、そこは害虫にとってより好都合な発生環境に改変されている。フィリピンのミンダナオ島では、オーストラリア原産のユーカリ (Eucalyptus deglupta)がタマムシの一種Agrilus sp. によって、大面積にわたって被害を受けた造林地の例がある。この他にも外来のマツ類の虫害に関する報告は多い。このように外来樹種の単純林は虫害にかかりやすいから、異郷土樹種の導入に際しては虫害防除対策を講じて自然生態系の保全につとめなければならない。

(3) 地域生態系の植物相と動物相の変化

熱帯の多様な生物相は豊富な樹種の熱帯雨林とそこに棲む豊富な動物種に特徴づけられる。このように樹種の多様性は動物の多様性と相関をもちながら、その地域の生態系を維持しているから、外来樹種の導入によって強制的に改変された自然の生態系は攪乱されるわけである。このようなことから、皆伐面積の大きさは小さいほど環境への影響も小さくて済むはずである。

6.4. 影響要因に対する環境保全対策

6.4.1. エロージョン防止対策

(1) 予防対策

林地の保全を考慮した適正な森林施業の実行により、浸食の発生を未然に防止するか、あるいは最小限にとどめるように努める。

a. 伐採方法

Bukit Sawat 地区のSaw Timber Plantation No.9では大面積の皆伐が実施されているが、皆

伐という行為自体は浸食発生の引き金にはならない。なぜなら、皆伐後の林地の状況は未利用樹や枝条が放置され、さらには下層植生と森林土壌がほとんど残存しているからである。このような状況では、地表被覆と透水性が保たれているため浸食はまだ発生しにくい。しかしながら、立木による樹冠遮断が作用しないため、地表に到達する降雨量が増加することは間違いなく、表面流が伐採前より発生し易くなる。

このように、伐採方法が皆伐であるだけですぐ浸食が発生するというものではないが、択伐と比較すると問題点が残される。したがって、皆伐の場合においても、大面積ではなく小面積に分散させるとか、帯状皆伐等にする方策が必要である。また、小面積に分散させる場合は、一流域に集中させず多流域に分散させた方が流域保全上有利となる。

b. 集材方法

Saw Timber Plantation No. 9ではブルドーザー等のクローラータイプの重機により伐倒した材を牽引したため、クローラーおよび被牽引材により部分的に林地の表層が破壊されている。根系により緊縛され透水性の良いA層およびA層が剥奪されると、地表流が発生して容易に浸食が進行し、ガリー浸食地に発達する危険性が高い。実は、浸食発生の最大の原因は、この集材方法である。索道によれば林地の破壊を防止できるが、小起伏、緩傾斜の地形を呈する当該箇所では使用が困難であるほか、集材の効率や経済性もブル集材に劣る。したがって、熱帯地域ではブル集材の問題点が指摘されながらも、それに依らざるを得ない面があり、ブル集材が一般的な集材方法となっている。

このような状況下にあって、浸食を減少させる方策としては大面積皆伐を避け、可能な限り小面積皆伐、できれば択伐にして、浸食箇所の分散化を図るしかない。

c. 地ごしらえ方法

火入れ地ごしらえは、伐倒した未利用樹や雑草木を乾燥、焼却するもので、熱帯多雨林では一般的に用いられている方法である。Saw Timber Plantation No. 9でも同様の方法により地ごしらえを行っているが、未利用樹、雑草木や土壌有機物を喪失することにより浸食に対する林地のもつ抵抗力は激減する。未利用樹や雑草木は、雨滴が直接地表面に到達することを阻止し、浸食の発生を未然に防止する役割を持つ。また、雨水が地表面を流下する際には、その速度を低下させるフィルターとして働く。このような効用を持つ未利用樹や雑草木を失うことには問題があるが、皆伐方式の場合、後の植栽のため伐倒木を除去することを考慮すると火入れ地ごしらえに依らざるを得ない。したがって、前項でも述べたように、択伐や小面積皆伐の導入により浸食の防止、軽減を図ることが望まれる。

d. 林道開設上の留意点

Saw Timber Plantation No. 9では、林道が浸食発生に大きく関与している。つまり、林道に

起因した浸食が多く見受けられる。林道の路面は裸地であるため、雨水の浸透能は低く地表流が発生する。これにより路面自体が浸食されるのはもちろんであるが、尾根に設けられている林道の地表流が両側の山腹斜面に流下し、その斜面が浸食を受けている例が多く見受けられる。林道を尾根に開設すること、縦断勾配が急なことなどに基本的な問題が残るが、現時点で浸食防止のために最小限講じておかなければならないことは、表流水の処理方法である。山腹斜面への流下を極力避けるため、まず素堀側溝を設け表流水を集中させる必要がある。表流水を集中させれば、そこで浸食が発生するが、路面の随所で発生するよりはましである。素堀側溝での浸食を最小限に止めるためには、立木の枝条を側溝の底に敷き、流下水の速度を規制し浸食を軽減させる。側溝からの流下水は短区間ごとに排水させることとするが、その際浸食の発生、拡大が懸念されるため、この箇所には丸太、枝条を利用した簡易な土留工を適宜設置し、浸食の発生を未然に防止することが望ましい。

(2) 復旧対策

発生した浸食を放置すると拡大して継続的に土砂を生産する危険性が高いため、早期に基礎工および緑化工の復旧対策を講じる必要がある。

a. 基礎工

ガリー浸食地の復旧対策としては、現在不安定な状態にあるガリーの頭部や側壁を安定方向へ導くための埋設工が必要である。Saw Timber Plantation No. 9は起伏量が小さく傾斜も緩やかな上、浸食を受けている表土層は砂質で礫等を含まないため、埋設工は現地の小丸太、枝条等を利用した小規模かつ簡易なもので十分である。ただし、縦浸食が深い箇所等ではフトン籠埋設工の設置も考慮する必要がある。埋設工設置後はガリーに周辺の土砂を埋め戻すが、その際ガリー底部には現地の枝条を利用したそだ暗渠工を付設する。これにより、ガリー底部における浸透水を円滑に排水させ、浸食の防止を図る。さらに、丸太を地表面へ網状に配置した丸太枠工により、表土の流亡とガリーの発達を防止することが可能となる。これら基礎工としての埋設工、暗渠工および枠工はガリー浸食の程度（ランクA、B、C）に応じて適宜用いることが望まれる。

b. 緑化工

基礎工を設置した後、埋め戻した地表面およびその周辺の表面浸食を受けた裸地面に柵工を設け、表面流の分散および流速の緩和を図る。柵工の資材としては、丸太や枝条等の現地調達可能なものを利用する。柵工の設置により表土の安定が確保されれば、安定した斜面にKedok kedok等の先駆植生が進入して、徐々に植生による被覆が期待できる。

(3) 土砂流出防止対策

浸食作用により生産された土砂は砂質で粘性に乏しく礫の混入もないため、流水の掃流力に

より容易に運搬される。Saw Timber Plantation No. 9での実態調査でも、浸食作用による生産土砂が下流へ流出していることが確認された。このような土砂流出による直接的な被害は土砂堆積地における立木の枯死であるが、間接的には下流河川の河床を上昇させ洪水の発生を招く恐れがある。したがって、Plantation造成地には、土砂の抑止を目的とした治山ダムを必要に応じて設置し、土砂の流出を未然に防止する必要がある。Plantation造成地の土壌・地質条件を考慮すると礫や転石が流下する恐れがないため、簡易な構造のダムで十分対応できる。また、設置箇所の基礎地盤は Swamp等の軟弱な場合が多いため、堤体はフレキシブルな構造であることが望まれる。したがって治山ダムの種別は簡易なフトン籠ダムが望ましい。

6.4.2. 天然林を活用した造林のすすめ

環境への影響要因に対する保全対策として、ここでは天然林を活用した造林方法についてすすめてみたい。そのひとつはEnrichment手法の提案であり、他のひとつは林分構造調査による造林技術の検討である。天然林を活用することにより、外来樹種導入に起因する生態系の攪乱の及ぶ範囲は縮小され、またErosion 発生や拡大防止対策にも有効となる。

(1) 事例調査によるEnrichment手法の提案

Enrichmentの方法と自然環境の劣化防止効果について、次のとおり要約される。

- ① 大規模な皆伐火入れ作業は自然環境を劣化させる。この改善法としてEnrichment法を導入する。
- ② Enrichment法は天然林の林分改良と人工更新を組み合わせた更新法で、熱帯雨林における森林修復法とよべる手法である。
- ③ Enrichment法にはLine Planting、Gap Planting、Forest Patch Improvementの3手法がある。これらはいずれも皆伐作業のように大面積の裸地をつくらず、二次林などの天然生林により保護されながら、有用な郷土種であるフタバガキ科樹種の安全な更新をはかる方法である。
- ④ 大面積の裸地をつくる皆伐方式は、利用経級に達しない前生樹も一緒に、多様な樹木群を伐採し焼却してしまうから、土壌に養分を供給する落葉層を失ってしまう。それまで養分源となっていた落葉層を欠くと、植栽木の根に栄養が供給されなくなる。また皆伐によって林冠を失うと、それまで強度な降雨から保護されていた土壌表面は一気にErosionの洗礼を受けやすくなり、Rillが発生する。このようなとき、二次林などその箇所の前生樹と組み合わせた造林法は土壌劣化を防ぐ有効な更新法となるのである。
- ⑤ Line Planting は二次林を帯状に伐開してそこへ列状に苗木を植栽する。このときLineの幅の決定が重要であり、狭すぎると残存帯の樹木の伸びにより植栽木は被圧され、照度が低下し、成長もわるくなる。Gap Plantingは二次林などを孔状に伐開し、人工的にGap

を作って植栽する方法であり、Gap の大きな方形区の1辺が前生林の樹高となるように切り開くのが植栽木の成長にとって良いとされている。Forest Patch Improvement はすでに後継稚樹が発生している場所を対象にフタバガキ科稚樹が分布する範囲の亜高木・低木を除去することになる。

a. Enrichment Test under JICA Project

JICA Projectにより3方法の試験地がBukit Sawat へ1988～1989年に設定されており(Figure-18、No. ①)、調査時まで4年半を経過している。

① Line Planting は伐開幅が4 m・6 m・10 m・15 m、植栽間隔は3×3 m、供試樹種はKapur 類(Kapur peringgi・Kapur paji)とKawang jantongを選定している。成績のはっきりしている伐開幅4 mのPlotではK. peringgiが樹高1.6～3.7 m、伐開幅15 mのPlotでは樹高1.7～3.8 mを示す。

② Gap PlantingはGap のサイズ20×20 mと10×10 mの2区を設定している。

a) Gap size 10×10 mの試験区(Figure-21)

Gap 周囲にある上木の影響を受けない造林木の成長が良く、樹高は3 mに達する。K. PajiよりもK. peringgiの成長が良い。また上木の樹冠に被圧される造林木は樹高が低く、その相対照度は樹木の成育に必要な値、5%よりも低く、1.8～3.2%である。

b) Gap size 20×20 mの試験区と比較区

Figure-22 図中、Plot No.1 の試験区ではGap 中央域の地表面が乾燥しており、土壌はLitter層を欠き、この付近の植栽木の現存率は低い。しかし、この区のGap の縁近くに植えたK. peringgiは伸びが良く、樹高4～6 m台にも達している。ここの土壌はLitter層の厚さ5 cmで、相対照度は32～65%であった。Gap を設定しないで植栽したPlot No.2 はPlot No.1 の比較区であるが、ここの造林木は成育不良で、ほとんどが樹高1 m以下である。Plot No.2 の相対照度は0.92%であるが、これはフタバガキ科樹種の苗木の生存限界値といわれる3%よりも低い。

Figure-23 に示したPlot No.13の造林木の成育成績は良い。K. pajiよりもK. peringgiの成長がすぐれていて、樹高は3 mを越えるものが多く最大5.8 mに達する。ここの試験区のGap の縁では8～12.5%の相対照度を示した。また土壌はPlotの中央域でもLitter層がみられ、土壌硬度は8～13 mmを示した。この値は根の成育に好適なものである。

③ Forest Patch Improvement

この試験地はGap size 20×20 mで、その上木は疎開されていてGap 中の2×2 mのPatch にはDamar hitam の天然生稚樹(Natural regenerated saplings)150本以上が更新している。その稚樹の高さは0.5～1.0 m程度である。一方、上木を疎開していない対象区の更新

稚樹の高さは 0.2~0.3m程度と低い。

b. Silviculture Test under the Forestry Department

Enrichmentの手法によるこの試験地は (Figure-18、No. ②)、Bukit Sawat へ1989年3月に設定され、設定後4年を経過している。ここでは植栽木を被圧する上木だけを伐開してKapur bukit を植栽したものである。植栽木の活着成績・樹高成長ともに良好である。その半数は樹高2mを越え、最大樹高3.7mである。ここの相対照度は約10%であり、植栽木の成長にとって支障がない。しかし調査図から判読できるように、残存するMeranti・Keruingなどの過度にうっぺいした上木の樹冠により植栽木は被圧を受ける状態にあり、このような上木の樹冠を早急に疎開させて、造林木の成長促進をはかる時期に来ている (Figure-24)。

c. Lamunin Plantation Experiment

ここは植栽後23年を経過したKapur bukitの造林試験地で (Figure-18、No. ③)、Kempas・Selangan batu・Meranti merah kesumbaなどの前生樹はKapur bukitの上木となってEnrichmentの効果を果たしている。植栽したKapur bukitは通直で、樹高は17~24mである (Figure-25)。ここの土壌はLitter層が6cm、A層も発達していてその厚さが6cm、土壌硬度は15以下であり、根の発育に適している。根系は55cmの深さまで伸びていた。

(2) 林分構造調査による造林技術の検討

ここでは、造林開発予定地になっている天然生林について林分構造調査をおこない、この結果からその環境により良く調和した更新方法を見いだそうとするもので、今後のModel Plantation技術をすすめる上での示唆を得るのがねらいである。調査はBelt-transect法による林分調査をおこない、林分側面図 (Forest profile diagram) と樹冠投影図 (Crown projection diagram) を作成し、その結果を解析していく。調査対象地は開発された混交フタバガキ科林 (層5(2. EX)) と二次林 (層8) の2箇所である。

a. 開発された混交フタバガキ科林

① Figure-18、No. ⑤に示すBukit Sawatの天然林へ設定したNo. 1 Belt-transectは、Figure-26のようである。ha当たり成立本数は1,480本 (樹高10m以上) で、Meranti・Kapur bukit・Resak・Damar hitamなどのフタバガキ科樹種が出現する混交フタバガキ科林である。典型的な熱帯雨林は樹高階が5層よりなり、高木層は巨大高木層 (Emergent、41m以上)・大高木層 (21~40m)・小高木層 (11~20m) の3層に区分され、さらに低木層 (6~10m) と地表層 (6m以下) の計5層が見られるのが普通である。図には小高木層以上について示しており、この林分はEmergentを欠き最大樹高は32mと割合低い。また以前に開発があったらしく、そのため林冠は部分的に疎開している。

② 土壌は、厚さ4cmのLitterがあり、第1層は厚さ15cmのA層でpH3.76、土壌硬度8、第

2層は厚さ15cmでpH4.81、土壌硬度13、根は深さ60cmまで分布していた。

- ③ 天然更新の状態を観察するために、Transect内部に10×2.5mの調査区を設定した(Figure-27)。図に示した樹高10m以下の低木と1m以下の稚樹には、Resak・Damar hitam・Merawan・Merantiなどのフタバガキ科樹種が多く見られる。
- ④ 人工林としての更新方法は、多数見られたフタバガキ科樹種の天然生稚幼樹の育成(Patch Improvementの方式による)がまず考えられる。Line Plantingなどの方法も検討に値する。人工林としての更新方法は、その林況に調和した方法をとるのが基本であろう。

b. 二次林

- ① Merangkingの丘陵地に成立する二次林で(Figure-18、No. ⑥)、ここへ設定したNa5 Belt-transectは9°の緩斜地である。出現樹種は非フタバガキ科樹種で構成され、高木層は大高木層が少なく小高木層の樹木が多い。高木層(樹高10m以上)のha当たり成立本数は1,000本である。低木層以下(樹高1~10m)にはha当たり1,500本以上の稚幼樹が更新しているが、ここにもフタバガキ科樹種は見られなかった(Figure-28)。なお図のForest profile diagramにはIブロックの5×50m部分が示されている。
- ② 土壌は、厚さ2cmのLitter層があり、I層が厚さ14cmのA層でpH4.19・土壌硬度6、II層が厚さ13cmのB1層でpH4.54・土壌硬度12、III層が厚さ25cmのB2層でpH4.45・土壌硬度11で、A層には細根が多く、50cmの深さまで根の分布が見られた。
- ③ この更新方法は小面積皆伐による人工造林やLine Plantingなどが考えられる。傾斜地の大面積皆伐火入れ地ごしらえ方式はBrosionを誘発するおそれがある。

6.4.3. 採用樹種の検討

人工造林の主要樹種となる導入樹種と郷土樹種について、これまでの事例を調査し造林成績を評価して今後の更新法を検討していく。このことは、自然生態系に与えるインパクトを最小限にする対策を講ずるためにも有効で、また商業上もきわめて有用な郷土種であるフタバガキ科樹種の育苗技術の向上をはかる上でも、その材料吟味は重要である。

(1) 事例調査による主要3樹種の造林成績の評価

a. Silviculture Test under the Forestry Department

Bukit Sawatに設けられた皆伐火入れ方式のこの試験地(Figure-18、No. ②)は、比較的緩斜地であり、調査箇所で見立ったGully Brosionが見受けられない。試験地の設定は1990年6~7月で、植栽後3年を経過している。植栽間隔はAcacia mangiumとKlinki pineが6×2m、Kapur類が6×3mである。

① Acacia mangium (Figure-29)

Acacia mangiumの現存率は高い、樹高は9～15mに達していて成育は良好である。しかし樹冠密度はすでに100%を越えていて、除伐の時期にきている。異郷土樹種による大面積な一斉林造成は病虫害に弱く、また地域生態系に及ぼす影響を考慮すべきであるというのが一般通念である。

② Klinki pine (Figure-30)

Klinki pineの現存率は47%と高くない。しかし成立木の半数は樹高成長が3mを越えている。ここの枯損率を高めた原因は草高2mを越す大型草本による被圧害であり、除草などの保育が必要である。

③ Kapur 類(Figure-31～32)

K. bukitは丘陵地へ、Swamp地帯にはK. payaを選定している。K. bukitは83%の現存率を示して成長もよく、平均樹高3mで最大は4.5mである。湿地に強い樹種のK. payaでも大型草本に被圧されて枯死したものが20%である。K. payaの平均樹高は2.28mで、K. bukitと比較すると成長は遅い。

b. Lamunin Plantation Experiment

① ここは先にEnrichment法の調査事例で示したLamuninのK. bukit造林地に隣接する箇所で、23年生のKlinki pine試験地である。Belt-transect調査から、植栽間隔は3×2mのようであるが、枯損が目立つ。樹高は22～32mの範囲のものが多く、単木ごとの成長の差が大きい(Figure-33～34)。

② 土壌は砂壤土質で、土壌硬度はI層(厚さ10cm)が13、II層(厚さ65cm)が18で、これは根の発育に適した値である。根系は25cmの深さまで多く分布している。

③ ここは原産地で高山地帯の樹種を低地へ導入した例であり、こんご原産地Papua new-guineaからKlinki pineの成長状態や一斉林での虫害情報などを得て、導入樹種としての取扱いについて検討してみる必要がある。

(2) 有用なフタバガキ科樹種の育苗技術の向上

a. 有用樹種の生物季節の把握

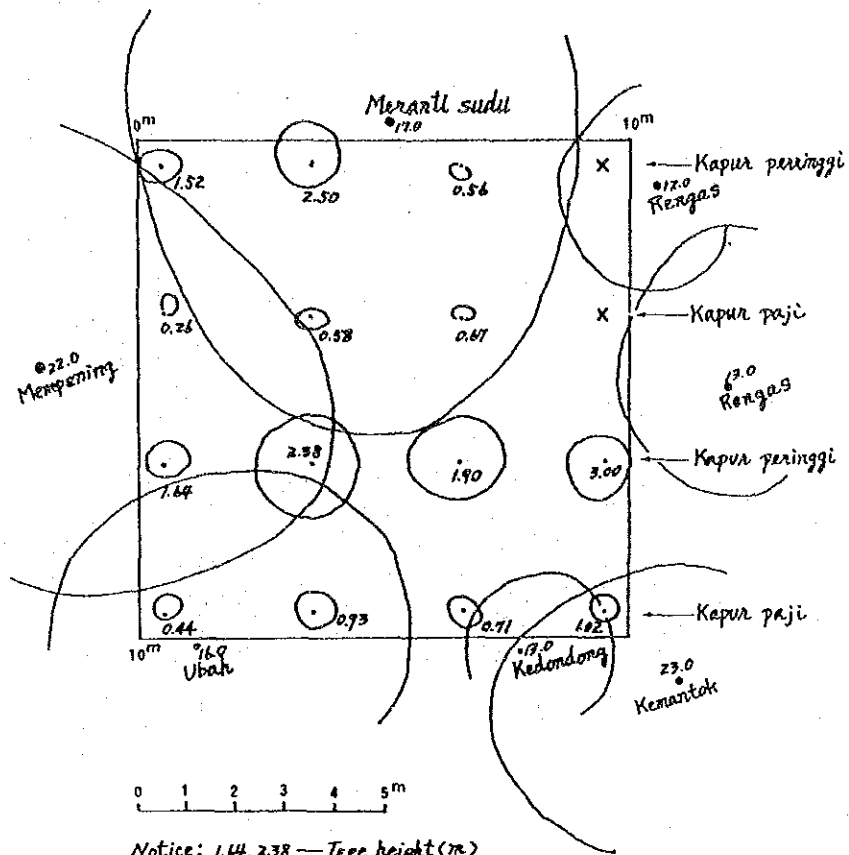
人工造林に必要な樹種の苗木を確保するためには、採用しようとする樹種の生物季節の把握につとめなければならない。フタバガキ科樹種は数が多く、その開花・結実時期や豊凶などの年変動もあるから、生物季節情報を得ることは容易なことではない。しかしこの作業は安定した種子を確保して、育苗技術の向上を目指すための基本である。これまで、生物季節情報が十分でなかったから種子の確保が難しく、そのため育苗技術開発が遅れて、山取り苗(苗畑へ移植して、根作りがされていない不良な山取り苗)を用いたために植栽結果がおもわしくなかった例は、熱帯地方で多く見聞される。

b. 樹種特性の吟味と安定した種子の確保

種子の形態や発芽には樹種特性がありこのような特性を吟味することにより、種子は安定して確保されるようになる。種子技術を高めることは育苗技術向上につながる訳である。

6.4.4. 保全を要する地域付近の更新

集落、主要な公道、交通や生活と密接にかかわり合いのある河川などの近くで森林造成開発をおこなうときは、Erosion が発生しないような更新法を採用すべきである。これらの保全を要する箇所では一定の林帯幅の天然林をそのまま保残したり、さらに風致的な森林施業をおこなったりして地域景観の保全につとめるなど、環境へのインパクトをやわらげる方法を講じていくことが大事である。



Notice: 1.64, 2.38 — Tree height (m)

Gap size — 10x10 m

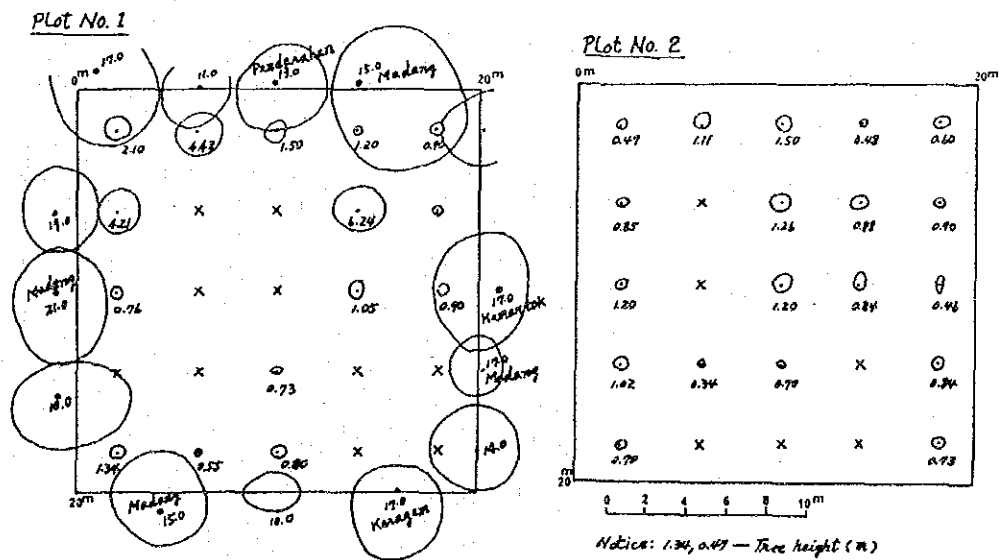
Tree species — Kapur peringgi, Kapur paji

Spacing — 3 x 3 m

Row No. — 4 x 4

Planted date — March 1989

Figure-21 Quadrat of gap planting (Plot No. 12)



Notice: 1.34, 0.49 — Tree height (m)

Gap size — 20x20 m

Tree species — Kapur peringgi

Spacing — 4 x 4 m

Row No. — 5 x 5

Planted date — Oct. 1988

Figure-22 Quadrat of gap planting
(Plot No. 1, Plot No. 2)

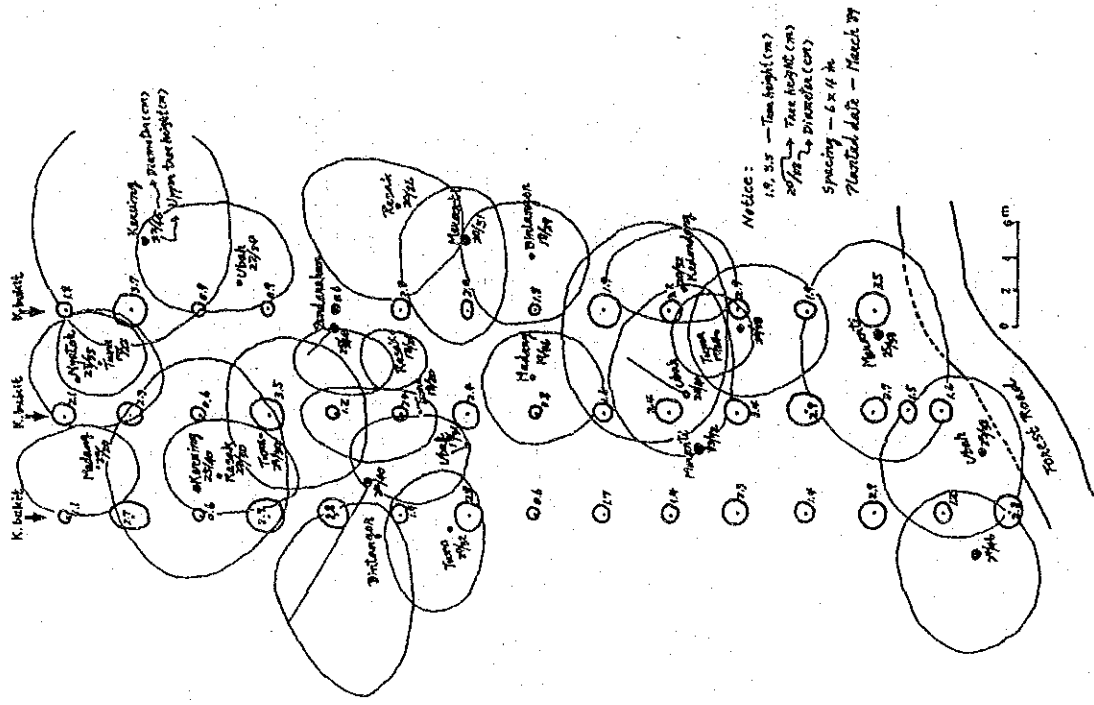


Figure-24 Survival and crown projection diagram of Kapur bukit enrichment (Block A)

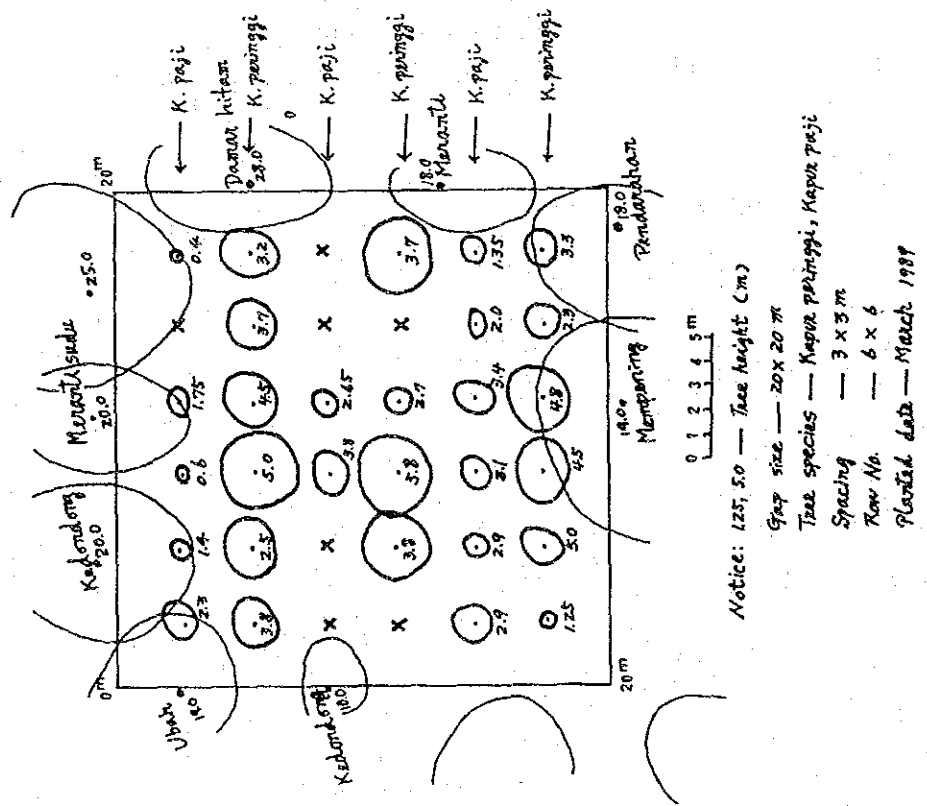


Figure-23 Quadrat of gap planting (Plot No. 13)

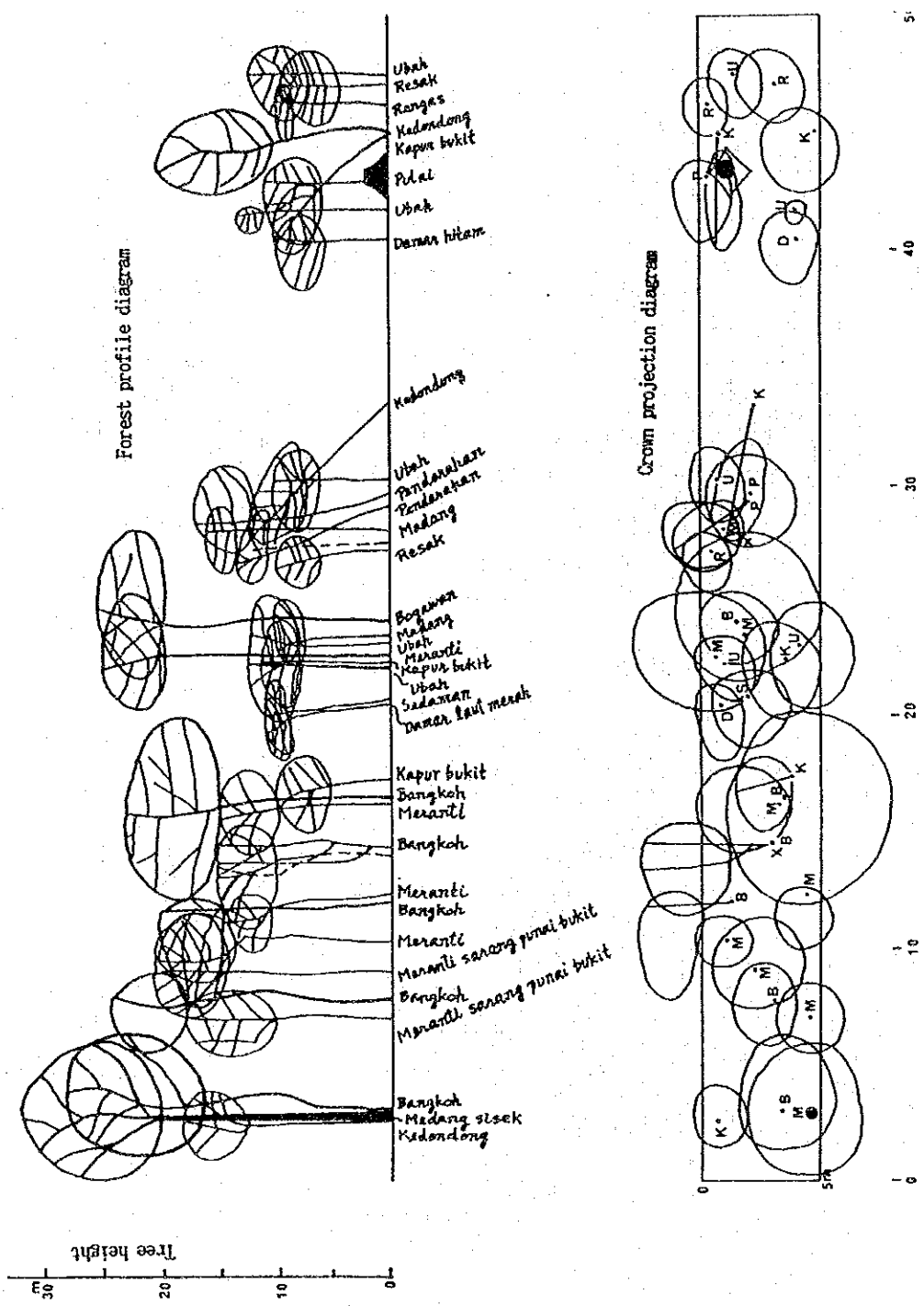


Figure-26 No.1 Belt-transect of natural forest at Bukit Sawat

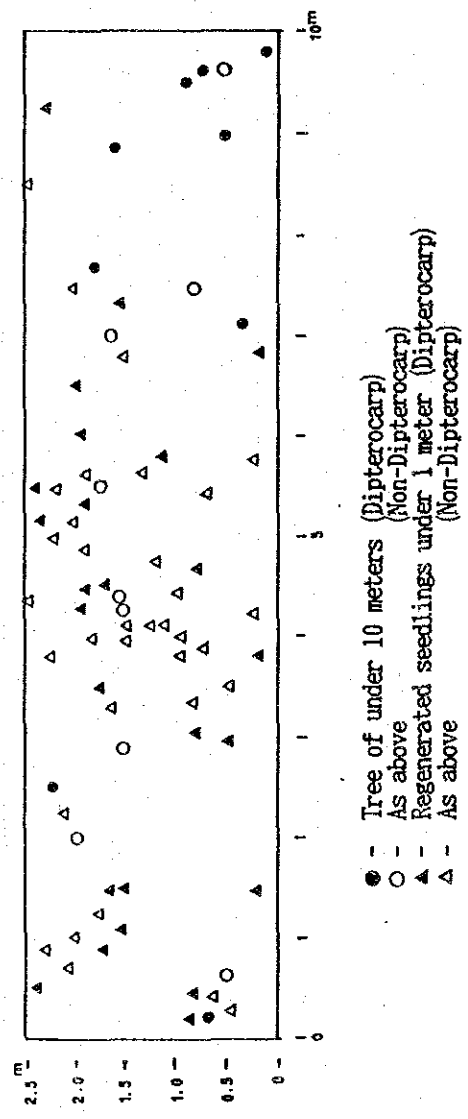


Figure-27 Lower storey trees and regenerated seedlings in No. 1 belt

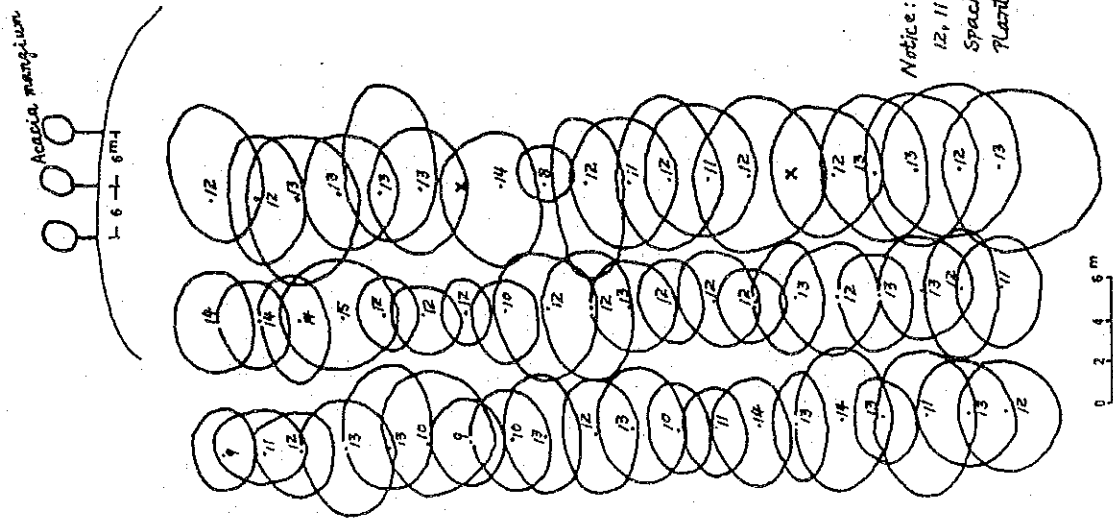


Figure-29 Survival and crown projection diagram of Acacia mangium (Block I)

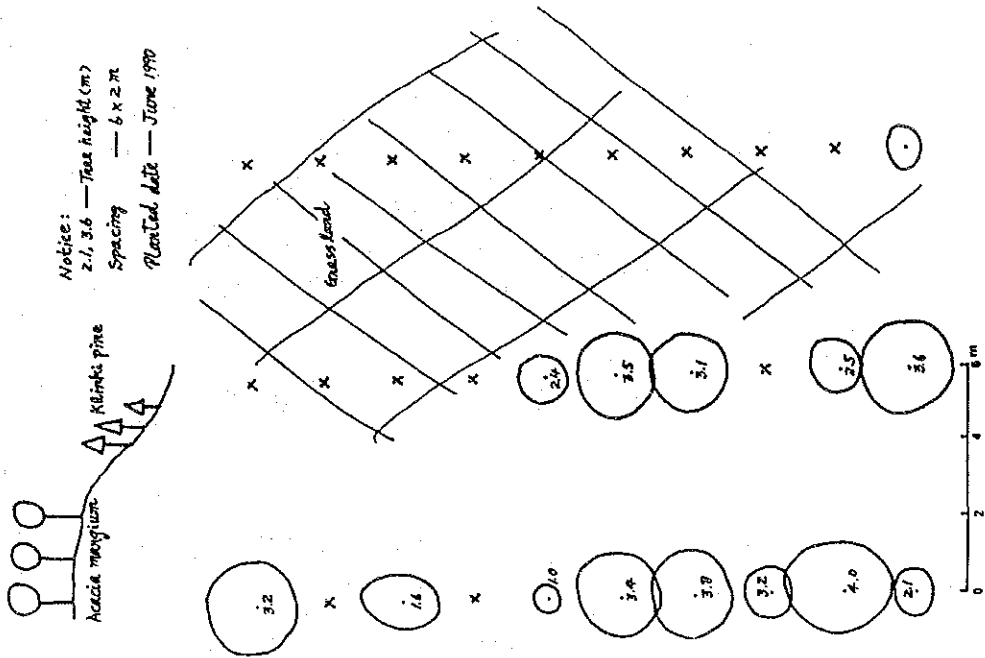


Figure-30 Survival and crown projection diagram of Klinki pine (Block F)

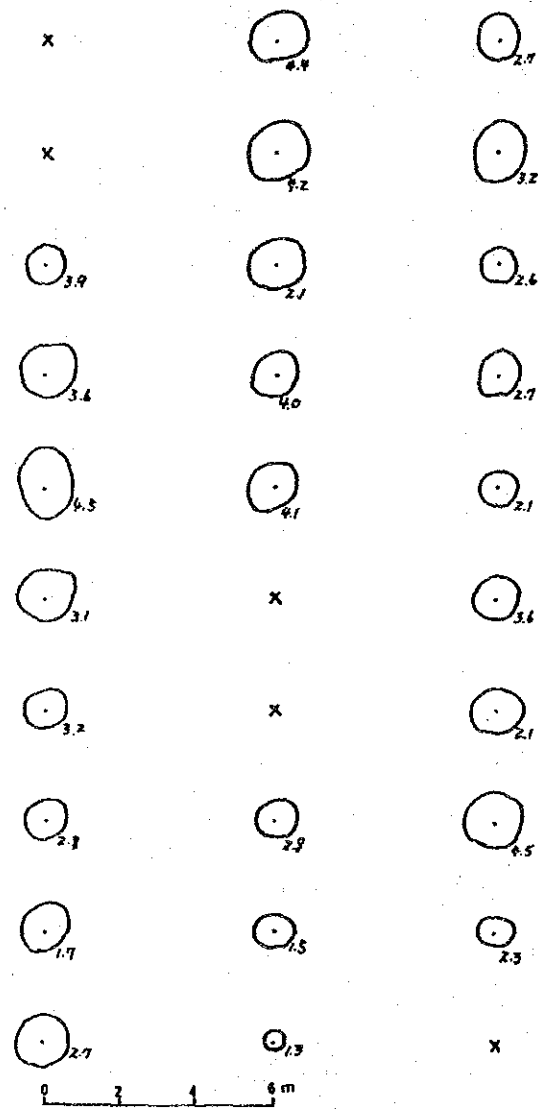
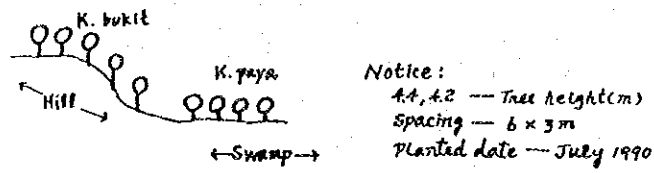
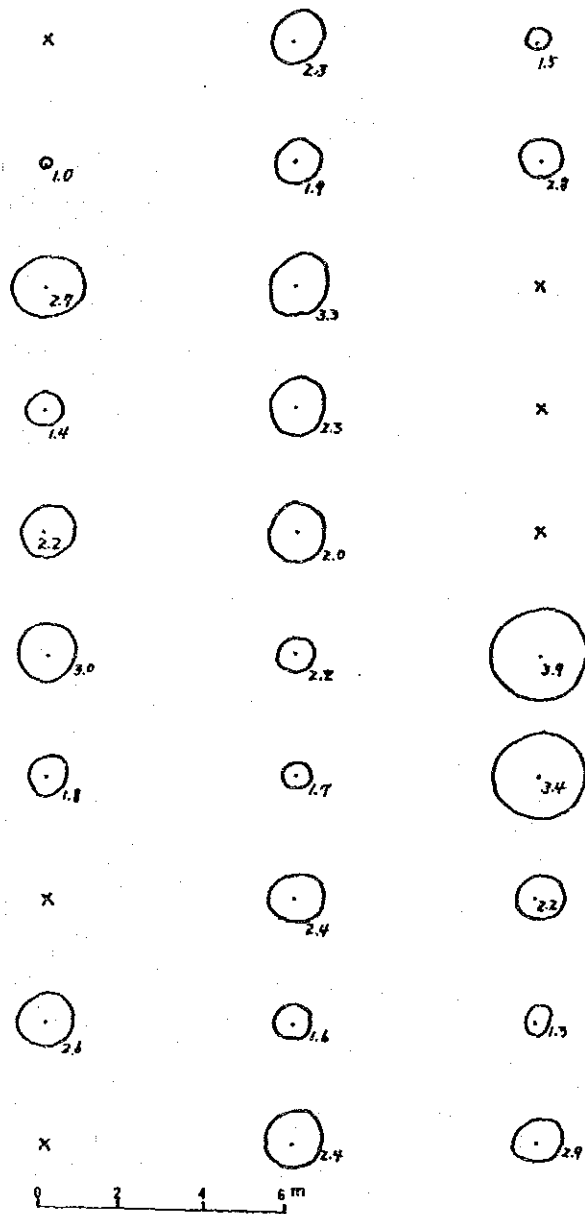


Figure-31 Survival and crown projection diagram of Kapur bukit (Block N)



Notice: 2.4, 2.9 — Tree height (m)
 Spacing — 6 x 3 m
 Planted date — July 1990

Figure-32 Survival and crown projection diagram of Kapur paya (Block N)

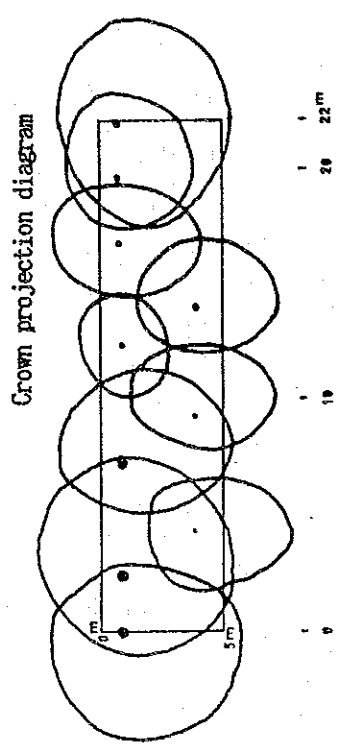
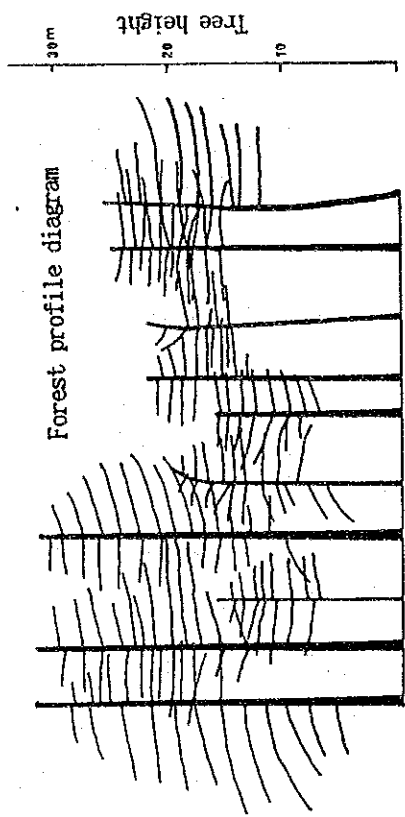


Figure-33 No. 3 Belt-transect of Klinki pine at Lamunin

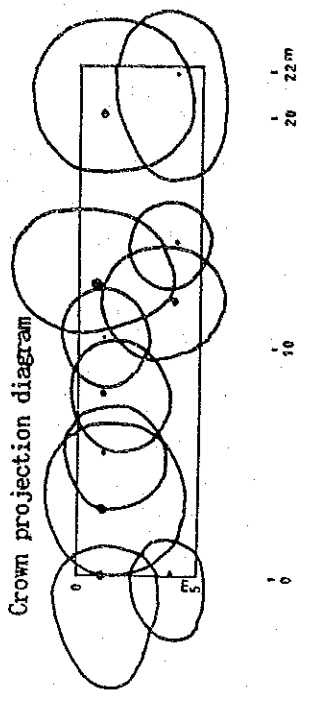
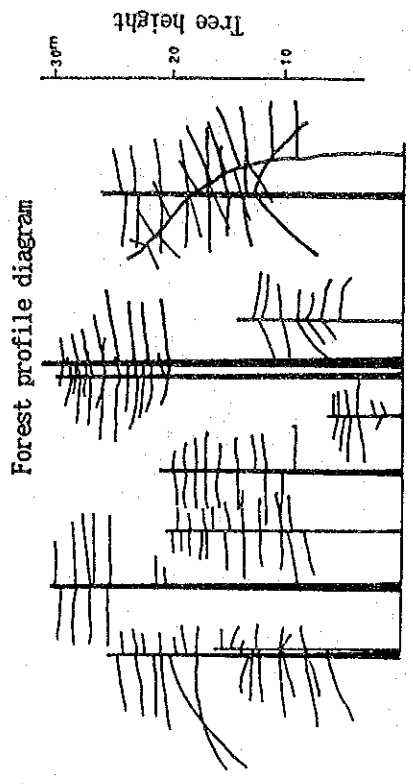


Figure-34 No. 4 Belt-transect of Klinki pine at Lamunin

7. 森林施業指針

モデルプランテーションエリアにおける森林施業は、単にプランテーションの造成(Development)という画一的な取扱いにとどまらず、森林の現状、地形、土壌型等施業対象箇所の状況に応じた適正な取扱いを行うことが望まれる。

したがって森林施業の基本的な考え方、その必要性を述べるとともに、現地調査の結果にもとづいた具体的な森林施業の指針および留意事項を以下に記すこととする。

7.1. 森林施業の目的

森林施業は合目的かつ適正に森林の取り扱いを時間的・空間的に秩序づけることとされており、Society of American Foresters 発行の“Terminology of Forest Science, Technology”(FAO/IFURO監修)によると、「一般的に定められた目的のために森林の作業と管理に対する科学的・社会経済的原則の実際の適用を言う。」と定義されている。

7.1.1. 林産物の持続的供給

林産物の持続的供給は森林施業の重要な目的の一つである。森林施業が制度的、技術的に適正に行なわれることによって、森林のストックにおいても、フローにおいても最適な状態を得ることができる。

7.1.2. 公益的機能の高度の発揮

森林施業を行ううえは林産物供給のみならず水資源の確保、環境の保全、災害の防止等森林の持つ公益的機能を高度に発揮させることを配慮して実施されなければならない。

7.1.3. 地域振興への寄与

伐採、造林など地域労働力の活用、林道の作設、林産物の加工等林業活動を行うことにより地域振興へ寄与し、もって地域住民の生活の安定を図ることが求められる。

7.2. 森林施業の方策

7.2.1. 森林資源の維持・培養

森林施業の基本は森林の内容(質)を将来に向けて維持・向上させることを第一義とすべきである。このためにはそれぞれの森林の現状を把握し、目的に応じた森林施業を行う必要がある。

7.2.2. 森林施業計画の樹立

森林生産力を上回る過度の伐採および更新方法の誤り等による森林内容の劣化、林地の荒廃等が熱帯林をめぐる世界的な問題としてクローズアップされている。収穫量の保続、環境の維持等森林の持つ多様な機能を十分発揮するためには森林施業計画を策定する必要がある。

(1) 土地利用区分

施業計画の立案に当たっては計画の対象地域を明確にしなければならない。すなわち、将来とも森林として存続させる地域と農耕地（休耕地を含む。）、牧場、その他の用に供する地域を区分し、前者について施業計画を樹立するものである。

(2) 森林施業方法の標準化

施業計画対象となる森林を施業の目的別に区分する。積極的に林業生産を行おうとする森林、林地の保全、環境の維持等のため保護すべき森林、前者については人工林施業を行う森林、天然林施業を行う森林など施業方法別に森林を区分し、それぞれの森林の施業方法を標準化することが重要である。

(3) 施業基盤の整備

林産物の搬出、人工林の造成、森林の管理等実際に森林施業を実施する場合に林道の作設、苗畑の造成等施業基盤の整備に係る計画の立案が不可欠である。

7.2.3. 環境保全への配慮

(1) 水土保全機能の維持

一般的に森林は生産的機能と公益的機能を持つと言われている。公益的機能のうち水土保全機能が国土保全上果たす役割は極めて大きい。すなわち、地下水基底流量の維持による効果（洪水の防止と渇水の緩和）は災害の防止と水資源の確保を助長する。また、土壌浸食に対しては樹冠または下層植生等による雨滴の遮断、雨水浸透能の増加による地表流の軽減、下層植生による地表流流速の緩和等の機能が浸食防止に効果的な要因として働く。森林施業実行上、木材生産という経済効果が重要なのは言うまでもないが水土保全機能の維持についても留意する必要がある。

(2) 森林生態系の保全

熱帯林の開発に関し、持続的な森林経営が命題とされており、最近はこれに加えて種の多様性の維持が重要視されている。森林地域における人間の社会活動、生産活動にはある程度の森林生態系の破壊は避けられないが、造林を実行する場合においても森林生態系を可能な限り保全することの配慮が必要である。

(3) 地域住民の生活環境

森林地域の住民は食料、飲料水、燃料等彼らの生活の多くを森林に依存している。一方林業活動、森林管理を行ううえで森林地域における住民の存在は不可欠である。

このような相互依存関係にある地域住民に対し、その生活環境を保全することは森林施業を実施するうえで極めて重要である。

7.3. 施業方法の基本的考え方

モデルプランテーションエリアにおける造林は「産業造林 (Industrial plantation)」の範疇に位置付けられ、産業造林は以下の諸点を満たすべきものとされている。

- ① 安定的かつ持続的に森林資源を利用できるよう適正な管理計画のもとに行う。
- ② 地域開発の中での対象地域のゾーニングを行い、他産業分野等との調和のとれた実施を考慮する。
- ③ 地域住民及び天然林を含む自然環境を考慮した造林計画を策定する。
- ④ 付加価値を高め効率的な生産を行うため、林産分野における研究開発、保育など維持管理が容易であるような技術開発を行う。
- ⑤ 適正な管理計画のもとに民間セクターを中心に推進するため、基盤整備、試験造林が必要である。

現在モデルプランテーションエリア北西部の Bukit Sawat地区においてForest Departmentによる大規模なSaw Timber Plantationの造成が実施されつつある。この実施状況を見ると上に示した産業造林の要件を概ねクリアーしているものと考えられるが、7.2.で述べた森林施業の方策に照らすと今後考慮されるべき諸点は以下のとおりとなる。

7.3.1. 森林施業に関する事項

(1) 伐採箇所

伐採/造林の全体計画にしたがって各年次ごとの伐採箇所の配置を決定する。航空写真、地形図、植生図、土壌図などを活用し、現植生を保全する区域、植栽を行なう区域を区画し、その他林道・作業道を計画する。

大面積の皆伐・造林は一般的に森林の健全性、環境の変化という面で次のような問題がある。

- a. 皆伐による腐植層 (Humus layer)の流亡と落葉落枝 (Litter) の供給停止
- b. 裸地化による浸食の加速
- c. 一斉造林による病虫害の危険性の増大
- d. 皆伐にともなう水質汚濁と水源の枯渇
- e. 集落に対する生活環境の変化

このような問題を回避するためには伐採箇所はできるだけ分散させ、伐採区域の面積を小さくする必要がある。また伐採区域を連続させないため尾根筋等には保残帯 (Reserved belt)を 設置するなどの工夫が望まれる。

川岸、道路法面の保護のため川沿い、道路沿いには保残帯を設置するなどの配慮が望ましい。

(2) 集材

集材はトラクターによって行われる場合が一般的であるが、この方法はCrawler および被牽引材による林地表面層の破壊が著しい。Forwarder による集材はトラクターに比較して林地を傷めることが少ないが、まだ一般的ではなく、また傾斜地には不適であることからこれを普遍的に用いることには無理がある。

集材による林地の荒廃を抜本的に防止することは不可能なので、伐区を分散させて荒廃箇所も分散させるのが妥当な方法と言える。集材路はBrosion の引き金となることが多いので、急勾配の箇所は集材を終えた後編柵工等で土留めを行なうなどの配慮が望ましい。

(3) 地ごしらえ

地ごしらえは地表植生を刈り取り、散乱している末木枝条、未利用木等を片寄せるなどして、植栽を容易にかつ確実にするために行なう。

熱帯林の皆伐跡地の地ごしらえは火入れによって行われることが多い。火入れ地ごしらえはシロアリ等虫害の予防に有効とされており、炭が植栽木の成長促進に効果をもたらすとも言われている。また火入れ地ごしらえは火の管理の面から大面積に行うほうが効率的とされるが、この場合地表植生まで焼き尽すなど生態系の破壊は否定できない。したがって火入れ地ごしらえの問題点も伐区を小面積で分散させることによってある程度解消できるのではないか。

火入れは伐採後非利用木や末木枝条の乾燥を待って2～3カ月後行われるが隣接林分への類焼を防ぐため細心の注意を払うことは当然である。

トラクターによる地ごしらえも林地表土の攪乱等の問題もあるが、残存する放置木の処理などに用いることはやむを得ない。末木枝条などはChain saw にて細断し、列間に集積・柵積みなどの地ごしらえ方法も採用すべきであろう。

(4) 更新、樹種を選択

造林の成果は「適地適木」による樹種を選択を前提に、苗木の遺伝的素質、環境条件、保育技術によって発揮される。

モデルプランテーションエリアにおいてForestry Department が採用を決定している樹種はKapur、Mangium およびKlinki pine である。

これらの樹種の中でMangium およびKlinki pine は外来樹種 (Exsotic species)である。FAOが早生樹種のIndustrial plantation を推奨して以来、熱帯各国は外来樹種の導入も含めてそれぞれの国の実情にあった造林を進めてきている。いくつかの国では一定の経験のもとで採用樹種の選定が定着もしくは定着化しつつあるが、他の多くの国においてはいまだに試行錯誤の段階にあると言える。

外来樹種は

- a. 世界各地で導入されており、経験、研究成果も多い。
- b. 一般的に成長が早く、適応性も広い。
- c. 購入も含めて種子が確保しやすい。

などの長所がある。

反面外来樹種の導入は異なった生態系に割り込むこととなるため、新たな環境への適合性のほか、病虫害の危険性にさらされていることを認識しなければならない。

外来樹種を導入する場合、今後これら病虫害から少しでも回避できるような方策を整えておく必要がある。一つには幅広い遺伝子系（型）を確保するためできるだけ異なる産地のものを導入することなどである。

Mangium はAustralia のQueensland北部が原産である。この樹種は土地に対する要求度は低く、きわめて旺盛な成長を示すことで知られている。材も堅くて緻密なことから用途もパーティクルボードなどに適しているほか、パルプとしても利用される。Mangium は荒廃地や草地の造林には適した樹種といえるが、良質な天然林を伐採した後の造林樹種としては疑問がなくはない。

Klinki pine は New Guinea島の標高 600mから 1,500mに分布し、場所によっては 2,500m程度まで自生している。樹高は50m以上にも達し、大径木は合板用丸太として利用される有用樹種である。しかし自生地の標高からはるかに低い 100m以下の地域に造林した場合、今後の成育の状況を注意深く観察する必要がある。なおKlinki pine の造林は肥沃地が適しているといわれている。

Kapur は郷土樹種であるが、フタバガキ科 (*Dipterocarpaceae*) の一般的な性質として結実の豊凶の差が年によって大きい。また種子の貯蔵についても研究の成果が少なく、一般的に長期の貯蔵に耐えないといわれていることから安定した苗木の生産が難しい面がある。

現在実施されているKapur の造林はSungai Liangの苗畑で生産された実生苗のほか山引苗を使用している。山引苗は苗木のT/R率など形質が良くないほか、遺伝的性質も一定でないところから今後に向けて選別された実生苗の供給体制を整備していく必要がある。

Kapur の造林については通常の造林のほか、既に試験的に実施されているLine planting、林内の一部を伐開しここに植栽を行なって人工的に天然林を補正していくEnrichment planting の手法の積極的な導入を提案したい。

また調査地周辺にはAgathis の純林に近い林分が存在する。調査地内南部にもKerangasが点在するのでこのような箇所にはAgathis の造林を検討してもよいのではないかと。

植栽時期は活着率の向上のため一般的に雨期の直前に行くが、ブルネイ国において雨期・乾

期の差が明瞭でないので経験的に行わざるをえない。また植栽に当たっては活着率の向上のため根系と土壌が密着するよう周囲を踏み固める必要がある。

(5) 補植・改植

一般的に、植栽後2～3カ月後以内に活着調査 (Success survey) を行ない、枯損したものを同一シーズン内に植え替えることを補植 (Supplementary planting) といい、活着率が著しく低い場合、翌シーズンに全面的に植え替えることを改植 (Replanting) と呼んでいる。ブルネイ国の場合は上記両者を総称して Vacancy planting といい、活着調査で90%未満の活着率であればこれを行なうこととされている。

この場合枯死した原因を調査し、枯死原因を除去して植栽する。

(6) 保 育

保育作業には下刈り、つる切り・除伐、枝打ち、間伐のほか施肥が含まれる。

a. 下刈り (Weeding)

下刈りは雑灌木・下草が植栽木の丈に達する前に行う必要がある。下草等の発生状況にもよるが、湿潤な熱帯地方では植栽後2、3年までは一成長期間に2回程度は行なわれる。火入れ地ごしらえを行なった箇所については植栽当年は下刈りを省略することも可能であるが、2年目からは少なくとも2回は実施する必要がある。

下刈りは植栽木の丈が下草等から抜け出るまで行なう。

下刈り方法は全刈り (Complete weeding)、筋刈り (Strip/Line weeding)、坪刈り (Spot weeding) があり、植栽木の性質、下草の発生状況、気象条件等により最適な方法が採用される。

b. つる切り・除伐 (Climber cutting、Improvement cutting)

湿潤な熱帯林ではつる植物 (Climbers) の発生が旺盛であって、これらから植栽木を保護するためにつる切りを実施する。熱帯では人工林・天然林を問わず不成績の原因がつる被害による場合が多い。

つる切りは下刈り終了後も年1は行なうようにしたい。

広葉樹には萌芽 (Coppice shoot) 力の旺盛なものが多く、天然林を伐採して人工林化した場合には切り株から発生した萌芽が往々にして植栽木の成長を阻害するので除伐を行なう。この場合有用木は努めて存置するようにしたい。

除伐は植栽木の枝葉で林地がうっ閉 (Crown closure) されるまで最低2回程度行なう必要がある。

c. 枝打ち・間伐 (Pruning、Thinning)

枝打ちは無節の通直材を生産目的とする場合、自然落枝しにくい樹種について行なう。

間伐は植栽木相互が競合し始める前に形質不良木、あばれ木等を除去し、林分の現況に適切

な立木本数に誘導するために行なう。

間伐率は、樹種ごとに林分成長経緯が明らかにされている場合には、立木本数による方法、胸高断面積による方法、最も緻密な方法として林分密度管理図による方法等がある。

これらによらない場合は他の類似樹種を参考にしながら経験的に行なうこととなる。

樹種による樹形、成長の違いによるが、FijiにおけるCaribbean pineの林分密度管理図*によれば10年生と20年生に本数でそれぞれ30%程度の間伐を行なうこととなっている。（* 熱帯造林計画基準、JICA、1983）

d. 施肥 (Fertilising)

林地施肥は瘠悪地 (Infertile forest land)の造林、マツ類などの再造林 (Reforestation)では有効であろう。

一部の産業造林で成長を促進し、収量を高めることを目的として林地施肥が行なわれている事例はあるが、本来は自然条件下での物質循環によって消費・供給の収支が均衡するようにするべきである。そのためには根粒を形成する樹種が望ましい。（熱帯の造林技術、浅川澄彦、1992）

林地施肥を行なう場合には収穫時点における投資効果について検証を行なうことが今後の課題である。

(7) 保護

造林地の保護は主として病虫害の防除と山火事の予防である。

病虫害の防除は適切な保育作業を行なうことが最も有効である。しかし単一樹種による大面積の一斉造林、しかも外来樹種の場合は病虫害の危険性は極めて高いと言わざるを得ない。外来樹種による大面積造林の病虫害発生例として、近年マレーシアにおいてMangiumの心腐れ病 (Heart rot)が大発生しており、これは10年生を超える林分に顕著であると報告されている。この場合においても一造林面積の縮小を図ることは有効である。

山火事の予防は関係者、周辺住民の山火事に対する認識を高めることが最も肝要である。一端発生した場合に対して消火体制の整備は重要であり、林道等の整備が消火活動に非常に有用なことは当然である。

7.3.2. 基盤整備に関する事項

(1) 苗畑

モデルプランテーションエリアに対する苗木の供給は、現在主としてSungai LiangにあるForest Departmentの苗畑が行なっている。本苗畑は播種床、育苗床、日覆い施設、灌水施設等ハード面が整備されているほか、苗畑Specialist、熟練した苗畑作業員等ソフト面でも充実されている。

苗畑から植栽地までの苗木の搬送距離は、山出し苗 (Planting stock) によって異なり、スタンプ苗 (Stump stock) の場合は2週間程度の輸送にも耐えると言われている。道路が整備されたならば通常の苗であっても本苗畑でモデルプランテーションエリアはカバーできることになるが、将来造林が奥地に移動した場合、ポット苗は輸送コストがかさむので植栽と苗木供給の連携を図るためにも、Belait川流域とTutong川流域に各1カ所苗畑を増設したい。

苗畑の立地としては年間を通じて水が確保できることが最重要であり、排水が良好なことも必要とされる。このため乾期においても流水の枯れることのない川の河岸段丘上に設けるのが望ましい。河川勾配の状況から堰堤の建設による自然流下は困難なので、ポンプアップに頼らざるを得ないであろう。また苗畑労働力の確保のため集落周辺に設置することも考慮する必要がある。

育苗地の面積は育苗期間、得苗率によって異なるが、ポット苗の場合100万本の苗木生産につき1haが標準とされている。

(2) 林道

林道は木材の搬出、造林のための苗木の運搬、作業員の輸送、森林の管理等に不可欠である。

調査地域の道路状況は「1.2. 調査地域」の項で述べたとおり北部で比較的密であるのに対して南東部においては希薄である。既存の国道・林道が約120km、計画路線が約30kmで合計150km、路網密度は3m/haに過ぎない。

林道の全体計画をたてる場合、先ず路網密度を定め最終目標の林道延長が決定される。しかし調査地域の場合、路網密度を仮に10m/haとすると道路延長は500kmとなり、新設を要する林道は350kmの長距離となる。したがってここでは必要最小限の延長にとどめ、公道と連絡し、広域の森林を管理運営するための幹線林道 (Main access roads) のみについて考えることとした。

この幹線林道のレイアウトはモデルプランテーションエリアの南部および東部を通過する循環路と中央部を東西に連絡する短絡路とした。

林道を計画するに当たって重要なことは最急勾配の決定である。現在調査地域南部で建設中の国道は縦断勾配が16%以上となっている箇所がある。今後作設する林道において舗装されないことも考慮するならばこの勾配では雨期には通行不能となり、また路面のガリーの発生など保守上でも問題がある。このことから最急縦断勾配は7%が妥当であると考えた。

当該地域は小起伏波状地形を呈しているため、あえて尾根沿いに林道を配置すると上記の勾配にとどめることが困難となる。したがって林道の配置は湿地帯を避けながら山裾部を通すこととした。

地形図上では詳細な状況を把握することが困難なので、実施測量時にこの点に留意して路線

を決定するようにしたい。また設計・施工時の留意点は以下のとおりである。

- a. 大切土、大盛土等大断面の施工は避けること。
- b. 盛土箇所は十分転圧すること。
- c. 法面は早期に緑化すること。
- d. 素掘りの側溝は大きな断面とし、5%を超える勾配が連続する場合には100mごとに側溝排水を設けること。
- e. 滞水するような箇所は水抜きを設けること。
- f. 横断排水の呑・吐口には集土工、流末工を設置すること。

(3) 治山

モデルプランテーションエリアで森林施業を実施する際には、元来森林が持つ水土保持機能の維持にも配慮する必要がある。特に、森林の伐採後、植栽するまでの過程において浸食や洪水を招く恐れがある。したがって、森林施業の方法自体に十分留意するほか、水土保持機能を補完する治山施設の整備を検討する必要がある。

a. 森林伐採と水土保持

1) 浸食

一般に、森林の伐採は土性（透水性）、地表被覆および降雨強度に影響を与え、これら因子の変化が浸食量を大きくする。熱帯地方では有機物の分解が早いため、これらの変化は森林伐採後1年以内に急激に進行し浸食が発生し易くなる。また、モデルプランテーションエリアの土は非常に浸食され易い砂質土で、浸食の危険性は基本的に大きい。

伐採後浸食が発生しても、早期に草や灌木が生育して地表面を被覆すれば浸食は減少する。しかし、草や灌木が侵入する前にガリー浸食が発生すると、流水はますます集中するため、ガリー浸食は継続的に拡大する。

2) 洪水

森林の伐採は、洪水ピーク流量を表す要因のうち、流出係数、洪水到達距離集中度および降雨強度を変化させ、洪水ピーク流量の増加をもたらす。その結果、伐採後の洪水ピーク流量は伐採前の2～3倍になる場合がある。浸食等により土砂が河川まで流出した場合、土砂の混入により洪水ピーク流量はさらに増加する。

モデルプランテーションエリア内の伐採にともなう洪水ピーク流量の変化は現在顕著ではないが、今後同一流域内の森林伐採が累加されると、下流の洪水問題が深刻化する恐れがある。

b. 水土保持に配慮した森林管理

モデルプランテーションエリアの水土保持で検討する対象は土壌浸食と洪水であり、これらの防止に配慮した森林管理について検討する必要がある。この森林管理はソフトとハード面の

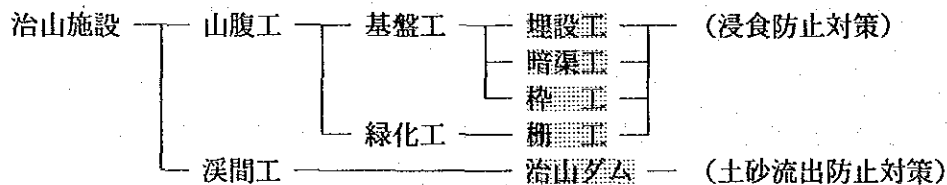
方策に大別される。

<ソフト面>	→	予防対策	……	水土保持に配慮した森林施業
<ハード面>	→	復旧対策	……	森林の持つ水土保持機能を補完する治山施設

ソフト面での森林管理とは、土壌浸食や洪水の発生を未然に防止する予防対策であり、水土保持に配慮した森林施業の実行が具体的な方策となる。これについては、「7.3.1. 森林施業に関する事項」を参照されたい。

したがって、ここではハード面での森林管理、すなわち森林の持つ水土保持機能を補完する治山施設について述べる。この治山施設は、直接的には浸食地の復旧と土砂の流出防止を目的とするが、間接的に洪水の防止に効果を発揮するものである。

「6.4.1. 浸食の防止対策」で述べたように、モデルプランテーションエリアにおいて水土保持機能を維持、発揮するためには、以下に述べる治山施設が必要である。



① 埋設工 (App. Figure-6、7 参照)

目的：不安定状態にあるガリー頭部や側壁を安定方向へ導く。

資材：小丸太、枝条 (モデルプランテーションエリアは小起伏、緩傾斜という地形を呈し、砂質土という土質条件であるため、現地調達可能な小規模かつ簡易なものを利用する。)、フトン籠 (縦浸食が深い箇所等で背面土圧が比較的大きい場合に用いる。)

② 暗渠工 (App. Figure-8 参照)

目的：ガリー底部における浸透水の流速を低下させ浸食の防止を図る。

資材：枝条 (ガリー底部に現地調達可能な枝条を付設し、周辺の土砂を埋め戻す。)

③ 柵工 (App. Figure-9 参照)

目的：特に急勾配箇所において、面的に広く斜面を安定させ斜面浸食による表土の移動を防止する。

資材：丸太 (杭および縦、横の柵に現地調達可能な資材を利用する。)

④ 柵工 (App. Figure-10 参照)

目的：裸地面において表面流の分散化と流速緩和を図ることにより、表土の流亡およびガリーの発達を防止する。

資材：丸太、枝条 (柵や柵を支える杭に現地調達可能な資材を利用する。)