

半乾燥気候・石灰岩地帯における 森林回復技術指針

～インドネシア国東ヌサテンガラ州の半乾燥気候・石灰岩地帯に
おける森林回復実証試験を基にして～



公益財団法人 国際緑化推進センター

平成27年3月

半乾燥気候・石灰岩地帯における 森林回復技術指針

～インドネシア国東ヌサテンガラ州の半乾燥気候・石灰岩地帯に
おける森林回復実証試験を基にして～

仲摩栄一郎，太田誠一，森徳典，大角泰夫，佐々木恵彦
公益財団法人国際緑化推進センター

公益財団法人 国際緑化推進センター

平成27年3月

まえがき

過去数十年間にわたり、発展途上国を中心として森林の劣化・減少が続いている。FAO 統計によれば、2000 ～2010 年の 10 年間にわたり、毎年 1,300 万ヘクタールの森林が土地利用転換や山火事等の自然災害等によって減少したと報告されている。一方、植林や天然力により、毎年約 780 万 ha の森林が回復されているが、毎年約 520 万 ha の森林が純減少しているのが現状である。

森林が農地へ転換された後、適切に農地として持続的に利用管理されれば問題は少ないが、森林が失われた後に問題土壌が発生し、耕作不可能地となってしまう、放置され荒廃地化する場合もある。発展途上国、特にインドネシアでは、近年、半乾燥気候下で森林が失われ、農業や牧畜業が行われると、土地の生産性が低下し、放置され荒廃地化する場合があり大きな問題となっている。

このような半乾燥気候下の荒廃地において、いかにして森林を復旧するかが、途上国のみならず地球規模での喫緊の課題となっている。この課題に対処するために、林野庁補助事業「途上国森づくり事業（開発地植生回復支援）」が平成 23 年度から 4 年間で実施された。本事業では、インドネシア国東ヌサテンガラ州の半乾燥気候・石灰岩地帯において、その環境条件、特に土壌条件に着目し、現地調査やモデル林造成等の実証活動を通して、自然科学的なデータを踏まえた上での適切な整地・地拵え、樹種選択や植栽方法を開発することを目的とした。そして、開発した技術を普及するために、本技術指針を作成した。

本事業を進めるにあたり、林野庁森林整備部計画課海外林業協力室にご指導を頂いた。また調査の企画実行にご指導をいただいた開発地植生回復支援部会（部会長小島克己氏、井上真氏、岡部宏秋氏、加藤健次氏、坂井睦哉氏、砂入道夫氏、田原恒氏）の委員各位ならびに現地調査、実証活動等にご協力を頂いた現地カウンターパートのインドネシア林業省流域管理総局及びブナイン・ノエルミナ流域管理署、林業省研究開発局クパン支所ならびに東ヌサテンガラ州ソエ県林業局をはじめとする関係者の皆様に厚く御礼申し上げる。

平成 27 年 3 月
公益財団法人国際緑化推進センター
理事長 佐々木 恵彦

半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復技術指針

目次

第1章 背景と目的.....	1
1-1. インドネシア国東ヌサテンガラ州の森林植生と荒廃の現状	1
1-2. 半乾燥気候下の荒廃地における森林造成の基本的考え方	3
第2章 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復の技術的要件および実施手順	4
2-1. 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復の技術的要件	4
2-2. 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復のための実施手順(デシジョンツリー)	5
第3章 半乾燥・隆起珊瑚礁石灰岩地帯に出現する土壌の区分と特徴	6
3-1. 半乾燥・隆起珊瑚礁石灰岩地帯の土壌環境	6
3-2. 土壌－地形－土地利用の関連性	8
3-3. 緑化、森林回復が想定される土壌の区分	8
第4章 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林造成技術.....	11
4-1. 植林樹種を選択および育苗方法の改善	11
4-2. 植林後の乾燥に対する土壌物理性の改善および地拵えなどの対策.....	13
4-3. 植栽時期の選択および植栽後の給水	21
4-4. 推奨技術のまとめ.....	22
第5章 植林後の保護(動物被害防止対策、山火事防止対策).....	24
5-1. 動物被害防止対策.....	24
5-2. 火災被害防止対策.....	24
引用文献(50音順)	27
添付資料.....	28
A1. 東ヌサテンガラ州における石炭採掘跡地の森林回復実証試験に用いた植栽樹種の土 壌・気候条件への適性判断.....	28
A2. (同上)植栽樹種特性.....	29
A3. インドネシアにおける造林樹種および果樹等の樹種特性一覧表	37

第1章 背景と目的

1-1. インドネシア国東ヌサテンガラ州の森林植生と荒廃の現状

本書は林野庁の「途上国森づくり事業」の一つである「開発地植生回復支援事業」（平成23年～26年）において得られた成果を基に編纂したものである。本支援事業の主な活動は、インドネシア国における石炭採掘跡地の酸性土壌とそれに対比する過利用農牧開発地のアルカリ性土壌における森林回復のための森林造成技術開発である。そこで前者は熱帯降雨林気候帯に属する南カリマンタン州の石炭採掘跡地に、後者は熱帯サバナ気候帯に属する東ヌサテンガラ州西チールに、それぞれ植林モデル試験地が設定された。この技術指針書は後者、東ヌサテンガラ州における荒廃した農牧開発地の森林造成に関わる技術指針をまとめたものである。この指針書は東ヌサテンガラ州に限らず東南アジアに広く分布する熱帯モンスーン林帯、例えばインドネシア国東部の諸島、インドシナ半島中部、フィリピン西部、PNG 南部～オーストラリア北部などで石灰岩を基岩とする地域にも応用が可能であろう。

植林試験地の近傍都市であるバンジャルマシン市（熱帯降雨林気候帯）とクパン市（熱帯サバナ気候帯）の月別降雨パターンの事例を図1に示した。東ヌサテンガラ州のクパン市は気象データ（2012年～14年）から見ると、年降雨量は凡そ1,500～2,000mmの範囲にあり、そのほとんどは11月から3月の雨季に集中し、5月から10月までの乾季の3年間の年平均合計雨量は約80mmのみである。東ヌサテンガラ州の諸島では、北西海岸側より南東海岸側で雨量が少ない傾向にあるが、東ヌサテンガラ州の南東海岸の年降雨量が1,000mmを割ることは少ないと思われる。ケッペンの気候帯区分からすると、この島は熱帯サバナ気候帯に属するが、UNEPによる乾燥地区分では乾性半湿潤帯（熱帯地域では年降雨量800mm以上）に属している。したがって、東ヌサテンガラ州は半乾燥気候地の中では比較的湿潤な地域と言えるだろう。

第2章において詳説するように、東ヌサテンガラ州は隆起石灰岩地帯に属している。したがって、数か月の無降雨の乾季と弱アルカリ性土壌に耐性のある高木（乾燥または湿潤落葉広葉樹など）の閉鎖林の成立が可能な地域である。しかしながら、後述するように、過去において頻度の高い人間活動によって自然森林植生の乾燥ステージへの移行が生じた結果、かなりの地域で比較的湿ったサバナ植生（草原に密度の低い中低木の群落）となっている。こうした人間活動によって荒廃した土地を自然植生に近い森林に回復することや地域住民生活の向上に資する林産物・果樹生産の振興を図ることを州政府や地元住民は要望している。なお1997出版の *Ecology of Nusa Tenggara and Maluku* (K. A. Monk *et al.* 1997) によれば、クパン市の1980年の平均年降雨量と乾季の長さは現在と同じであるが、乾季の総雨量は300mmを超えており、近年はやや乾燥化が進んでいるかもしれない。

第1章 背景と目的

1-1. インドネシア国東ヌサテンガラ州の森林植生と荒廃の現状

本書は林野庁の「途上国森づくり事業」の一つである「開発地植生回復支援事業」（平成23年～26年）において得られた成果を基に編纂したものである。本支援事業の主な活動は、インドネシア国における石炭採掘跡地の酸性土壌とそれに対比する過利用農牧開発地のアルカリ性土壌における森林回復のための森林造成技術開発である。そこで前者は熱帯降雨林気候帯に属する南カリマンタン州の石炭採掘跡地に、後者は熱帯サバナ気候帯に属する東ヌサテンガラ州西チールに、それぞれ植林モデル試験地が設定された。この技術指針書は後者、東ヌサテンガラ州における荒廃した農牧開発地の森林造成に関わる技術指針をまとめたものである。この指針書は東ヌサテンガラ州に限らず東南アジアに広く分布する熱帯モンスーン林帯、例えばインドネシア国東部の諸島、インドシナ半島中部、フィリピン西部、PNG 南部～オーストラリア北部などで石灰岩を基岩とする地域にも応用が可能であろう。

植林試験地の近傍都市であるバンジャルマシン市（熱帯降雨林気候帯）とクパン市（熱帯サバナ気候帯）の月別降雨パターンの事例を図1に示した。東ヌサテンガラ州のクパン市は気象データ（2012年～14年）から見ると、年降雨量は凡そ1,500～2,000mmの範囲にあり、そのほとんどは11月から3月の雨季に集中し、5月から10月までの乾季の3年間の年平均合計雨量は約80mmのみである。東ヌサテンガラ州の諸島では、北西海岸側より南東海岸側で雨量が少ない傾向にあるが、東ヌサテンガラ州の南東海岸の年降雨量が1,000mmを割ることは少ないと思われる。ケッペンの気候帯区分からすると、この島は熱帯サバナ気候帯に属するが、UNEPによる乾燥地区分では乾性半湿潤帯（熱帯地域では年降雨量800mm以上）に属している。したがって、東ヌサテンガラ州は半乾燥気候地の中では比較的湿潤な地域と言えるだろう。

第2章において詳説するように、東ヌサテンガラ州は隆起石灰岩地帯に属している。したがって、数か月の無降雨の乾季と弱アルカリ性土壌に耐性のある高木（乾燥または湿潤落葉広葉樹など）の閉鎖林の成立が可能な地域である。しかしながら、後述するように、過去において頻度の高い人間活動によって自然森林植生の乾燥ステージへの移行が生じた結果、かなりの地域で比較的湿ったサバナ植生（草原に密度の低い中低木の群落）となっている。こうした人間活動によって荒廃した土地を自然植生に近い森林に回復することや地域住民生活の向上に資する林産物・果樹生産の振興を図ることを州政府や地元住民は要望している。なお1997出版の *Ecology of Nusa Tenggara and Maluku* (K. A. Monk *et al.* 1997) によれば、クパン市の1980年の平均年降雨量と乾季の長さは現在と同じであるが、乾季の総雨量は300mmを超えており、近年はやや乾燥化が進んでいるかもしれない。

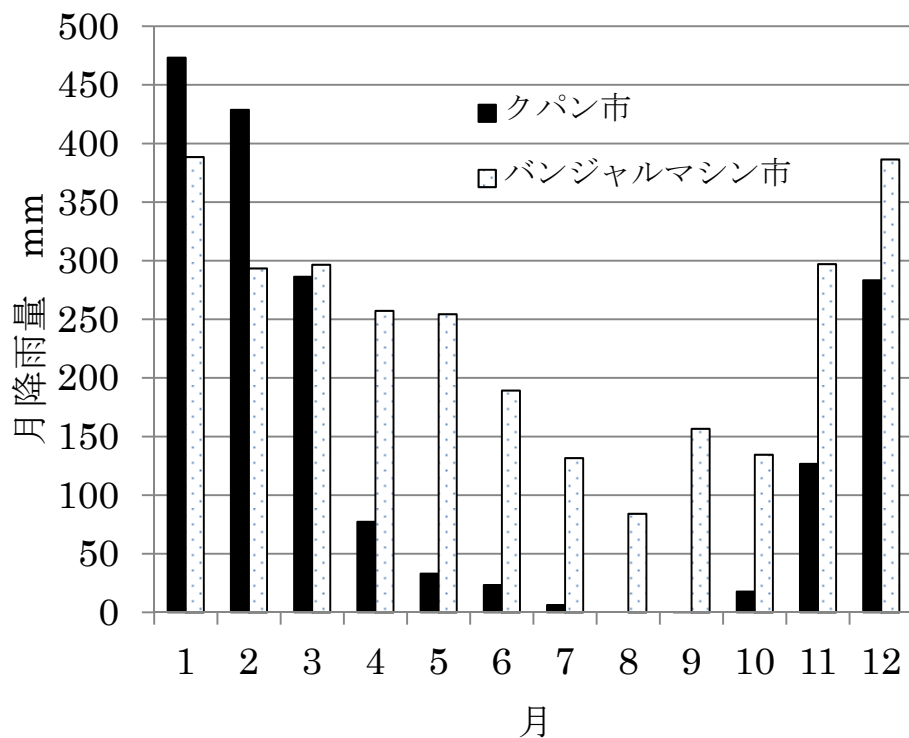


図1 バンジャルマシン市（平年値）とクパン市（2012～14年の平均値）の月別降雨量。
両市の年降雨量及び月平均気温範囲：バンジャルマシン 2,870mm・26.1～28.0℃、クパン 1,755mm・24.9～28.8℃。

Ecology of Nusa Tenggara and Malukuによれば、東ヌサテンガラ州は、潜在的には落葉乾燥樹林帯であるが、現状は州面積の約3割は乾燥灌木林（Belukar）で覆われている。また、チモール島では100年以上前から、平地では移動耕作や放牧、さらには狩猟などのために、毎年林野への火入れが繰り返された結果、高木の森林帯は消滅し、火災後に侵入する先駆性の灌木林やアランアラン等の草原（savanna）になっていたと報告されている。人為の影響によって荒廃したヌサテンガラ地域の草原では、先駆性の灌木に加えて、次のような中高木樹種が指標になるといわれている。すなわち①*Albizia chinensis*、②*Eucalyptus alba*、③*Melaleuca cajuputi*、④*Acacia* sp. ⑤*Causarina junghuhniana*、⑥*Ziziphus mauritiana*、⑦*Tamarindus indica*、⑧Plam(*Borassus flabellife*, *Coryphatan*)である (K. A. Monk *et al.* 1997)。

この他に東ヌサテンガラ州の草原には、*Acacia farnesiana*、*Bauhinia malabarica*、*Cassia fistula*、*Schleichera oleosa*、*Ziziphus mauritana*などがみられるという (Adisoemarto 1982)。また、van Steenis (未発表、K. A. Monk *et al.* 1997)によれば、チモールの草原が人為影響から保全された時には、付近の森林の先駆性樹種の芽生えが侵入してくるとしている。それらは*Dillenia pentagyna*、*Pandanus* sp.、*Nauclea orientalis*、*Aegle marmelos*、*Causarina junghuhniana*、*Acacia leucophloea*、*Melaleuca cajuputi*、*Sesbania grandifolia*、*Eucalyptus alba*、*Tamarindus indica*、*Timonius sericeus*、

Borassus flabellifer, *Corypha utan*などで、それらの小群落がモザイク状に形成されるとしている。こうした樹種群は植林樹種選択の際の貴重な情報である。

植物の物質生産―蓄積の面からみると、密林→疎林→草原→荒野となるに従って、単位面積当たりの植生が保有するバイオマス量が減少する。このことは、大気中の二酸化炭素ガスを植物群落内に蓄積する量が減少することを意味する。東ヌサテンガラ州地区の荒廃草地を森林に復元することは、この地域の環境改善のみならず、地球環境保全にも大いに貢献する。

1－2．半乾燥気候下の荒廃地における森林造成の基本的考え方

生態的視点からみた荒廃地植林の究極の方向としては、その地域に本来の極相植生の回復が前提となるが、現に住民により土地利用がされている場所、あるいは直前まで利用されていた場所においては、最初に取りられるべき対策としては、荒廃化を現状で食い止める対策になると考える。半乾燥気候地における荒廃化あるいは砂漠化プロセスをもたらす要因としては、自然的要因が13%、人為要因が87%であるとされており（吉川他 2004）、ほとんどの場合が過放牧、過耕作、毎年の火入れなど人為要因であるといえる。クパン市周辺の灌木が散在する荒廃草地も例外ではない。従って、第一段階においては、多くの場合、人間活動の禁止ないし制限によって、自然植生遷移によって草地→灌木疎林地→灌木密林地→高木林地へと戻すことができる。しかしながら、上述の先駆性樹種群によるモザイク状群落が本来の熱帯高木林に回復するには数百年は必要であろうと言われている（van Steenis in K.A. Monk *et al.* 1997）。この年数を人為的に短縮するのが植林である。

そこで、本技術指針では、上記のような経緯で荒廃した熱帯半乾燥帯に属し、かつ隆起珊瑚礁石灰岩地帯の荒廃地における植林技術について述べる。

第2章 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復の技術的要件および実施手順

2-1. 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復の技術的要件

半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復の森林回復の阻害要因は乾期における降水量の絶対的不足であるが、同じ半乾燥気候下にあっても、分布する土壌は母材、地形、過去の利用履歴などによって極めて多様であり、有効土層厚、粒経組成、粘土鉱物組成、化学性など、土壌特性に問題を抱える場合には、森林の回復は更に困難なものとなる。

そこで、半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復のために基本的に必要な技術は、まず、①対象地の土壌環境の特徴を把握することである（第3章）。その上で、②植林樹種の選択および育苗方法の改善（第4章-1）が必要である。そして、③植林後の乾燥に対する土壌物理性の改善および地拵えなどの対策（第4章-2）が必要である。特に注意する点としては、④植林時期の選択および給水（第4章-3）があげられる。最後に、⑤植林後の保育・保護（動物被害防止対策、山火事防止対策）が非常に重要である。

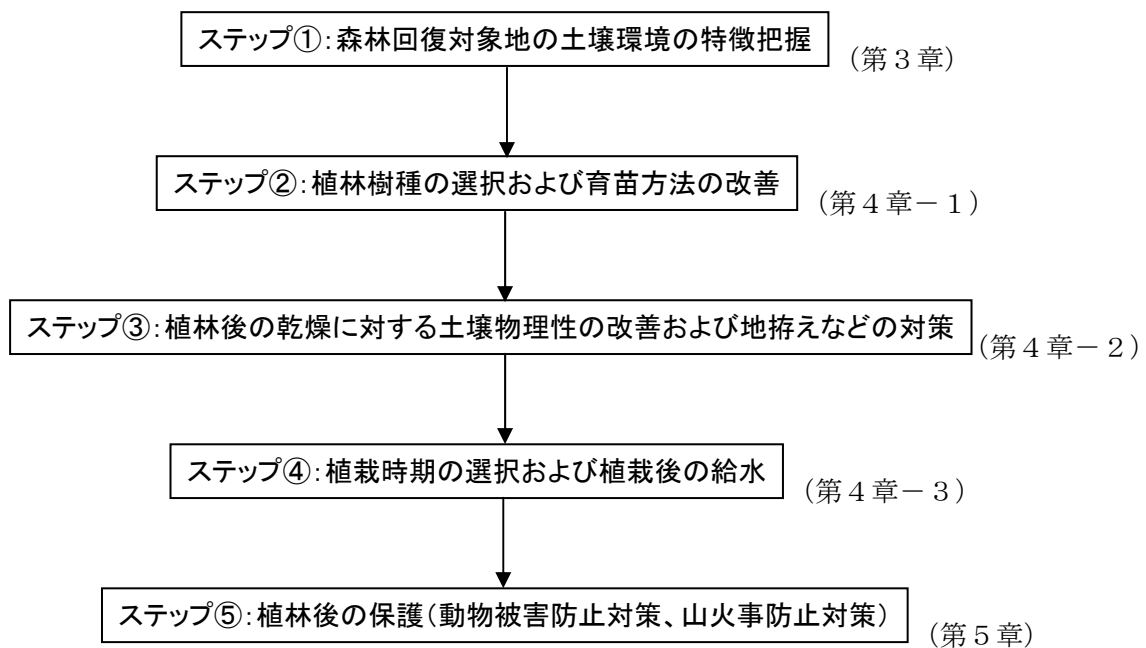
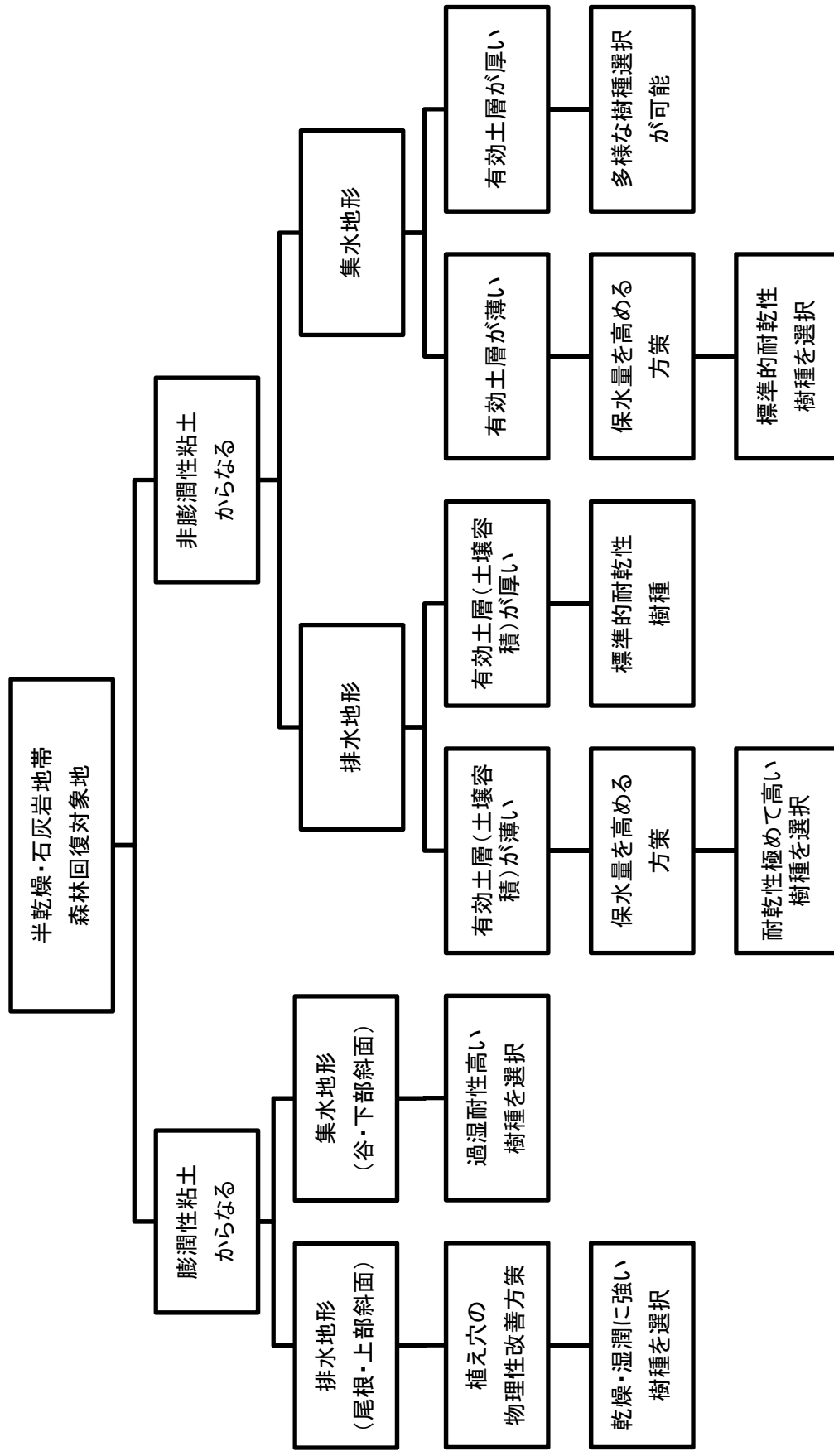


図 2-1. 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復の技術的要件および実施手順

2-2. 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林回復のための実施手順（デシジョンツリー）



第3章 半乾燥・隆起珊瑚礁石灰岩地帯に出現する土壌の区分と特徴

熱帯の半乾燥気候の中心は、ケッペンの気候区分による熱帯サバンナ気候（Aw）に区分され、U.S. Soil Taxonomy の土壌気候のうち水分環境（Soil Moisture Regime）は「土壌の一部がほとんどの年に年間の積算で 90 日以上乾となるが、積算 180 日以上は湿な状態にあり、かつ少なくとも 90 日間は引き続き湿であるような水分レジーム」である ustic 水分レジームに区分され、地温（Soil Temperature Regime）は「年平均土壌温度が 22℃以上で夏季と冬季の平均土壌温度の差が 6℃未満」である isohyperthermic 地帯に属する。このため、こうした地域では、森林回復の第一の障害は降水の絶対的不足であるが、同じ半乾燥気候下にあっても、分布する土壌は母材、地形、過去の利用履歴などによって極めて多様であり、有効土層厚、粒経組成、粘土鉱物組成、化学性など、土壌特性に問題を抱える場合、森林の回復は更に困難なものとなることが予想される。

半乾燥気候下における森林回復に際しては、このように、森林回復対象地域の土壌の特性を把握し、それに応じた樹種の選定や植栽・保育方法を採用することが必須となる。このため本事業では、半乾燥気候下の問題土壌地域を対象とした森林回復簡易マニュアルの開発を目的として、インドネシア国西及び東ヌサテンガラ州に広く分布する、農牧利用により荒廃地化した地域（西チモール）でモデル林を造成し、植栽樹種の生残や成長についてモニタリングを実施した。チモール島にはスンダ諸島の他の島と異なり火山島ではなく隆起によって形成された島であるため、地質学的には大部分が隆起珊瑚礁石灰岩、一部が海成の堆積岩で構成される。地形的には島の中央部に山地が分布しているが、周辺地域は低一中標高の比較的なだらかな丘陵や台地地形が主体を成し、こうした地域では収奪的な農牧利用が長年にわたって継続されている。

本章では半乾燥気候下、特に隆起珊瑚礁石灰岩を主要な地質とする地域に出現する土壌とその概要、判定方法について、東ヌサテンガラ州（西チモール）を例としつつ記述する。

3-1. 半乾燥・隆起珊瑚礁石灰岩地帯の土壌環境

西チモール・クパン地区の土壌図によれば当該地域には異なる数種の土壌が分布する。WRB の土壌分類に従えば、分布面積が最も大きいのは、Leptosols（U.S. Soil Taxonomy の Entisols）と Kastanozems（同 Mollisols）が混在分布する地域である。次に面積が大きな土壌地帯は Luvisols（同 Alfisols）と Inceptisols（同 Cambisols）が混在分布する地域で、一部には Cambisols と Leptosols の混在分布域も比較的広範囲に分布する。また一部には Vertisols が他の土壌群に随伴して分布する地域もある。なお、上記の出現が予想される WRB（世界土壌資源照合基準：World Reference Base for Soil Resources）による土壌の特徴の概要と、FAO ならびに U.S. Soil Taxonomy との関連を BOX 1 に示した。

BOX 1 半乾燥気候下の隆起珊瑚礁石灰岩地帯に出現する土壌 (WRB: World Reference Base for Soil Resources に準拠) —西チモールを例に—

西チモールのクパン地区に分布が予想される主要な土壌は次の 5 種で、その特徴と、FAO の Soil Map of the World ならびに U. S. Soil Taxonomy における土壌名との関係は下記のとおりである。

- ✓Leptosols: 土壌発達度が極めて制限された、もしくは岩盤上または非固結の極めて礫質な物質よりなる非常に浅い土壌。Leptosols には一部変質した岩盤あるいは強度に石灰質の岩盤上に発達する土層の浅いもしくは極めて石礫質な土壌が含まれる。いわゆる未熟土。Leptosols は母材の性質を強く反映し、石灰質のものは化学的には非石灰質のものより肥沃で、排水は良好であるが、水分保持容量が根を支える土壌の有効体積も限られる。FAO の Lithosols、U. S. Soil Taxonomy の Entisols の Lithic 亜群や Rendoll (Mollisols の一種) に相当。
- ✓Kastanozems: 乾燥気候下に発達する土壌で、有機物に富む暗褐色の表土と石灰質または石膏質の下層土を持つ土壌。しかし、Kastanozems の黒土層 (Mollic 表層) は Chernozems 等に比べて薄く色も黒味が薄く、乾燥気候下で、その生物生産量も小さい。pH は中性～弱アルカリ性を示し塩基飽和度が高い。黒土層の孔隙率は低く (40-55%)、水の浸透が制限され、しかも土層が薄いことから、このような土壌を耕作すると表土流亡が問題となる。FAO の Kastanozems、U. S. Soil Taxonomy の Ustolls (Mollisols の一種) に相当。
- ✓Luvisols: 高活性粘土が集積した次表層を持ち、陽イオン交換容量 (CEC) と塩基飽和度が共に高くアルミニウム飽和度が低い、化学的には肥沃な土壌。半乾燥気候下で溶脱が抑制され養分が保持されたことの反映である。pH は中庸～弱アルカリである。一般には排水良好であるが、下層に緻密な粘土集積層が存在すると透水性が低くなる。特に FAO の Luvisols、U. S. Soil Taxonomy の Alfisols に相当。
- ✓Cambisols: 大きく異なる環境条件下に出現する弱度ないし中程度に発達した土壌で、鉱物組成、化学性、物理性に極めて幅広い変異を持つ。しかし、大部分の Cambisols は中粒質の土性を持ち安定した土壌構造、高い孔隙率と良好な内部排水性を備える。多くの Cambisols は弱酸性～中性で一般に比較的肥沃である。FAO の Cambisols、U. S. Soil Taxonomy の Dystrachepts や Eutrochepts (いずれも Inceptisols の一種) に相当。
- ✓Vertisols: スメクタイトのような膨潤性粘土を多く含み、暗色で深い土壌で、湿潤により膨張し、乾燥により収縮する。乾燥が進むと地表から少なくとも 50cm の深さに達する幅の広い亀裂を形成する。断面上部は固い柱状土塊からなり、下層は典型的にスリックンサイド (slickenside) を持つ vertic 層を備える。化学的には比較的肥沃であるが、物理的には湿潤には排水不良に、乾燥時には亀裂沿いに速やかに水が失われ乾燥しやすい欠点を持つ。FAO の Vertisols、U. S. Soil Taxonomy でも Vertisols。

チモール島に見られる上記土壌の組み合わせはいずれも、Kastanozem や Luvisols など相対的に土層が厚くよく発達した土壌と、土壌発達が制限され土層が浅く礫質な未熟土である Leptosols や土壌発達程度が弱い Cambisols が同一地域に混在して分布することを示している。こうした同一地帯における「発達した土壌」と「未発達の土壌」の混在分布現象には、その地域内における地形の変異ならびに農牧業のための土地利用履歴が関係して

いる可能性が高い。

3-2. 土壌－地形－土地利用の関連性

半乾燥気候下の隆起珊瑚礁石灰岩地帯は一般に波状の丘陵地帯を形成している。石灰岩はケイ素に乏しく結晶性ケイ酸塩粘土鉱物の生成が抑制されるため、B層を持たず母材の上に直接に薄いA層が乗ったレンジナ（Rendzina）に代表されるような石礫質で浅いAC土壌（Leptosols）しか発達しないことが多い。また、波状地形では一般に、凸型斜面で剝作用が、凹型地形では堆積作用が卓越する。

現地での概況調査に基づけば、西チモールの対象地域では、こうした丘陵地において長年にわたる農牧利用が行われ、特に凸型地形面ではより強度の土壌浸食が進むことで表層の細粒物質が失われ、土層が浅く極めて礫質な土壌（Leptosols）が分布する荒廃地として放置もしくは弱度の農牧利用が行われている。一方これと対照的に、凸型斜面を縁取るように分布する緩傾斜の凹地や窪地など堆積地形には、上部斜面から土壌浸食によって運ばれてきた土壌物質が堆積し、土層が相対的に厚く肥沃な土壌が（Kastanozmes）その場に固有の母材や土壌生成作用に応じて生成・分布するに至っている。こうした土壌地帯はその肥沃さの故に選択的な農業利用が行われている。

また起伏の少ない台地上の相対的に平坦な安定地形面や緩やかな凹地形面では、石灰岩の風化に由来する酸化鉄鉱物に富んだ土壌物質が流亡することなく地形面上に留まる。このため、こうした地形面には比較的土層が厚く発達した赤～暗赤色で排水の良いCambisolsが分布する。有効土層も厚く保水容量も相対的に大きく、一部は積極的に農牧利用されている。以上のような、凹地形面の有効土層が比較的深い土壌の分布域は同時に集水地形でもあり土壌は相対的に湿潤に保たれ、少ない雨量と長い乾季で特徴づけられる半乾燥気候下であって、農耕対象地として利用される重要な要因となっている。

一方で、薄く石礫質な土壌しか分布しない凸型斜面は排水地形であり、浅い土層に起因する少ない保水容量、多量の粗大孔隙に起因する過度の排水が相まって土壌は極めて乾燥しやすい。こうした地域は、多くが粗放な放牧や弱度の農業利用が行われるのみで多くが荒廃地として放置されており、緑化・植林を行い、土壌表面を被覆し有機物を供給することで土壌発達、土壌保全を促すことが必要である。

また、上部斜面からあるいはケイ酸質岩石の風化に由来するケイ素の供給がある場合には重粘でverticな性質を示すLuvisolsや一部にはVertisolsが分布する。

3-3. 緑化、森林回復が想定される土壌の区分

以上の観察結果から隆起珊瑚礁石灰岩地帯に分布する主要な土壌としては、以下の4タイプがあげられる。

i) 石礫質で未熟な土壌（Leptosols / Entisols）

西チモールの台地上で最大の面積を占める土壌タイプである Leptosols は東ヌサテング

ラ地域における荒廃地復旧植林の主要ターゲットの1つであり、下で述べる赤～暗赤色の Cambisols や暗色表層を持つ Kastanozems と混在分布する。このタイプの土壌は、一般に凸型緩斜面上に広く分布し、こうした場所では、長年にわたる農業・牧畜利用による土壌流亡のために細粒の土壌物質が失われ有効土層は極めて薄く、石灰岩の小～巨礫にすこぶる富み地表には多くの石灰岩が露出している。土壌母材は隆起石珊瑚礁石灰岩でありアルカリ性（簡易測定による pH は 7-8 の範囲）を呈するのに加え、極めて浅い有効土層と高い石礫含量のため、有効土壌の体積・保水量は極めて小さいと予想され、水分保持の点でも養分供給能力の点でも劣っている。

ii) 赤～暗赤色の比較的深い土壌 (Cambisols/Inceptisols)

隆起珊瑚礁石灰岩の台地上の平坦面や緩やかな凹斜面には、赤～暗赤色の Cambisols が上記 Leptosols と混在して分布する。pH は 7-8 台のアルカリ性を示す。ほぼ平坦～緩やかな凹地形面に分布していることから、土壌の浸食・流亡強度は相対的に小さく、土層は比較的厚く発達している（数 10cm-60-80cm 程度）。石灰岩を母材とするため風化に伴うケイ素の供給が少なく通常のケイ酸粘土鉱物の生成が順調に進まず、土壌の細粒画分の多くが酸化鉄を主体とする二次鉱物からなっている。本土壌は有効土壌容積も相対的に大きく、窒素やリンの不足を除けば化学的欠点も比較的少なく、域内では相対的に問題の少ない土壌と考えられる一方、こうした土壌では一般に疑似砂状の微細団粒が形成され、微細団粒中の孔隙径は極めて小さく水は高張力で保持されるため、植物が利用可能ないわゆる有効水の保水能力は制限され、乾燥が植物生育の制限要因となる可能性が指摘される。

iii) 表層が有機物を多く含み暗色の土壌 (Kastanozems / Mollisols)

上記の赤～暗赤色を呈する Cambisols と同様に、ゆるやかな凹地形面を中心に表層が暗色を呈する Kastanozems が分布する。こうした凹型地形には凸型の洗脱地形面から流亡してきた土壌物質が堆積・安定して比較的有効土層の厚い（50-100cm 内外）土壌が発達し、加えて植生からの有機物が継続的に供給されると、形成された腐植物質が難分解性の腐植の Ca 塩として蓄積することになる。この結果、土壌表層は有機物を相対的に多く含み暗色を呈し、結果として相対的に良好な物理・化学的性質を備えるに至る。上記の赤～暗赤色の Cambisols と同じく域内では相対的に問題の少ない土壌であり、表層が有機物を多く含むために更に土壌の肥沃度は高いと考えられるものの、無機構成要素は同じく酸化鉄鉱物を主体としており、上記 Cambisols と同様に保水能力は制限されていると考えられる。

iv) 埴質で vertic 特徴をもつ土壌 (vertic Cambisols -Vertisols / vertic Inceptisols - Vertisols)

一部の比較的急峻な丘陵―山地地域には膨潤―収縮性粘土によって特徴付けられる埴質で vertic な土壌が分布する。こうした地域の地表面には一部石灰岩の露岩が観察されることから、主要な土壌母材は石灰岩と考えられるが、大地形面上に混在分布する相対的にケ

イ酸質な岩石の風化によって供給されたケイ素と、石灰岩に由来する高濃度の Ca, Mg の存在下でケイ酸塩粘土鉱物、特に膨潤－収縮型の 2:1 型粘土鉱物（スメクタイトやヴァーミキュライトなど）が生成・卓越したものと考えられる。pH は 7.6-7.9 でアルカリ性である。2:1 型粘土鉱物のため、乾季には土壌はきわめて硬堅となり、粘土鉱物の乾燥収縮によって地表には多数のクラック（多くが幅 数-4cm 内外）が形成される。多くのクラックが発達するため数少ない降雨時にも排水過剰で土層は著しく乾燥したまま維持されると推定される。また苗木の根が切断されることが植生回復の制限になる場合がある。一方湿潤期には粘土鉱物の膨潤によって土壌中の孔隙は著しく減少し土壌の内部排水は極めて不良となり、根の発達が阻害され過湿害が発現する恐れもある。全層にわたり埴質であり亀裂の発達が顕著であるため、下層の Slikensides の発達が認められる場合は Vertisols に分類され、Slikensides が認められない場合には粘土の移動集積も通常認められないことから、多くは vertic Cambisols に分類されると考えられる。

BOX 2 半乾燥・隆起珊瑚礁石灰岩地帯に出現する代表的土壌の断面例

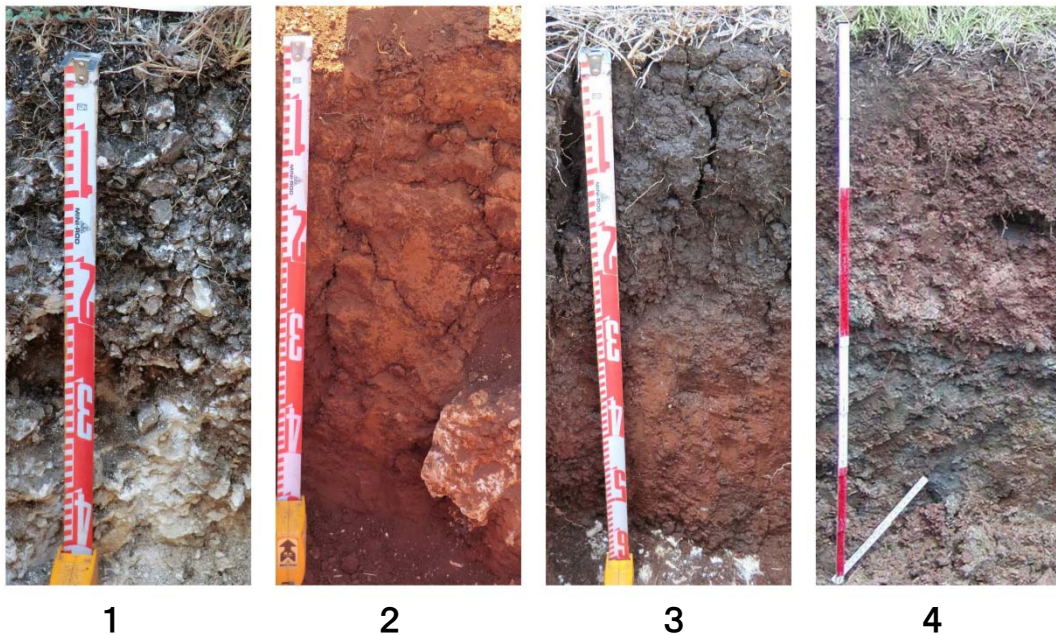


図 西チモールに分布する代表的土壌 4 種の断面例。写真 1：石礫質で未熟な土壌 (Leptosols / Entisols)、写真 2：赤～暗赤色の比較的深い土壌 (Cambisols/Inceptisols) 写真 3：表層が有機物を多く含み暗色の土壌 (Kastanozems / Mollisols)、写真 4：埴質で vertic 特徴をもつ土壌 (vertic Cambisols - Vertisols / vertic Inceptisols - Vertisols)

第4章 半乾燥気候・石灰岩地帯における森林造成技術

一般に乾燥荒廃地での植生繁茂を制限する主要因は①水分の不足と②表土の移動にある。しかし、熱帯サバナ気候地における人為荒廃乾燥地では、海岸砂地を除けば、表土の移動による植生定着阻害はほとんどないと考えられるので、本技術指針ではもっぱら水分の不足に対する対策、特に年雨量が1,000mm台で、月雨量50～60mm以下の乾燥月が6か月を超える地域（乾性半湿潤地）における植林時の対策について述べる。さらに、森林が衰退し荒廃してしまったことにより本来よりもやや乾燥植生にある現状にかんがみ、東ヌサテンガラ州より降雨量の少ない半乾燥地域（年降雨量300～800mm, UNEP）において利用されている植林技術についても紹介する。

なお、アジア大陸中緯度の半乾燥砂漠地帯の植生回復技術については「黄砂対策植生回復マニュアル」（2008）、また熱帯アフリカのケニヤ半乾燥地の植林については「森林・水環境に配慮した森林造成技術ガイドライン」（2014）が、国際緑化推進センターの報告書にある。

4-1. 植林樹種の選択および育苗方法の改善

1) 植林樹種の選択

植林事業における樹種選択は、第一に植林の目的、次いで植林される場所の環境条件に基づいて行う。この事業の目的は人間活動によって荒廃した土地の植生回復技術の開発であり、加えてそれが地域住民の生活安定に貢献することである。

荒廃地の森林植生回復という観点からは、西チモールの平地に生育する、あるいはかつて生育していた樹種（極相林樹種）が第一候補となりうる。しかしそれだけでは地域住民の期待に応えられないこと、及びすでに荒廃した土地にこの地の極相林樹種を直ちに植栽するのは危険が大きすぎる。そこでインドネシアで植林経験のある国内外の熱帯樹種を選択候補の対象とした。それら約90種について各樹種の生態的、林業的特性を調べた（添付資料A-2. インドネシアにおける造林樹種および果樹の樹種特性一覧表）。

次のステップとして、これらの候補樹種群の中から、植林地の環境条件に適する樹種を選択する。まず気候条件については、年降雨量は1,500～2,000mmであるが、雨季の6か月間にその約95%が集中しているので、乾季の雨量は非常に少ない乾いた条件である。この試験植林では添付の植林樹種特性表から、先駆性樹種や乾燥耐性の大きい樹種（例えば深根性樹種や乾季に落葉する樹種等）を第一候補として選んだ。先駆性樹種や陽樹は極相林樹種や陰樹に比べて、乾燥した裸地への適応性が高いからである。熱帯乾燥地に耐性のある樹種については、この他にも年降雨量や乾季の長さに応じた耐性樹種群が浅川（1999）によって、「熱帯の造林技術」テキストの表4、5などにも掲載されているので、これらも参考となるだろう。さらには第1章で述べたサバナ草原の指標となる樹種や van Steenis（1997）が挙げている先駆性の高い樹種群などが候補として挙げられる。

ついで、植林地は石灰が由来の土壌である。一般に乾燥気候下では、表層土壌の塩類濃

度が高まり、アルカリ性に傾きやすい。このために、乾燥の厳しいところでは、乾燥耐性だけでなく、耐塩性及びアルカリ耐性の観点からも、樹種を選択する必要がある。西チモールの土壤環境については、第2章に詳しい説明があるので、ここでは詳細は割愛するが、本報告書に添付の植林樹種特性一覧表から、高塩類やアルカリ性の土壤に耐性がある樹種を選択できる。一般的な高塩類耐性やアルカリ耐性樹種については、浅川(1999)やTurnbull(1986)の書にリストアップされている。

こうした樹種群に加えて、周辺住民の要望が大きい樹種も植林候補として選ぶことが望ましい(添付資料A-1. 東ヌサテンガラ州における半乾燥気候・石灰岩地帯の森林回復実証試験に用いた植栽樹種の特性)。樹木や果樹などの利用面からは、*Swietenia macrophylla*、*Pterocarpus indica*、*Mangifera indica*、*Annona muricata*、*Syzygium* sp.なども試験的に選択できるだろう。これらは若干乾燥耐性が劣っても、次節で述べる健全な苗木を用いて、雨季の間に速やかかつ十分な根張りを促進させれば、たとえ乾季に成長が停滞したとしても、枯死することは避けうるかもしれない。これら樹種は土壤水分条件が比較的良好と思われる斜面下方に植えることなども一つの手段であろう。

最後に種子や苗木の供給の問題がある。十分な準備日時がない時には、供給可能な苗木の種類は限定されることになる。このプロジェクトで用いた樹種(添付資料A-1)も例外ではない。

2) 苗木への乾燥耐性の付与

熱帯地域の産業植林等では比較的容量の小さいポットの小苗で植林される場合が多いが、乾季の長い荒廃地植林では、通常より一回り大きいポットで育てた大きめの苗木(苗高50cm以上程度)の方が植林後の活着・成長が良好である場合が多いようである。

苗木の大小にかかわらず、最も大切なことは育苗段階で強光、乾燥に強い苗木を育てることである。熱帯地域では発芽から育苗まで、寒冷紗などの被陰ネット下の温和な環境下で育てられることが多い。そこで苗木出荷前には、苗木のハードニング作業(硬化処理)によって、苗木に耐乾燥性などを付与し、厳しい裸地環境に耐えられる苗木にする必要がある。具体的には表1に示した処理をおこなうことであるが、育てる樹種やそれまでの育苗経歴によって、ハードニング処理の期間や強さを変える必要がある。したがって苗木の生育状態を観察しながら処理を実施することが望まれる。

一方、ハーデニングなどが行われていない不適切な苗木は以下の通りである。例えば、苗畑で十分な灌水や弱い光のもとで育った苗木は、一般に背丈は高いが、幹は細く、葉は広く、根の発達が悪い苗木になりやすい(写真1)。こうした苗木は乾季の長い荒廃した裸地植林地には適さない。

育苗に関して要約すると、乾燥耐性の小さい樹種や根の再生・伸長が遅い樹種ほど、乾燥耐性がある健全な苗木の育成が肝要である。

表1 苗木のハードニング(硬化処理)

目的	乾燥や強光に抵抗性のある苗木を育て、活着率の向上を図る。
処理期間	必要苗高に達した後で植林前 1～数か月間（成長の速い樹種ほど短期間）
主な処理	1) 吸水の制限 通常の灌水量を順次減らし、最終的には 1/2～1/3 量程度。 2) 十分に日射に当てる。被陰下で育苗の場合は、順次日覆いを少なくし最終的には全光下で栽培する。 3) 施肥する場合は、N を少なくし、P、K、Ca など多くする。 4) 苗木間を広くし、幹や根の太りを促す。
苗木の主な形態変化	1) 太くて硬い茎になる。上長成長の抑制。 2) 硬くて小さい葉となる。蒸散量の抑制と強光に対する抵抗性大。 3) 根系の発達。T/R 率が小さくなる。

地面に直接ポット苗を置いて育苗するときは、定期的にポットを移動させて、ポット下部から地中へ出た根を切断してやることが大切である（写真 2）。宙づり育苗網棚の場合はポット底部から出た根は自然に枯れるので、この操作は通常不要である。乾燥地の植林に限らないが、主根がポット内でとぐろを巻いて絡み合うほどの長期間の育苗や、逆に根の発達が不十分で、植林時にポットを破いたとき、根の周りの土がこぼれ落ち、裸根同然となるような短期間（あるいは暗い被陰下での）育苗は避けるべきである。



写真 1 被陰下で育った
根の発育の貧弱な苗木



写真 2 裸地条件で育てた苗木
ビニールポットを破いても根玉がしっかりできているが、太根がポットからはみ出しているので、定期的な苗床移動で根切りをする。

4－2．植林後の乾燥に対する土壌物理性の改善および地拵えなどの対策

植林地の水分不足に対する対策を以下に述べる。地拵えなどの対策は、主として西チモールより乾燥の進んだサバナ気候帯（UNPE による半乾燥地）で用いられている技術である。

1) 植林苗木への水の供給を増やす対策

i) 降雨の集水、土壌への浸透、保持：

マイクロキャッチメントは植林苗木の周囲に低い堤を築いて雨水を誘導する方法(図 2、写真 3)である。この他に傾斜に直角に堤(低い土盛(写真 4)や石列)や溝あるいはテラス(写真 5、図 3)を作り、雨水の流亡を防いで植穴土中に水を浸透させる方法がある。

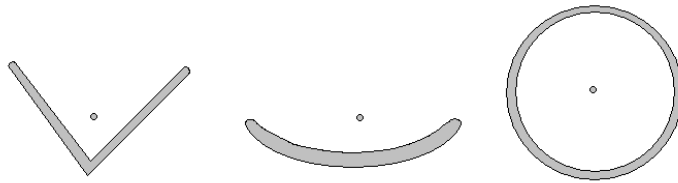


図2 代表的集水堤の例(上が傾斜上部)、左より解放型、魚鱗型、閉鎖型



写真3 角形集水堤のある植穴(浅川、1999)



写真4 上流に湾曲させた三日月型の集水土堤（ブルキナファソ）



写真5 テラスへの植林（高麗、2004）

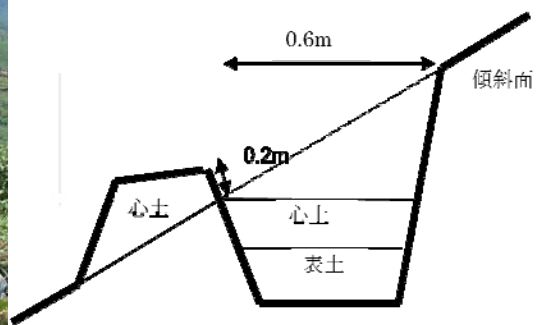


図3 黄土高原におけるテラス構造
（藤森、2007）

テラスの場合は、乾燥が厳しいほどテラス間の間隔を広くしたり、植林密度を下げたりする工夫をしている。植林密度を下げることは、樹木の蒸散による面積当たりの水分消費を少なくする効果がある。このような集水法は、沙漠化防止が必要な厳しい乾燥地での植林作業に世界中で広く採用されている。

iii) 土壌の保水力を増す：

人為荒廃乾燥地は表土が少ないかあるいは有機物が乏しく緊密であるので、土壌の保水力が小さい傾向にある。そこでできるだけ大きく、深く耕した上で、保水力の大きい表土や堆肥などの有機物を植え穴の底に入れて、穴底の土壌保水力を増すことが有効である。これは根の深部への伸長を促す効果もある。有機物の他に、木炭なども有効と言われている。保水剤（高分子吸収材、Hydrogel）の施用もインドネシアでは一部の産業造林企業が

採用している。植林木の植え付けの際に、水分をたっぷり含んだ保水材を、植え穴土壌に混入、または、根の周りにひたして植えつけることで保水性の向上を図ることができる。一般的に、水分をたっぷり含んだ保水材は、その後 1 週間程度は水を放出し、植栽木の根に水を供給するといわれている。熱帯では、雨期の始まりや終わりに、1 週間～10 日間程度、一時的に雨が止まる期間 (dry spell) が入ることが多い。植栽木の植え付け直後に、この dry spell が来てしまうと、まだ植え付け後の移植の影響などで、植栽木が十分に活着しておらず、枯損する可能性が高い。そこで、この水をたっぷり含んだ保水材を植え付け時に施用することで、植栽木の活着向上が図れる。

東ヌサテングラ州の実証植栽試験で使用した乾燥固形状の保水材は、約 5 時間で、その体積の 100 倍～150 倍の水を吸収した。これを植え穴 (縦 30cm×横 30cm×深さ 40cm) の下半分の土壌に 5 リットル混ぜ込んだ。今回、乾期の終わり、雨期の始まる前に試験的に保水材を施用した結果、植栽後約 2 週間雨が降らなかったが、試験に供与した植栽木 16 本全てが生存し、その後、雨が降り始めたため全て活着した (写真 6)。

ただし、根の水分吸収力以上の吸水力を持つ保水剤であると、乾燥時には根から逆に水分を奪い取る可能性があるので、使用する保水材の選択には注意を要する。



(a) 植え穴への保水材の施用



(b) 植栽木の植え付け



(c) 植栽約 3 か月後の様子



(b) 植栽試験木 16 本の 100%が生残・活着

写真 6 東ヌサテングラ州の実証植栽試験における保水材施用の様子

iii) 植穴サイズ：

上述の i)、ii) に関連して、ミャンマー中央部の半乾燥地帯のガバン地区（年降雨量約 800mm、7 か月の月 100mm 以下の乾季）では、幅 30cm、長さ 90cm、深さ 60cm（中央部）の穴（写真 7）を乾季に掘り、表土と腐植土を中央底部に入れて埋め戻して置く。余った土は穴の傾斜下部に盛土して、雨水を集めるようにしておく。この穴は上述の集水、水の浸透、保水の効果を十分に発揮できる。その上に、植林直後の給水ができる場所では 100% の活着と良好な成長が実現されている。西チモールを含めた東南アジアの熱帯モンスーン帯では、乾燥の程度がミャンマーなどより弱いので、これほどまで丁寧な植林は必要ないであろう。

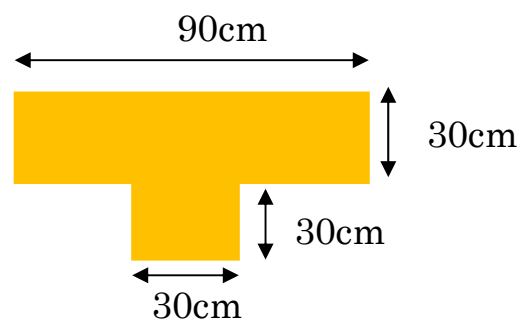


写真 7 ミャンマー乾燥地における大植穴とその断面図（右図）穴幅は 30cm。

写真の植え穴の左側が表層土、右側が心土。心土の一部で斜面下部（右側）に小さい堤を作り、集水堤とする。苗木は苗高 1m 弱の大苗を用いている。

2) 土壌や苗木からの水分蒸発散の防止

i) 土壌からの水分蒸発の防止：

土壌面からの水分蒸発防止には、土壌表面に日光が直接照射しないようにするために、マルチングを行うことが多い。通常は草などの有機物を植林木の周りに敷き詰める草マルチが多い（写真 8）が、場合によっては小石や砂でもよい。砂丘の表層の砂は乾燥してさらさらであるが、10cm も掘ると湿り気が十分にあることが多い。これにヒントを得て、耕地表面に砂を敷き詰める砂田農耕が中国西北部で行われている（小泉他 2000）。また後述するボリビアの荒廃地で直播植林と小石による蒸発防止を組み合わせた復旧事業例もある（写真 9）。しかし直射日光の強烈な熱帯などでは、砂や石が高温となり、苗木根元が高温傷害を起こす危険性がある。その他に、地下水の土壌表面からの発散を防ぐために、土壌表層を浅く耕耘して、土壌の毛細管を切断する操作も有効であるといわれている（図 4）。西チモールでは草など有機物によるマルチングができるのであれば実施するとよいと思われる。



写真8 草マルチングの例 (浅川、1999)

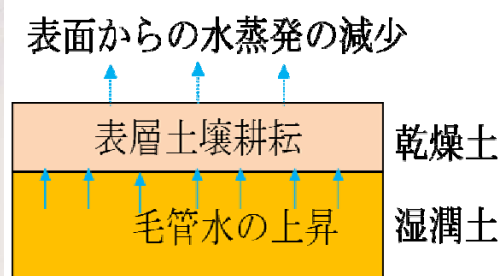


図4 土壌毛管水の表層耕耘による切断

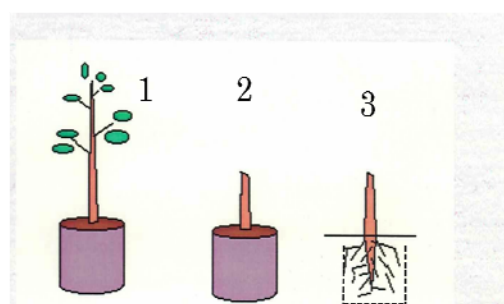
ii) 植林苗木からの水分蒸散を防ぐ：

植林直後の苗木の水分収支のバランスを良好に保つことは、その後の活着成長にとって重要である。植林地に移植された苗木は、根が伸長するまでのしばらくの間、根の吸水量が制限されているので、その間はできる限り葉や小枝などからの水分蒸散が少ない方がよい。そのためには、落葉樹にあつては、葉が芽吹く前の落葉期に植林するのが望ましい。萌芽力のある樹種にあつては、苗木の地上部や細根の一部あるいは全部を除去して（スタンプ苗）、苗木からの水分蒸散をできるだけ少なくして植林する方法がある。スタンプ苗の利用はタイにおけるチークの植林で有名である。落葉性の広葉樹であれば、萌芽力が強い上に、乾季に幹や根に十分量の貯蔵養分を蓄えているので、葉の光合成によるエネルギー補給に頼らなくても、十分に根や芽の伸長が可能である。このような生理体制のある樹種では、乾燥地の裸地植林にもスタンプ苗の利用ができる可能性もある。例えば、ポットをつけたまま地上部の枝葉だけを除去した状態で出荷、移送し、現場でポットをはずして移植する方法も考えられる（図5）。スタンプ苗木による植林の可能性の高い樹種としては、浅川（1999）は表2のような樹種を挙げている。なお、この表の樹種でも、スタンプ苗移植に対して適応性の強弱があり、例えばクマツヅラ科の樹種などに比べると、フタバガキ科の樹種は弱い部類に属する。また、前提条件として、適正にハードニングされた苗木を用いることは、いずれの樹種でも大切である。

表2 スタンプ苗植林が利用できる樹種（浅川、1999）

科名	樹種名
ウルシ科	<i>Spondias mangifera</i>
キョウチクトウ科	<i>Alstonia</i> sp.
キワタ科	<i>Bombax malabaricum</i> , <i>Ceiba pentandra</i>
ムラサキ科	<i>Cordia alliodora</i>
シクンシ科	<i>Terminalia</i> sp.
フタバガキ科	<i>Shorea roxburghii</i> , <i>Hopea orodata</i> , <i>Vatica odorata</i>

トウダイグサ科	<i>Bischofia javanica</i>
マメ科	<i>Acacia</i> sp.、 <i>Cassia</i> sp.、 <i>Dalbergia</i> sp.、 <i>Erythrina</i> sp.、 <i>Gliricidia sepium</i> 、 <i>Leucaena luecocephala</i> 、 <i>Pterocarpus</i> sp.、 <i>Xylia</i> sp.
ミソハギ科	
センダン科	<i>Lagerstroemia speciosa</i>
クワ科	<i>Azadirachta indica</i> 、 <i>Cedrela</i> sp.、 <i>Khaya</i> sp.、 <i>Lovoa</i> sp.
アカネ科	<i>Chlorophora excelas</i>
アオギリ科	<i>Adina cordifolia</i>
クマツヅラ科	<i>Triplochiton scleroxylon</i>
	<i>Gmerlia arborea</i> 、 <i>Tectona grandis</i>



- 1 : 通常のポット苗木
2 : 苗木地上部の切断・運搬
(スタンプ苗木)
3 : ポットを除いて林地に植えた状態

図5 スタンプ苗木の例。

植林密度は若い樹林の場合には、それほど問題にならないであろうが、数年以上を経過した植林地では、土壤水分あるいは降雨量に対して植林木本数が多すぎると、水分不足のために樹冠上部が枯れるダイバックが生じたり、時には植林木全体が枯れたりする場合がある。また、水源林などとなっている場合には、乾季の湧水量が減少する恐れがある。したがって、年降雨量に見合った植林密度を選択することが望ましい。一般に熱帯地域では、年降雨量 800mm 前後を下回った場合、中高木の密林の造成は難しいであろう。なお、年降雨量が 300mm 以下の地域では、特別な灌木以外の樹木の植栽は困難である。

西チモールの気候条件は、上述のとおり、年間の総雨量は少なくとも 1,500mm 前後あるので、乾性の高木閉鎖林が成立しうる雨量条件にある。一方、1,000mm 以下の場所（例えばスンバ島やウエタル島の東南部、ミャンマー中央部など）では、せいぜい数百本/ha 以下の密度の植林が安全であると思われる。ミャンマー乾燥地帯（年降雨量 800mm 前後）では、標準は 750 本/ha である。

その他に直射日光が当たらないように、被陰樹下に植える（写真 9）。あるいは被陰物を構築（例えば竹籠やネットで囲う）して水分蒸発を防ぐ試みもある。しかし人工物による被陰は街路樹や庭園樹などに限られるだろう。また、被陰下で栽培する必要があるコーヒー、ココア、あるいはアグロフォレストリー作物などでは、被陰樹の利用は有効な手段である。



写真 9 林間植林（浅川、1999）

3) 直播き、直挿木による植林

乾燥地や荒廃地においては、直播き植林が有効な場合がある。荒廃地等では雑草の繁茂も少ないので、芽生えが雑草との競争に負けることが少ないという特徴があることと、発根した根が自然に下方に伸びていくため、一旦定着すると少々の乾燥では枯死することはないという（野田 2000）。直播を成功させる条件として、上記に述べたようないくつかの植林時の対策と組み合わせることも重要である。例えば、テラスや溝の構築＋石マルチングの実施（写真 9、図 6、塩水流 2003）により、荒廃地の直播き植林に成功した例がある。また、利用可能な樹種としては、比較的種子が大型で、芽生えの成長が早いこと、裸地に生育可能なパイオニア樹種であることなどが挙げられる。また比較的種子が大きく、ある程度以上の降雨があるとすぐに発芽する半砂漠性の草本（たとえばヨモギの一種、沙蓬）を散布して、飛砂、流砂を防止する試みが行われている例もある。広範囲に緑化を進める場合に、飛行機からの空中播種（飛播造林）をする方法が中国等では行われている（吉川他 2004）。

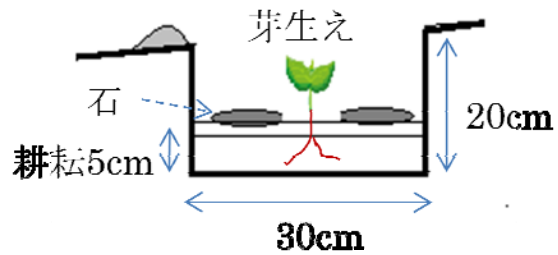


写真9 トレンチ内に直播されたアカシア sp. 図6 写真9の縦断模式図
と石マルチング (ボリビア、塩水流、2003)。

裸地への直挿しによる植林は、発根率が高いポプラや柳を用いて、春の萌芽前に太くて長い棒状の挿し穂を砂地に深く挿す方法で、中国等の乾燥地では広く用いられている。熱帯地域でも、*Gliricidia sepium*、*Calliandra calothyrsus*、*Gmelina aborea*、*Pterocarpus indicus*、*Peronema canescens* などは挿し木が容易で、生垣や境界柵などに一部で用いられている。

4－3．植栽時期の選択および植栽後の給水

i) 適切な植林時期の選択：

常識的なことであるが、雨季の初期に植林をすることが、熱帯サバナ気候のもとでは最も大切である。西チモールの場合、雨季は11月下旬～4月上旬であるので(図1)、植林適期は12月中旬～1月末であろう。これは植穴が十分湿った頃に植え始め、且つ雨季が終わるころまでに、乾季の乾燥に耐えられるような根の伸長が期待できるからである。ミャンマーの中央乾燥地帯における植林では、雨季に入って最初の雨は見送って、2度目の雨が到来したら植林するそうである。これは最初の雨の後、しばらく降雨がない年があるそうで、雨季到来を十分に確かめる手段であるという。

植えられる植物の側からみると、乾燥耐性が大きい成長停止期(乾季)から雨期に入ってから根や芽が動き始める前に植林をするのが理想的である。したがって乾季の終了後なるべくすみやかに植林できるように準備する。それには、乾季の間に植え穴の耕耘を行い、土中への雨水の浸透増加や土壌の保水力の向上を図る。これによって、苗木は植林後の一時的な乾燥に耐えると共に、速やかな成長再開が期待できる。

ii) 給水（灌水）をする

常時の給水： 年降雨量が 1,000mm を超え、雨季が 5 カ月前後続くような西チモールの熱帯サバナ気候下では、この必要性はない。より乾燥の厳しい半乾燥や半砂漠地帯では、ワジや川の水をダムなどで貯水し、用水路、パイプ等で導水して利用する、あるいは湧水や地下水を汲み上げて利用するなどの常設の灌漑施設による給水法がある。これは、一般には、農作物や果樹栽培地に対して施設されていて、樹木や植林地に対しては、このような恒久的施設が単独で設置される例はほとんどない。乾燥地での多量の常時灌水は、土中の塩基類を土壌表層に集積させることがあるので、これを防ぐ意味でドリップ式給水法が農作物や果樹などに行われている例は多いが（吉川他 2004）、林業では実験的な試みに止まることが多いようである。

一時的な給水： 半乾燥地の植林における給水の場合は、植林と同時あるいはその直後に 1～数回程度の給水を実施し、一旦苗木が根付いたら、その後は自然にまかせることが多い。

4－4. 推奨技術のまとめ

ここで取り扱った熱帯サバナ地帯で乾季が 6 か月以上の半乾燥地における森林造成技術については、東南アジアでは、年降雨量が 1,000mm を超える地域（乾性半湿潤地域）と 800mm～300mm の範囲の地域（半乾燥地域）に分けて対策をすることが、経済及び効率面で望ましいと考える。東南アジアでは、前者にはインドシナ半島の内陸部、ジャワ島東部、ヌサテンガラ州諸島の大部分（今回の試験地所在の西チモールなど）があり、後者にはミャンマー中央部、東ヌサテンガラ州スンバ島東南部などがある。

比較的湿潤な半乾燥気候地、例えば西チモールのように年降雨量が千数百 mm もあるところでは、以下の乾燥地植林技術を採用することを推奨する。

- 1) 耐乾燥性の大きい樹種を選択する。言い換えると、次のような樹種群から選択する；
パイオニア樹種、陽樹、落葉樹、深根性樹種、硬葉・小葉樹種など。
- 2) 雨季に入り、植林地の土壌が十分湿ったのを確認後に植林を開始し、遅くとも雨季終了の 3 か月前までに植林を終える。適期に植林するためには、植え穴等の植林準備は乾期のうちに終えるのが望ましい。
- 3) 育苗時に根切りやハードニング処理を施した荒廃裸地植林に強い苗木を用いる。
- 4) 雨季の終わりから乾季のはじめにかけて、下草刈りを実施し、野火の延焼や家畜の侵入を防ぐとともに、刈り取った草を用いて苗木周囲にマルチングを行い、乾季の土壌からの水分蒸発を減らす。特に植林時期が遅れた場合にこれは有効であろう。
- 5) いずれの気候帯においても大切なことであるが、植え穴の下部には表土や腐葉土などを混じ、根の深部への速やかな伸長を促進する。

次に年降雨量が 1,000mm に満たない半乾燥気候地では、上記に加えて、先に述べたミャンマーの中央乾燥地やアフリカのサヘル地域で行われているような、①雨水を集めるマイクロキャッチメントの造成、②大きな植穴による土壌保水量の増大、そして③植林時の灌水、

さらには④樹種によっては被陰や樹下植林などが有効であろう。また、このような乾燥地では高木林の密林を維持することは困難であるので、⑤植林密度を ha 当たり数百本前後に下げるのが安全である。

第5章 植林後の保護（動物被害防止対策、山火事防止対策）

一般に、植林では、植栽後の植林地の保育や保護が重要である。半乾燥気候地では特に動物被害として、放牧牛に植栽木が食べられたり、長い乾期中に山火事被害によって焼失したりしてしまうケースが多い。そこで、それら植林地の保護対策について以下に述べる。

5－1．動物被害防止対策

半乾燥気候地においては、長期間にわたる乾期の期間中に農作物の栽培ができない。このため、粗放的な放牧を行っている例が多い。特に乾期は、植林地周辺が山火事で焼失してしまい飼料となる草が不足し、植林地内に侵入してくる危険性がある。そこで、以下の通り、植林地を囲む防護柵を設置する必要がある。

1) 植林地を囲む生垣（バイオフエンス）の設置

植林地の防護柵の柱として、鉄製の棒を用いる場合があるが、コストが高い。また、木製丸太は数年で腐ってしまう。そこで、生垣（バイオフエンス）として、幹挿し造林が可能な樹種（*Gliricidia sepium* (Gamal) や *Lannea coromandelica* (Kedondong Pagar)) を防護柵の柱として用いる。この生柱に竹やワイヤーを巻き付けて、防護柵を設置する。このようなバイオフエンスは、比較的低コストで簡易に設置できるため、半乾燥気候・石灰岩地帯での防護柵として広く採用されている。



写真1 植林地内に侵入した放牧牛



写真2 植林地の防護柵としてのバイオフエンス

5－2．火災被害防止対策

半乾燥気候地において、植林した後に火災被害を受けた場合、これまでの全ての森林回復の努力が無に帰してしまう。今回の東ヌサテンガラ州の実証植栽試験地についても、4カ所のうち2カ所が火災被害を受けた（写真3, 4）。



写真3 植栽地における山火事被害



写真4 熱で溶けたナンバーテープ

火災は乾燥する森林地帯では雷光または木が擦り合って発生することは、アメリカやオーストラリアでは起こるとされているが、東ヌサテンガラ州のような草原地帯では通常まれである。しかも雨のほとんど降らない乾期での火災であり、また散在する立木に雷が落ちた様子は見られなかったことから、火災発生原因はおそらく人為的なものと推定することが妥当と考えられる。人為的原因には通常、焼き畑火入れ時の延焼、放牧牛用のイネ科草本の更新を図るための火入れ、たばこやたき火の不始末および興味本位の付け火が考えられる。

火災被害防止対策としては、技術的な対策と社会的な対策の2つに分けられる。

1) 火災被害防止について技術的対策

- i) 植林地の外側に防火帯を設置（写真5）
- ii) 植林地の内側も区画を区切り、その間に防火帯を設置
- iii) 植林地内の枯れ草など可燃物を徹底除去
- iv) 防火帯における先行火入れ、管理火入れ（prescribed burning/controlled burning）



写真5 植林地外側の防火帯
（12m 幅）



写真5 先行火入れ、管理火入れ
（prescribed burning/controlled burning）

出典）The Nature Conservancy

2) 火災被害防止について社会的対策

- i) 定期的な植林地のパトロール
- ii) 周辺村落において山火事防止のためのルールを設定
- iii) 植林地管理について責任分担制を導入し、山火事防止した成果として報奨金
- iv) 植林地内または外側に、住民のベネフィットとなる樹種を植栽

引用文献 (50 音順)

- 浅川澄彦 (1999) 熱帯の造林技術 国際緑化推進センター 137pp.
- 小泉 博、大黒俊哉、鞠子 茂 (2000) 草原・砂漠の生態、生態学への招待シリーズ、共立出版 250pp.
- 国際緑化推進センター (2009)。黄砂対策植生回復技術マニュアル (砂漠化対策と乾燥地の緑化)、国際緑化推進センター、203pp.
- 高麗泰行 (2004) 中国四川省における造林事例の紹介、熱帯林業 N. S. 61 : 53-60
- 野田直人 (2000) タガヤサン (*Cassia siamea*) の直播き造林 (続報) 一半乾燥地の高リスクに対応した適正技術一、熱帯林業 N. S. 48 : 53-58
- 藤森末彦 (2007) 中国・黄土高原の植林技術、熱帯林業 N. S. 69 : 48-56
- 塩水流隆道 (2003) 直播造林の試みーボリビア、アタリハ溪谷住民造林・浸食防止プロジェクト、熱帯林業 N. S. 58 : 31-40
- 吉川 賢・山中典和・大手信人編著 (2004) 乾燥地の自然と緑化 ー砂漠化地域の生態系修復に向けてー 共立出版 233pp.
- Adisoemarto, S. (1982) Sumber daya alam di Camplong dan Sekitarnya, Kecamatan Futule' u-Kabupaten Kupang Timor, NTT. Lembaga Biologi National, Indonesia
- Kathryn A. Monk, Yance De Fretes, Gyatri Reksodiharjo-Lilley (1997) The Ecology of Nusa Tenggara and Maluku, Periplus Editions (HK) Ltd. 966pp.
- Turnbull, John W. (1986) Multipurpose Australian Trees and Shrubs. Australian Center for International Agriculture Research. 316pp.
- van Steenis (1997) 未発表、前書 (K. A. Monk *et al.* 1997) にて引用.

添付資料A-1. 東ヌサテンガラ州半乾燥気候・石灰岩地帯の森林回復実証植栽試験に用いた樹種の土壌・気候条件への適性判断

植物分類		No.	植栽樹種名	＜適性判断＞				
目	科			Nekban		Penfui	Silu	Soe
				埴質vertic		深土壌	石礫土	石礫土
				2012/ 2013	2013/ 2014 (改植)	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015
モクレン目	バンレイシ科	1	Annona muricata				△	
クスノキ目	クスノキ科	2	Persea americana					◎
ビャクダン目	ビャクダン科	3	Santalum album					◎
フトモモ目	フトモモ科	4	Eucalyptus urophylla		○		○	○
		5	Syzygium cumini		△	△		
		6	Syzygium samarangense					○
キントラノオ目	トウダイグサ科	7	Aleurites moluccana	○	○		△	
マメ目	マメ科	8	Acacia sp.		◎			◎
		9	Cassia siamea				○	
		10	Dalbergia latifolia				△	
		11	Enterolobium cyclocarpum	◎				
		12	Pterocarpus indicus	○	◎	○	○	◎
		13	Samanea saman				○	◎
		14	Tamarindus indica				○	
バラ目	クワ科	15	Artocarpus heterophyllus			△		
ブナ目	モクマオウ科	16	Casuarina junghuhniana		◎	◎	○	○
アオイ目	アオイ科	17	Sterculia foetida	◎	◎		◎	○
ムクロジ目	ムクロジ科	18	Schleichera oleosa				◎	
	ウルシ科	19	Anacardium occidentale				◎	◎
	センダン科	20	Azadirachta indica	△				
		21	Swietenia macrophylla	△	△	○	△	◎
		22	Toona sureni	○		○		
	ミカン科	23	Citrus sp.					◎
ツツジ目	アカテツ科	24	Manilkara zapota				△	
	サガリバナ科	25	Planchonia valida					◎
シソ目	シソ科	26	Gmelina arborea	◎	◎	◎	○	◎
		27	Tectona grandis		○	△		
計				8種	10種	8種	15種	14種

＜適性判断＞

- ◎: 土壌・気候環境に良く適している
- : 土壌・気候環境に適している
- △: 土壌・気候環境に適していない

添付資料 A-2. 東ヌサテングラ州における半乾燥気候・石灰岩地帯の森林回復実証試験に用いた植栽樹種の特性

東ヌサテングラ州農業過剰開発跡地に設定された試験地において植栽された樹種の概要、分布特性、立地環境、生理生態的特性についてアウトラインを記載した。また、対象樹木の選定理由となった対象木の利用の現状やその他特記すべき事項についても付記した。インドネシア全体的に使われている名称は PROSEA に準拠したが、地域の名称と異なる場合があり、そのような名称は森林研究所の職員から聴取し、付記した。森林研究所職員でも不明な種については、Field Guide Book of Plants for Restoration の著者の Ms. Desitarani の協力を得た。本記載作成に当たっては PROSEA の他、巻末にリストアップした書籍から得た情報を得た。なお、*Citrus sp.*についてはマンダリンオレンジのティモール島高原地帯の Soe で開発した品種という森林局の説明を記載した。

学名(インドネシア名)	分布、起源、気候等一般情報	立地、生態、生理	利用および特性
<i>Annona muricata</i> (Sirsak)	バンレイシ科。灌木~小木ーH:3~10m。熱帯アメリカ原産。熱帯雨林~弱い乾季を持つ季節林。原産地では高温・湿潤で、1,000m までおよび南緯 25°まで。	ほとんどの土壌で生育可能であるが、湛水環境は不可。排水良好土壌では成績良。根浅く、乾燥と寒さに弱い。種子による増殖が基本。よい形質を接ぎ木で増殖。	果樹利用。果実を生食。香りあり、ジュースやアイスクリームにも重用ー美味。
<i>Persia Americana</i> (Avokad)	クスノキ科。小木ーH:20m。メキシコ〜ペルー原産。熱帯・亜熱帯雨林~弱い乾季のある季節林。	低温耐性(1~2°C)。適温 25~33°Cで日較差 8~10°Cで良。風に弱く混植良。湿潤土壌良。海水および Cl-に弱い。300mm(要灌水)~2,500mm で生育可能。種子による増殖が基本であるが種子は 1 週間で失活。	果樹利用が主体。種子油は化粧品、薬用利用。 木材利用ー中庸材ー比重 0.66。 風が弱い場所か添え木などで風を遮る必要あり。
<i>Santalum album</i> (Cendana)	ビャクダン科、小木ーH:10m、DBH:30cm。インド〜インドネシア〜ニ	深い湿潤土壌で、排水良好土壌で良好。日照を必要。砂質土壌でも成育す	精油生産。香木生産(白檀)。 木材利用もある-重硬材ー比重

	ユーギニア。熱帯季節林、降水量—600～1,500mm。標高—600～1,200m。最低気温 10℃以上で、熱帯では冷涼な場所。	るが遅いとされるが、香気は大とされる。寄生植物を幼樹段階で必要。	0.9。 現地産樹種。
<i>Eucalyptus urophylla</i> (Ampupu)	フトモモ科、大木—H:55m、DBH:200cm。インドネシア・小スンダ諸島とモルッカ諸島原産(南緯 8～10°)。ティモール等では高い標高に自生。なお、バリ島等では標高 3000m まで造林—500～1,400m で良好。熱帯季節林樹種。	深い、湿潤な、排水良好な場所で最良。造林は容易で、天然更新も可能。初期成長がよいため、造林後の管理も容易。乾燥耐性。強光耐性。最低温度は 8～12℃。	木材利用。中庸～重硬材—比重 0.7 程度。バリ島などで造林が進んでいて、すでに大木。 初期生長良好で材質も良。造林推奨。 <i>E. alba</i> と交雑種あり。 現地産樹種。
<i>Syzygium cumini</i> (Jamblang, 地域名—Jambu Air)	フトモモ科。小木—H:10～15m。ヒマラヤ～オーストラリア原産。明瞭な乾季を持つ熱帯季節林。標高 600m まで。	乾燥耐性。多様な立地環境に耐性。種子による増殖が基本であるが、良形質維持のため、接ぎ木も実施。	果樹利用。生食、ジュース。飼料利用。種子は地域薬。燃料材。 現地産樹種。
<i>Syzygium samarangense</i> (Jambu Semarang)	フトモモ科。小木—H:10～18m、DBH:25～50cm。マラヤ・アンダマン諸島原産。熱帯雨林で若干乾季ある場所。低地林—1,200m。	適潤な粘土質土壌～地下水位の高い砂質土壌。施肥効果は大きい。	生食果樹利用。果樹の香気を香りつけ香料として利用。 現地産樹種？
<i>Aleurites moluccana</i> (Kemiri)	トウダイグサ科。小～中 径 木。 DBH:150cm、H:10～40m。原産詳細不明—多分インド～ポリネシア。比較的乾いた熱帯季節林中心で、亜熱帯季節林まで生育可能。1,200m まで。18.7～27.4℃。降水量—640～4,290mm。低地林樹種。	自生地は排水良好砂質土壌や石灰岩山地。湿潤地～乾燥地に耐性あり。適応範囲が広く、斜面のやせた土壌でも可。pH5～8.0。種子による増殖が基本。	核果利用(ギヤンドルナッツ)。若干の毒性ある油抽出。工業用油、灯明、薬用、塗料原料等。 木材利用については記載ない。 現地産樹種？
<i>Acacia</i> spp. 地域で	マメ科。	造林地を増やして、好適な環境や造林	木材利用について検討が必要で

は <i>Acacia auraria</i> と仮称	ティモール島の比較的高い地域に自生。 地域特産種かもしれないが、 <i>Acacia auriculiformis</i> と <i>A. mangium</i> の中間的な形状。現地では中径木の生立木を観察。	管理方法をチェックする必要あり。乾燥に対する耐性はあると判断。増殖方法については種子増殖が可能と推定。	あるが、中庸～重硬材の可能性あり。 Hybrid の可能性があり、自然分布の状況を調査し、レットリストに載せることについて検討必要。現地産樹種。
<i>Cassia siamea</i> (Johar)	マメ科。小～中木。DBH:50cm、H:20-30m。インド～スマトラ原産。乾燥フタバガキ林および熱帯季節林樹種で標高1,100mまで。	乾燥地帯で比較的湿潤な場所で良好。深い土壌では成育良好。種子による増殖が基本。	木材利用(タガヤサン-鉄刀木)-重硬材-比重0.8～1.0程度。黒色と淡色の縞が美麗。
<i>Dalbergia lathifolia</i> (Sonokeling)	マメ科、中～大径木-H:43m、DBH:180cm。ネパール～インドネシア原産。常緑季節林・乾燥季節林。降水-40mm以下の月降水量が6ヶ月以下。ジャワ島では標高600m以下で良好であるが、場所によっては1,000mまで可能。	深い、常時湿潤な土壌で良好。排水量光土壌で良好。貧栄養、岩石質土壌では不良。乾燥耐性。強光耐性。最低気温は6℃以上必要。種子結実が良好ではなく、根および枝の挿し木が一般的。	木材利用-紫檀材生産。この種は暗赤紫色の美しい中庸～重硬材を生産-比重0.80～0.86。若木は優良な燃料材。地域では葉を飼料として利用。現地産樹種？
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Sengon Buto)	マメ科、大径材-H15～30m、DBH:300cm、中米原産、常緑・乾燥熱帯季節林、その他の情報は少ない	乾燥耐性。強光耐性大、貧栄養土壌でも成育旺盛、種子再生産も旺盛	軽軟材-比重0.47、耐久性若干 コーヒー栽培被陰木。 東南アジアの荒廃地等での造林事例は多く、好適。一次造林。
<i>Pterocarpus indicus</i> (Sonjokembang、地域名-Kayu Merah)	マメ科。中～大木。DBH:350cm、H:40m。ビルマ南部～太平洋島嶼原産の広域種。熱帯雨林～落葉熱帯季節林。河畔林・河川縁辺に多い。標高：PNGでは100m	河畔の深い土壌で良好であるが、立地適応範囲は広い。砂質土壌から粘土質土壌。光要求度高い。種子による増殖が基本で、造林時苗木のスタンプリブ可	木材利用-中庸材～重硬材-比重0.55～0.90。暗黄色と赤褐色の縞が美麗な材(カリン材)。黄色蛍光。自生地では絶滅危惧状態。

<i>Samanea saman</i> (Trembesi)	以下であるが、600m 程度でも造林可能。 マメ科。大木ーH:25~40m、DBH:200cm<。南米北部原産。熱帯雨林〜熱帯季節林(乾季2~4ヶ月)。1,000m まで。降水量-1,000~2,500mm。最低気温-18~22℃。	能。植栽木ー49cm/60 年(Malaysia)。適切土壌は砂質土壌~粘土質土壌と広範。好適 pH は 5.5~8.5。造林時 700mm 程度の乾燥に耐性。強光耐性。種子による増殖が基本。季節的湛水には耐性あり。	現地産樹種。 広い樹冠ー被陰樹として活用。木材利用ー中庸材ー比重 0.55 前後。縞あり、時に美麗。木彫や木工品に利用されることが多い。燃料材。
<i>Tamarindus indica</i> (Asam)	マメ科。大径木ーH:30m、DBH:200cm。多分熱帯アフリカ・サバンナ原産。熱帯季節林(湿潤熱帯では不良)。標高 2,000m 程度まで。遺伝的多様性が高い樹木。	土壌に対する要求は高くなく、砂質から粘土質まで生育可能。ただし、酸性土壌では不良。乾燥耐性大。強風と寒さに耐性大。種子による増殖が基本。降水量多いと結実量減少。	成熟果実は生食あるいは菓子原料。酸味が強い場合はジャム原料。若い果実は酸味料として利用。収穫は植栽後 4~5 年。
<i>Artocarpus heterophyllus</i> (Nangka) Artocarpus kemando と類似	クワ科。中木ーH:30m、DBH:50cm。インド〜ミャンマー原産。亜熱帯〜熱帯季節林。混合フタバガキ林。時に湿地等低地に生育。インドネシアでは標高 1,000m 程度まで。降水量ー700~4,200mm。	乾燥耐性小さい。湿潤土壌で良好。pH4.3~8.0。石灰岩土壌ではあまりよくない他は特に問題となる立地環境はない。種子による増殖が基本。	ジャックフルーツとして生食および料理材料。種子も食用。乳液は鳥もち。材から染料。木材利用ー軽軟材〜中庸材ー比重 0.60 内外。 現地産樹種？
<i>Casuarina junghuhniana</i> (Cemara Gunung、地域名ーKasuari)	モクマオウ科。中〜大木ーH:35~60m、DBH:100~150cm。東ジャワ〜小スンダ列島原産(インドネシア固有種)。熱帯季節林。山地帯に多い。小スンダ列島では海岸から標高 3,000m まで生育。	土壌や地形に対する要求は少ない。種子による増殖が基本。植栽時 Frankia を持つ土壌に感染させると良好。	木材利用ー重硬材ー比重 0.79~1.3。耐水性に富み、利用が広範。以前は <i>C. montana</i> とされていた。 現地産樹種。
<i>Sterculia foetida</i>	アオギリ科。中木〜大木ーH:40m、	乾燥地に耐性大。明瞭な陽樹。土壌的	食料利用ー種子の焙焼、油

(Kepuk、地域名－Nitas)	DBH:90～120cm。東アフリカ～ハワイ 広域種。明瞭な乾季を持つ熱帯季節林に 散生。低地林・海岸林で乾燥地から湿地 まで広域分布。標高 1,500m>	な要求度は低い。種子による増殖が基 本で、増殖は容易。	種子の油は灯明にも使用 樹皮は薬用と Batik の染料 木材利用－極軽軟材～中庸材－ 比重 0.25～0.60 現地産樹種。
<i>Scleichera oleosa</i> (Koosambi)	ムクロジ科。小木－H:15m。インド、ジ ャワ、ティモール原産。熱帯雨林～乾燥 熱帯季節林まで幅広い適応。標高 1,000m まで(天然では 600m)。24℃以上。 900～3,000mm。	弱酸性土壌で良好。排水良好土壌が好 適。種子で増殖あるいは根萌芽のスタ ンプでも可。種子は速やかに失活。	核果焙焼食用。油脂採取－マカ ッサルオイル－料理・灯明等品 質良。果実食用。葉は野菜。ラ ック栽培－高品質。高級薪炭。 木材利用－比重 0.90～1.08。 現地産樹種。
<i>Anacardium occidentale</i> (Jambu Mede、地域名 －Jambu Mente)	ウルシ科。小木－12m。ブラジル東北部 原産。年降水量－800～1,000mm。熱帯 季節林の低地林(乾燥月－2～5 ヶ月)。低 温に弱い(ため(21～28℃)、海岸に多く、 内陸には少ない。	深い、排水良好土壌で良好。湛水不良。 酸性土壌可-pH4.5～7.0。乾燥に耐性 大。特に開花期が小雨、結実期が乾燥 という気候が最良。最低 17℃。種子 による増殖が基本。植栽後に施肥有 効。	核果利用が中心。果実は食用、ジ ュース。ナッツの殻から油抽出。 樹皮から染料。 木材利用(低質材)－中庸材－比 重 0.63。
<i>Azadirachta indica</i> (Mimba) (or Mindi)	センダン科。小～中径木。DBH 90cm、 H:25m。インド・パキスタン及びビルマ 原産。熱帯季節林構成種で植栽は標高 1,500m>。地形、地質要求はあまりなく、 乾燥地帯で広く造林	pH6.2-7.0 の土壌で最適。年降水量 1,000mm 程度が良であるが、400mm でも 2,000mm 以上でも可	強光に対する耐性は大きい。酸 性耐性は不明。薬用植物として 利用あるいは殺虫成分抽出。材 は良質(比重 0.7-0.9)
<i>Swietenia</i>	センダン科。中央～南アメリカ(中北部)	ペルーアマゾン地帯では酸性土壌	高級材生産、中庸材－比重 0.5～

<i>macrophylla</i> (Mahoni)	原産。中～大木(Peru)では巨大木)。DBH:150cm、H:40m。ペルーでは熱帯雨林地帯の洪積台地の凸状地形に多産し、低湿地にはほとんど存在しない。広く東南アジアで植栽	(Acrisol)では生立せず、石灰質土壌(calcic Cambisol)に多産した。湿地性土壌では不良?強光下でも成長する。酸性耐性については不明。ペルーアマゾン地帯では酸性土壌(Acrisol)では生立せず、石灰質土壌(calcic Cambisol)に多産した。湿地性土壌では不良?強光下でも成長する。酸性耐性については不明。	0.6、害虫－ <i>Hypsipyla robusta</i> が東南アジアには生息するが、致命的ではないことが多い。ただカリマンタンの一部では被害甚大。
<i>Toona sureni</i> (Suren)	センダン科。中径木～大径木－H:40～60m、DBH:100～300cm。ネパール～ニューギニアの熱帯と亜熱帯。季節林気候。降水量は800～1,800mm。標高2,000mまで。	深い、肥沃な、湿潤な土壌で最良。壤土で排水が良好な土壌で好適。特に湿潤でCaに富むアルカリ性土壌で良好。乾燥に耐性あり。マホガニーの仲間。種子繁殖が基本。	有用材生産－中庸材－比重0.53。シーダーの香りがあり、また軽軟な割には加工性能に富んでいる－良材生産。現地産樹種。
<i>Citrus</i> sp. <i>Citrus reticulata</i> c.v. soeと推定 (Jeruk Keprok?)	ミカン科。灌木～小木。インド～中国起源。マングラニンオレンジで日本の温州ミカン。45°N～35°S。亜熱帯季節林。乾季を必要。好適標高:600～1,300m。	乾燥耐性あり。地下水位少々高いことが良好。立地的要求は高くはないが、相対的湿潤地で良好。寒さに耐性。台木の芽接ぎで品質維持。	果樹利用。生食、ジュース等ミカンと同じ。本品種はSoeの高原性気候に適合するように開発。
<i>Manilkara zapota</i> (Sawo)	アカテツ科。小木～中木－H:25m, 100cm。アジアに類似種あるがこの種は南米原産。熱帯雨林。海岸など低地に多く、標高500mまで。	砂質土壌で良好。時に砂土(Regosol)。乾燥には耐性少ない。施肥に対する反応顕著。種子による増殖が基本。日陰に播種。接ぎ木によりよい形質品種を維持。	サボジラ果樹－生食。ラック生産－低質。木材利用－重硬材－比重0.9～1.15。木彫に活用。 <i>M. kauki</i> 東南アジアの類似種－接ぎ台として使用

<i>Gmelina arborea</i> (Jati Putih、地域名－Gmelina)	クマツヅラ科。小～中径木。 DBH:100cm、H:30m。パキスタン～ビルマ・スリランカ原産。熱帯雨林～乾燥季節林までの広範な生育環境を持つ	栄養要求度が高く、肥沃な適潤土壌で成育良好であるが、容脱酸性土壌では不良。光要求大きい。種子増殖一採り蒔き。	木材利用－軽軟～中庸材－比重0.48～0.55。軽い用途に使用。果実生食。家畜飼料。葉と根から地域薬。
<i>Tectona grandis</i> (Jati)	クマツヅラ科、中～大径木－H:50m、DBH:150～25cm、インド～ラオスの中緯度地方、インドネシアには400～600年前に移入と考えられている。熱帯落葉季節林帯の明瞭な乾季がある地域、標高1,000m以下、降水1,200～2,000mm(インドネシア)	肥沃な深い土壌で成育良好、適正な酸性土はpH6.5～8.0とされる。特徴的な養分要求があり、高いCaとPがあることが良好な生育を示す。過湿に弱く、酸性土壌には不適。種子生産は良好でスタンブ造林が導入。	中庸材－比重0.8～0.75、木材にチロースと称するワックスが含まれ、柔らかい感触が得られる高級材。インドネシアでは直蒔きのケースも多い。 家具材(大径材)と足場丸太(小径材)に活用。
<i>Planchonia valida</i> (Putat。地域名－Fafi Nakafで隣接するスンダ島ではLangaha)	サガリバナ科。大木－H:50m、DBH:150cm。半島マレーシア～スンダ諸島原産。熱帯季節林。標高は300～1,300m。	湿地性沖積土壌で良好。相対的湿潤地。強い照度を必要。強光耐性の可能性。耐火性あり。種子による増殖が基本。	木材利用：中庸材～重硬材 S.G. 0.61～1.01。燃料材としても良好。若葉を野菜利用。 地域的に絶滅危惧種。 現地産樹種。

[参考図書]

主：Plant Resources of South-East Asia (PROSEA) (1992-continued): vol.1 to vol. 12, Remens, Soeranegara, Wong, and others (ed.): ITTO, Commission of EU, FORDA

以下補足情報収集

- Tree Flora of Sabah and Sarawak(1995~2012-continued):vol.1 to vol. 7 Soepadomo, Wong, Saw and Chung, (ed.) ITTO, FRIM, Sabah Forestry Department & Sarawak Forestry Department
- Eucarytps for Planting(1979): Maxwell Ralph Jacob(ed.), FAO Forestry Series No.11, Rome
- Handbook of Nuts (1989): James Duke, CRC Press, United States
- Field Guide Book of Plants for Restoration(2014): Desitarani, Miyakawa Ismail & Rugayah, Ministry of Forestry, JICA & LIPI, Jakarta, Indonesia
- 熱帯植物要覧(1984)：熱帯植物研究会(岩佐・木方・北野・佐々木・鈴木・原)
- 熱帯の有用樹種(1978):熱帯農業研究センター(蕪木、木方、北野、原、山田)、熱帯農業技術叢書 第16号
- ブラジルの果実(1978):橋本梧郎、熱帯農業技術叢書第15号

添付資料Aー3. インドネシアにおける造林樹種および果樹等の樹種特性一覧表

Order name	Family name	Botanical name	Japanese name	Indonesian name	Use	drou qht	flood	swa mp	sand y	rocky	acid	alkaline	salinit y	low temp.	frost	wind	fire	grass	Climate, Habitats	Rainfall	Dry period	Altitude	Bacteria	Mycorrhiza	Growth
目名	科名	学名	和名・商業名	インドネシア語名	用途	乾燥	浸水	湿地	砂土	岩石	酸性	アルカリ性	塩分	低温	霜	風	火災	草	気候、生息地	降水量	乾燥月	標高		菌根菌	幼樹成長
Celastrales ニシキギ目	Celastraceae ニシキギ科	Lophopetalum javanicum	ペルボック ジャワ	Perupok djawa	家具、合板等 ³		耐 ⁰	耐 ⁰			耐 ⁰								低地雨林。しばしば浸水またはビートスワンプ林 ⁰			<1400m ⁰			
Malpighiales キントラノオ目	Euphorbiaceae トウダイグサ科	Aleurites moluccana	クワイノキ	Kemiri	種子搾油、用材等 ³	耐 ¹		弱 ⁷				<8 ⁷		8℃ ⁷		耐 ⁷			亜熱帯及び熱帯の乾燥から湿潤気候 ¹	650-4300mm ⁷	3-5か月 ⁷	<1200m ⁷			陽樹 ⁷
Malpighiales キントラノオ目	Euphorbiaceae トウダイグサ科	Hevea brasiliensis	パラゴムノキ	Karet	ゴム液、用材等 ³		耐 ¹												熱帯常緑雨林 ¹		2-3 か月 ¹	<400-500 m ¹			陽樹 ^E
Malpighiales キントラノオ目	Euphorbiaceae トウダイグサ科	Jatropha curcas	ナンヨウアブラギリ	Jarak	種子油、生垣 ³	耐 ¹						6-9 ¹¹							乾燥及び半乾燥、熱帯の比較的乾燥地域 ¹	750-3000mm ⁸	<4-6か月 ⁸	<1800m ⁸			陽樹 ^E
Hypericiales オトギリソウ科	Hypericaceae オトギリソウ科	Cratoxylum arborescens	ゲロンガン	Geronggang ⁰	家具、合板等 ³		耐 ⁰												湿潤熱帯。しばしば海岸スワンプ林優占種 ⁰			<900-(1800)m ⁰			
Malpighiales キントラノオ目	Rhizophoraceae ヒルギ科	Combretocarpus rotundatus	ペレハット バヤ	Prepat darat	内装、家具等 ³		耐 ⁰												湿潤熱帯、ベートスワンプ及びケランガス林 ⁰			<100(300)m ⁰			二次林種 ⁰
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Acacia auriculiformis	カマバアガシア	Akasia	用材、薪材、パルプ等 ³	耐 ¹	耐 ²	耐 ⁶			耐 ²	耐 ²	耐 ²		? 耐 ¹ , 無霜 ²	耐 ¹ , 弱 ¹	耐 ¹	耐 ¹	乾季のある熱帯低地 ¹ 、サバンナ気候 ⁰	700-2000 mm ¹	< 7 か月 ¹	< 80(400) m ^{1,0}	N 固定 ¹⁵		早い ⁰
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Acacia crassicaarpa			パルプ等 ^E	耐 ¹	耐 ¹	耐 ¹	耐 ¹		耐 ¹		耐 ^{1,2,6}		無霜 ¹⁰		耐 ⁶	耐 ⁶	熱帯低地の温暖〜高温湿潤及び半湿潤地域 ¹ 、サバンナ気候 ⁰	1000-3500 mm ¹ , 500-3500mm ⁶	<3-6か月 ¹⁰	<200(700)m ^{0,6}	N 固定 ¹⁵		早い ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Acacia decurrens	ミモザアガシア	Akasia	各種工作等 ³	耐 ¹⁷						弱 ¹⁷		耐 ^E -5℃ ¹⁷	根耐 ^E 10	耐 ¹⁷	根耐 ^E		冷温及び温暖半湿潤地 ¹⁷	(350)600- 1000mm ¹⁷		<2000m ^E	N 固定 ¹⁵		早い、陽樹 ¹⁷
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Acacia mangium	アカンアマンギウム	Akasia	用材、薪材、パルプ等 ³	弱 ^E	弱 ^E	耐 ²	耐 ²		耐 ^{1,2,6} 4.5-6.5				無霜 ¹⁰			耐 ¹	湿潤または多湿な ² 、熱帯低地 ¹	1500-3000 mm ²	<3-4 か月 ⁶	<200(800)m ⁰	N 固定 ¹⁵		早い、先駆樹 ^{6,2}
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Cassia siamea	タガヤサン	Johar	用材、薪材等 ³	耐 ⁶									弱耐 ⁶	耐 ⁶			熱帯モンスーン気候 ⁶	650-1500mm ⁶	4-6 か月 ⁶	<1000m ⁶	無N 固定 ¹⁵		陽樹 ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Delonix regia	ホウオウボク		庭園樹、街路樹等 ³	耐 ¹⁸							耐 ¹⁸						熱帯サバンナ気候 ⁶	700-1800mm ⁶	6 か月 ⁶	<2000m ⁶			陽樹 ^E
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Dalbergia latifolia	マルバシタン	Sonokeling	用材等 ³	耐 ^E											耐 ^E		熱帯乾燥落葉林 ¹			<600(1000)m ⁰	N 固定 ¹⁵		遅い ^E
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Enterolobium cyclocarpum	ゾウノミ	Sengon buto	用材等 ³	耐 ¹		弱 ⁶			耐 ¹⁵	耐 ⁶			弱耐 ⁶				熱帯・亜熱帯 ⁶ の幅広い生育地 ¹	750-2000mm ⁶	1-6 か月 ¹	<900(1100)m ⁶	N 固定 ¹⁵		早い、陽樹 ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Gliricidia sepium		Gamal	生垣、飼料、養蜂等 ¹	耐 ^E		弱 ⁶	耐 ¹		やや耐、適 用 ^{4,5}		15 < ¹	根耐 ⁶					熱帯・亜熱帯 ⁶ の幅広い生育地 ¹	(400)900- 1500(3500)mm ⁶	5(8) か月 ⁶	<600 ^E	N 固定 ¹⁵		陽樹 ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Koompassia excelsa	メンガリス		用材、家具等 ³			耐 ⁰											熱帯低地林 ⁰			<650m ⁰			
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Leucaena leucocephala	イビルイビル	Lamtoro	緑化、飼料、薪材等 ³	耐 ⁵	耐 ⁵		耐 ⁵	耐 ⁵	弱 ⁵	耐 ⁵ 5.5-7.7	耐 ⁵	弱 ¹ 15-25	根耐 ^{1,5}	耐 ⁵	根耐 ^{1,5}		熱帯湿潤または半湿潤地 ¹	1200 mm < ¹ 1000-3000 mm ⁵	6-7 か月 ¹ 8-10 か月 ⁵	< 500 m ⁵ <1500m ⁶	N 固定 ¹⁵		早い ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Paraserianthes falcataria	モルツカネム	Sengon laut	用材、合板、パルプ等 ³			弱 ⁶	耐 ¹		> 3.8 ¹⁵					弱 ¹	弱 ¹	耐 ¹	通年湿潤及びモンスーン気候 ¹	2000-2700mm ⁶	2-4 か月 ¹ 0 か月 ⁶	<1600 (3300)m ⁶	N 固定 ¹⁵		早い ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Parkia speciosa	ネジレフサマメノキ	Petai	莢、種子等 ³		耐 ¹	耐 ¹	耐 ¹							耐潮風 ⁰			熱帯低地雨林 ¹			<1000(1400)m ⁰	N 固定 ¹⁵		
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Pterocarpus indicus	インドシタン	Angsana, Kayu merah	用材等 ³	耐 ¹	耐 ¹						耐 ⁰						海岸から低山地林及び季節的湿地林 ¹ 、湿潤熱帯 ⁰			<600m ⁰ (1300m ⁶) , <700m ⁶	N 固定 ¹⁵		陽樹 ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Samanea saman	アメリカネム	Trembesi	用材、飼料等 ³	耐 ⁶	耐 ⁶	耐 ⁶											熱帯低地 ⁶	760-3000mm ⁶	2-4 か月 ⁶				陽樹 ⁶
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Sesbania grandiflora	シロゴキョウ	Turi	薪材、飼料、薬用等 ³	耐 ^{1,6}	耐 ^{1,6}							弱 ¹ 10		弱 ¹	耐 ⁶	耐 ⁶	熱帯湿潤及び半乾燥地 ⁶ 、しばしばマングロープ林後背地林 ⁰	適1000mm< ⁶	9 か月 ¹	<800(1200)m ⁰	N 固定 ¹⁵		早い ¹ 、先駆樹 ⁰
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	Tamarindus indica	タマリンド	Asam	果肉、薬用等 ³	耐 ¹						4.5-8.7 ⁶	耐 ⁶		耐 ¹ (成木)	耐 ¹		耐 ¹	幅広い土壌及び気候条件の低地林木地、サバンナ、及び疎林地 ¹	510-4300 ⁶	<長月数 ⁰	<1500m ⁶	無N 固定 ¹⁵		陽樹 ⁶
Rosales バラ目	Moraceae クワ科	Artocarpus altilis	パンノキ	Sukun	果実、用材等 ³		耐 ⁰	弱 ¹						弱 ¹					高温多湿の低地熱帯林 ¹ 、PNGでは川沿いやスワンプ林の林縁 ⁰	2000-3000 ⁰ , 1200-2500m ⁶	短い乾季 ¹	<600(1000)m ^{0,6}			早い、陽樹 ¹
Rosales バラ目	Moraceae クワ科	Artocarpus heterophyllus	ハラミシ	Nangka	果肉、種子、用材等 ³	弱 ¹	弱 ¹	弱 ¹				6-7.5 ⁰	耐 ¹ 弱 ⁶ 耐 ¹ 弱 ⁰		耐 ¹ 弱 ⁶ 耐 ¹ 弱 ⁰			(湿潤)熱帯及び亜熱帯地域 ¹	1500mm< ⁹		<400(1200)m ⁰				
Cucurbitales ウリ目	Datiaceae ナギナタソウ科	Octomeles sumatrana	ビヌアン	Benuang	用材、合板、パルプ等 ³	弱 ⁶												弱 ⁶	湿潤熱帯 ⁰	1500mm< ⁰	<1 か月 ⁶	<1000m ⁰			陽樹 ⁶
Fagales ブナ目	Casuarinaceae モクマオウ科	Casuarina equisetifolia	トクサハモクマオウ	Cemara laut	砂丘固定、用材、薪材等 ³	耐 ¹	耐 ^{1,6}		耐 ^{1,6}			耐 ⁶	耐 ^{1,6}						半乾燥から準湿潤地 ¹	700-2000 mm ⁶ 200-5000 mm ⁶	4-6 か月 ¹ 6-8 か月 ⁶	< 1500 m ⁶	N 固定 ¹⁵	放線菌Frankia	陽樹 ^E
Fagales ブナ目	Casuarinaceae モクマオウ科	Casuarina junghuhniana	ヤマモクマオウ	Cemara gunung? Kasuari?	用材、薪材等 ³	耐 ^{1,6}	耐 ¹			耐 ¹	>2.8 ¹⁵		耐 ^E	耐 ^E			根耐 ¹	熱帯モンスーン地 ^{1,6}	700-1500mm ⁶ 750-2500mm ⁹	4-6 か月 ⁹	<3000m ⁶	N 固定 ¹⁵		早い ¹	
Myrtiliflorae フトモモ目	Combretadeae シクンシ科	Terminalia catappa	モモタマナ	Ketapang	被陰樹																				
Myrtiliflorae フトモモ目	Lythraceae ミンノギ科	Duabanga moluccana	ビヌアンラキ	Benuang laki	用材、合板等 ³			耐 ^E											湿潤熱帯 ¹			<1200m ⁰			先駆樹 ⁰
Myrtiliflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	Eucalyptus camaldulensis	リバーレッドガム		用材、パルプ等 ³	耐 ^{E,6}	耐 ^{1,6}	耐 ^{1,6}	耐 ^{E,6}		耐 ^{E,6}	耐 ⁶	耐 ^{E,6}				根耐 ⁶	熱帯の湿潤から乾燥地 ¹	250-1250mm ⁶	0(4 ⁶)-8 か月 ¹	<600m ⁰			早い ^E	
Myrtiliflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	Eucalyptus deglupta	カメレ		用材、パルプ等 ³	弱 ^{1,0}	弱 ^{1,0}					6-7.5 ¹⁴		弱 ^{1,0}	弱 ^{1,0}		弱 ^{1,0}	弱 ^{1,0}	湿潤熱帯 ^{1,0}	2000-5000mm ^{0,9}	無乾季	<1800m ^{0,9}			陽樹 ⁶
Myrtiliflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	Eucalyptus pellita																							

