石炭採掘跡地における森林回復技術指針

〜インドネシア国南カリマンタン州の石炭採掘跡地における

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

石炭採掘跡地における森林回復技術指針

～インドネシア国南カリマンタン州の石炭採掘跡地における

森林回復実証試験を基にして～

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

Fakhrur Razie, Hamdani Fauzi, Mahrus Aryadi
Lambung Mangkurat University, Indonesia

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 年～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い、放置され荒廃地化する場合もある。近年、鉱業によって消失する森林が大きな問題となっている。鉱物採掘跡地では、強酸性や重金属過多の問題土壌が形成され、森林回復が困難を極める場合がある。発展途上国、特にインドネシアでは、近年の需要増により石炭の採掘が急激に進み、酸性硫酸塩土壌等が形成されることにより、酸性鉱山廃水の問題や、荒廃地が急増し生物多様性の喪失や洪水多発等の災害の危険性が急激に高まっている。

このような荒廃地において、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 年間で実施されることとなった。本事業では、インドネシア国南カリマンタン州の石炭採掘跡地において、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バリトー流域管理署、現地鉱山会社（Antang Gunung Meratus 社、Tanjung Alam Jaya 社）、ランボン・マンクラット大学ならびに林業省研究開発局バンジャルバルー支所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 惠彦

石炭採掘跡地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．インドネシアにおける石炭採掘の現状 1

１－２．石炭採掘跡地に対するインドネシア政府の政策 1

１－３．石炭採掘跡地における森林再生の阻害要因 2

第２章　石炭採掘跡地における森林回復の技術的要件および実施手順 5

２－１．石炭採掘跡地における森林回復の技術的要件 5

２－２．石炭採掘跡地における森林回復のための実施手順（デシジョンツリー） 6

第３章　石炭採掘跡地に出現する土壌の特性とその判定 8

３－１．石炭採掘跡地の土壌環境の特徴把握 8

３－２．石炭採掘跡地土壌ならびに埋め戻し材料の判定方法 12

第４章　埋め戻し、整地・地ごしらえ、沈殿池の設置および土壌改善 19

４－１．埋め戻し、整地・地ごしらえ、沈殿池の設置 19

４－２．土壌改善（物理性や養分等） 20

第５章　カバークロップ、植栽樹種の選択 22

５－１．地表面を速やかに被覆するカバークロップの選択 22

５－２．速やかな一次緑化を目的とした植栽樹種の選定 22

５－３．目標とする森林へ導くための二次緑化用の植栽樹種の選択 23

第６章　植林木の保育・保護 25

６－１．雑草木、ツル植物との競合から抜け出すまでの下刈り・除伐 25

６－２．山火事防止対策 26

添付資料 28

Ａ１　南カリマンタン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．インドネシアにおける石炭採掘の現状

インドネシアでは，1990 年代初頭に石炭セクターへの海外投資が解禁された後，石炭生産量が急増している。インドネシアの 2012 年の石炭生産量は約 4 億 4 千万トンと世界第 4 位であり，1990 年比約 43 倍となっている [1)]。そのうち約 3 億 8 千万トン（約 86%）は，中国やインド等の新興国および日本や韓国等へ主に石炭火力発電用として輸出されている（1990 年比約 82 倍)。一方，2012 年の国内消費量は約 6 千万トン（約 14%）と少ない。しかしながら，インドネシアのエネルギー鉱物資源省は，今後急速に増加すると見込まれる自国内の石炭火力発電用の需要を確保するため，「国内供給義務に関する省令（2009 年 34 号)」を交付し，採炭企業に地元消費量を割り当てる等して輸出量を制限する保護主義的な政策を取りはじめている [2)]。

インドネシアの石炭埋蔵量は世界第 13 位であり，大規模な埋蔵地域は，東カリマンタン州・南カリマンタン州・南スマトラ州の 3 州である。2012 年の石炭生産量・輸出量ともに東カリマンタン州と南カリマンタン州で 9 割以上を占める。インドネシアでは，2009 年 1 月に「鉱物石炭鉱業法（2009 年法律第 4 号，以下「新鉱業法｣)」が公布された。これに伴い，これまでインドネシアの鉱業事業形態として，外国投資に活用されてきた契約方式（Contract of Work：COW）制度は廃止され，鉱業権はライセンス方式（鉱業事業許可制度）に一本化された。事業面積が数万ヘクタールの大規模事業社上位 10 社で，全石炭生産量・輸出量の約 60%を占めている [3)]。残りの 40%のなかには，中小規模事業者も数多く含まれており，その総数は千社に上る。

１－２．石炭採掘跡地に対するインドネシア政府の政策

インドネシアの石炭採掘は主に露天掘りで行われるため，森林・植生喪失のみならず大規模な地形の改変を伴い景観や環境に大きな影響を与える（図 1)。

図 1　東カリマンタン州の大規模石炭採掘地

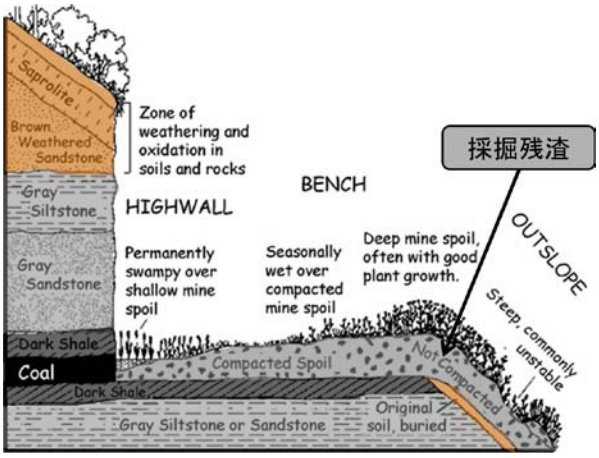


図２　石炭露天掘りにより形成される地形(模式図)
出典) W. Lee Daniels and C. E. Zipper. 2010.

このため，石炭採掘跡地の取り扱いは，「新鉱業法」の細則である「採掘跡地の処理や再生（政令 2010 年第 78 号)」で規制されている。鉱業事業者は，事業開始前に跡地処理・利用計画を政府に提出し承認を受け，採掘後にはその計画に応じて跡地を処理・利用または採掘前の土地利用へ回復することが義務付けられている。特に，採掘予定地の土地利用が森林地の場合は，管轄するインドネシア林業省から借用許可を得なければならない。インドネシアの森林地のうち，鉱物の採掘が許可されているのは，「生産林（坑道掘りおよび露天掘りも可)」と「保安林（坑道掘りのみ可，露天掘りは不可)」であり，「保全林」における鉱物の採掘は禁止されている。森林地を借用する場合，採掘後は埋め戻しを実施したうえに森林を再生して返却することが義務付けられている（「森林地の利用（政令 2010 年第 24 号)」や「森林の再生や回復（政令 2008 年第 76 号)」)。インドネシア林業省は，近年増え続ける石炭採掘跡地における森林再生を重要課題のひとつとして位置づけ，「森林再生指針（2011 年林業大臣令第 4 号)」や「森林再生の成功評価指針（2009 年林業大臣令第 60 号)」等を公布して，石炭をはじめとする鉱物採掘跡地の森林再生を推進しようとしている。

１－３．石炭採掘跡地における森林再生の阻害要因

しかしながら，鉱物の採掘跡地では，さまざまな森林再生の阻害要因が存在している。

石炭採掘跡地における森林再生を困難なものにしている主要な原因は，その特殊な土壌環境であることが多い。一般的に，採掘前の自然状態の地層では，風化を経て鉄の酸化によって褐色～黄色を呈するに至った土壌層（表層土＋下層土)，その下には風化の初期段階にあるが酸化は進んでいない灰色の基岩層，さらにその下には暗色～灰色の堆積岩層と黒い石炭層が存在している（図 2）[4]。露天掘りでは，これら石炭層の上に堆積した基岩層や土壌層を取り除いて石炭を採掘する。

採掘時に随伴して掘り出されるこれら堆積物（掘削残渣，英語では overburden と呼ばれる）は廃棄物として土捨て場に捨てられるか，露天掘り跡の穴を埋め戻す際に利用される

（図 3)。採掘残渣中の多くを占める未風化で灰色の採掘残渣は，一般に礫質で，細粒化した物は貧栄養である。それに加えて，土捨てや埋め戻しの際の整地・地ごしらえでは，崩壊を防止するため大型の重機を用いた締め固めが行われるため，著しい土壌の堅密化が進行し植生の定着を阻害する。堅密化した表土は雨水の浸透能が極めて小さいために，雨水の多くが表面流去水として流去する。その際に激しい表土流亡を随伴し，更に植生の定着を阻害することとなる。

さらに，採掘残渣中に潜在酸性物質であるパイライトが含まれる場合には，時間の経過と共に，著しく強い酸性を呈する酸性硫酸塩土壌（Acid Sulfate Soil: ASS）が出現するに到り，あらゆる植生の活着・生存が困難となる（図 4)。

図 3　石炭採掘跡地を整地した様子

図 4　酸性硫酸塩土壌による植栽木の枯死

このような問題に対処するため，上述のインドネシア林業省の「森林再生指針」には以下の手順が示されている。

① 露天掘りを行う際には，風化した褐色～黄色の土壌と未風化で灰色の採掘残渣を分けて保管しておく。
② 採掘残渣を捨てる場合やそれを用いて跡地を埋め戻す場合の整地・地ごしらえでは，まず灰色の採掘残渣を下に敷き，その上に褐色～黄色の土壌を全面客土する。

しかしながら現地においては，褐色～黄色の土壌層が薄く，全面客土用に保管・調達することが困難な地域もあり，灰色の採掘残渣を整地・地ごしらえに用いざるを得ない場合もある。こうした採掘残渣中に上述のパイライトが含まれている場合は，土壌が強酸性を呈し，森林再生の障害となる。このため，東カリマンタン州や南カリマンタン州では，露天掘り跡地が放棄される例も散見され，石炭採掘跡の荒廃地が増加している。生物多様性の喪失や洪水などの自然災害の危険性も指摘されており，インドネシア国内の環境 NGO から構成される石炭問題連絡協議会は批判を強めている[5)]。

そこで本技術指針では，こうした石炭採掘跡地において，実証試験の結果を踏まえた適切な森林再生手法（整地・地ごしらえ，客土，施肥，樹種選定等）を提示することを目的とした。

〔引用文献〕

1）IEA. 2013. Coal Information 2013.

2）手打晋二郎. 2013. インドネシア石炭事情. JCOAL Journal, Vol.26, p12-15.

3）（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構. 2014. インドネシア石炭鉱業事情. http://coal.jogmec.go.jp/result/docs/140611_07.pdf.

4）Jaringan Adovaksi Tambang. 2010. Deadly Coal Extraction & Borneo Dark Generation. http://english.jatam.org/index.php.

5）W. Lee Daniels and C. E. Zipper. 2010. Creation and Management of Productive Minesoils. Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University.

第２章　石炭採掘跡地における森林回復の技術的要件および実施手順

２－１．石炭採掘跡地における森林回復の技術的要件

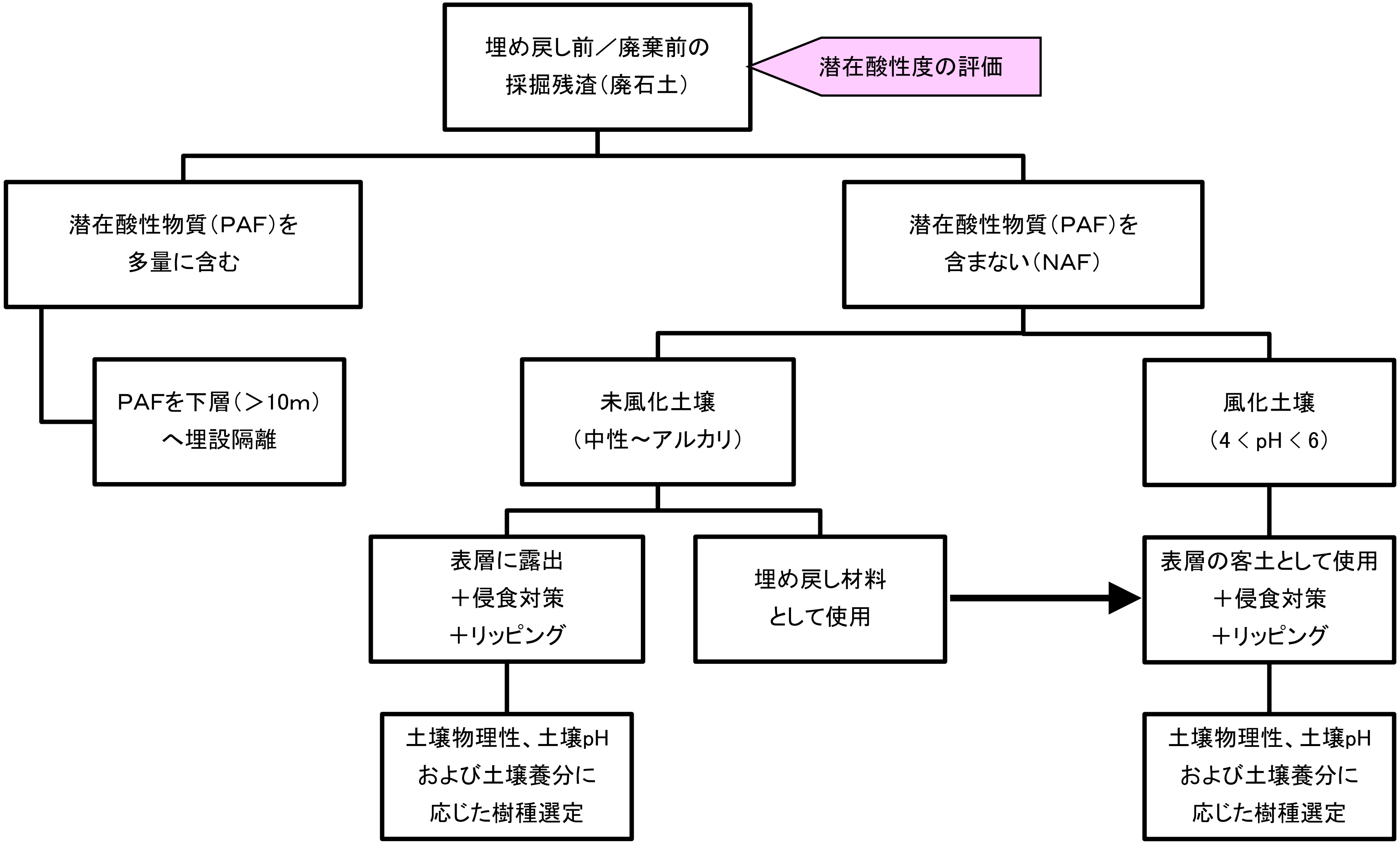
石炭採掘後の埋戻し地や廃石地では、下層の基岩が採掘残渣として表層に出ることで、問題土壌が形成され、森林の回復は困難となる。高容積重や低孔隙率等の物理性不良の問題、貧栄養や貧有機物等の問題に加えて、裸地化による土壌流亡・土壌浸食の問題がある。また、潜在酸性物質である黄鉄鉱（パイライト）を含む場合は、それが酸化され酸性硫酸塩土壌を形成するとともに、強酸性条件下における重金属溶出等の問題があり、森林の回復は更に困難なものとなる。

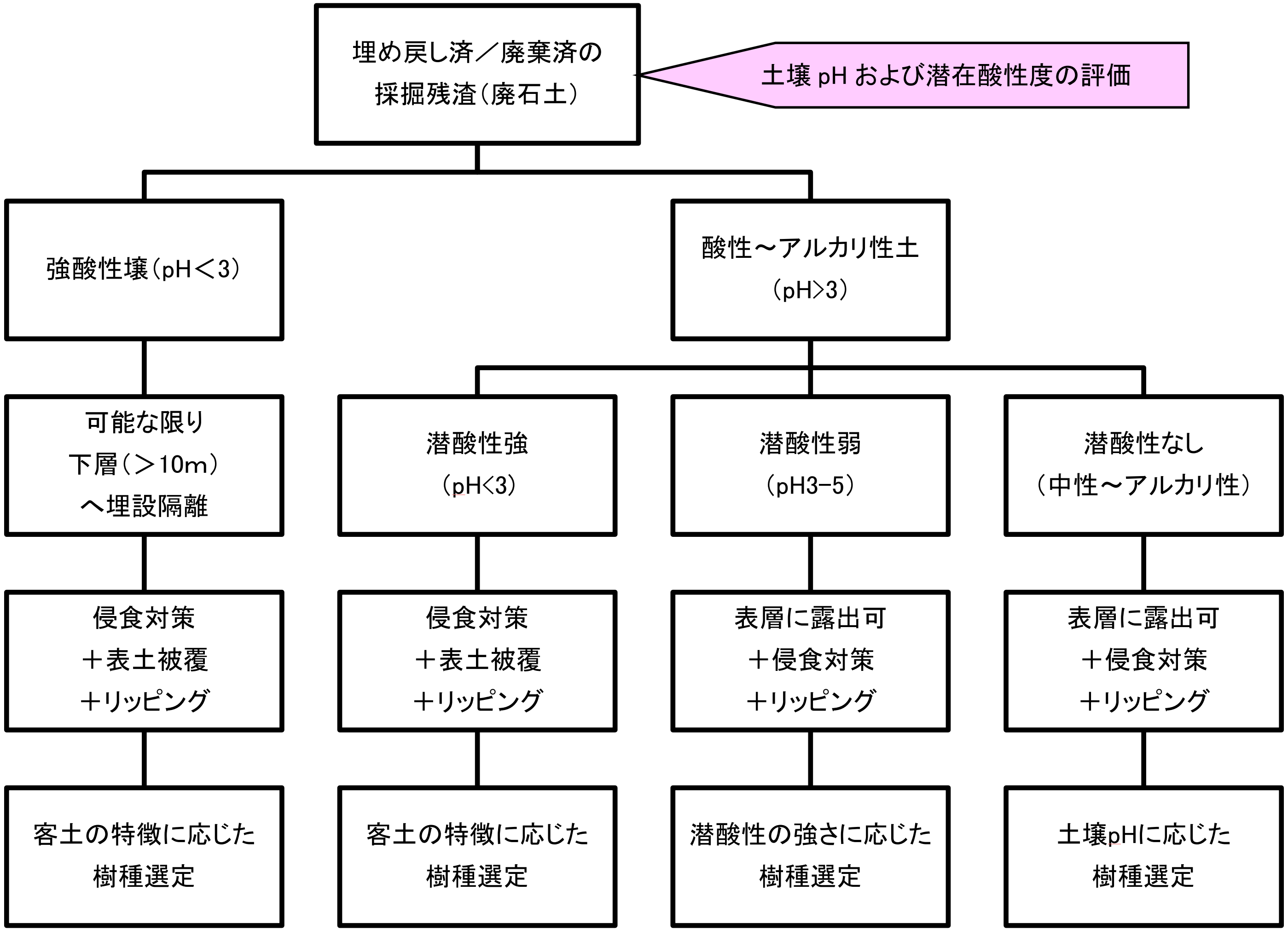
そこで、石炭採掘跡地における森林回復のために基本的に必要な技術として以下の要件が上げられる。まず、①石炭採掘跡地の土壌環境（埋め戻し材料や廃石土）の特徴を把握し、②潜在酸性の判定をすることである（第３章－１、２）。その上で、③土壌流亡・土壌浸食を防止するための整地・地拵え（第４章－１）および④土壌改善（物理性や養分等）（第４章－２）、⑤地表面を速やかに被覆するカバークロップの選択（第５章－１）が必要とされる。そして、⑥速やかな一次緑化を目的とした植林樹種の選択（第５章－２）、そして、⑦目標とする森林へ誘導するための二次緑化用の植林樹種の選択（第５章－３）が必要である。最後に、⑧植林木の保育（補植、追肥、下刈り、除伐）・保護（山火事防止対策）が非常に重要である。

ステップ①:石炭採掘跡地の土壌環境の特徴把握　（第３章－１）
↓
ステップ②:石炭採掘跡地土壌ならびに埋め戻し材料の判定　（第３章－２）
↓
ステップ③:埋め戻し、整地・地拵え、沈殿池の設置　（第４章－１）
↓
ステップ④:土壌改善（物理性や養分等）　（第４章－２）
↓
ステップ⑤:地表面を速やかに被覆するカバークロップの選択　（第５章－１）
↓
ステップ⑥:速やかな一次緑化を目的とした植林樹種の選択　（第５章－２）
↓
ステップ⑦:目標とする森林へ誘導するための二次緑化用の植林樹種の選択　（第５章－３）
↓
ステップ⑧:植林木の保育・保護　（第６章）

図２－1．石炭採掘跡地における森林回復の技術的要件および実施手順

２－２．石炭採掘跡地における森林回復のための実施手順（デシジョンツリー）




埋め戻し済／廃棄済の
採掘残渣（廃石土）
土壌 pH および潜在酸性度の評価
強酸性壌（pH＜3）
酸性～アルカリ性土
（pH>3）
可能な限り
下層（＞10m）
へ埋設隔離
潜酸性強
（pH<3）
潜酸性弱
（pH3-5）
潜酸性なし
（中性～アルカリ性）
侵食対策
＋表土被覆
＋リッピング
侵食対策
＋表土被覆
＋リッピング
表層に露出可
＋侵食対策
＋リッピング
表層に露出可
＋侵食対策
＋リッピング
客土の特徴に応じた
樹種選定
客土の特徴に応じた
樹種選定
潜酸性の強さに応じた
樹種選定
土壌pHに応じた
樹種選定

第３章　石炭採掘跡地に出現する土壌の特性とその判定

石炭採掘が露天掘りで行われた後にできたピットは、採掘残渣によって埋め戻され、採掘に先立って保存してあった表土で被覆するのが標準的工法である。従って、保存されていた表土を用い十分な深さの（少なくとも 1m以上）被覆が行われる場合には、土壌環境、特に化学的環境は採掘前と大きくは変わることはなく、植生復元のための最善の方策である。しかし表土による被覆が行われない、あるいは被覆表土の厚さが十分ではない場合、地表近傍の土壌環境は埋め戻しに用いられた採掘残渣の性質によって規定され、極めて特殊な土壌環境が形成される。加えて、露天掘り炭鉱では採炭後、大型のダンプトラックやブルドーザー等の重機を多用してピットの埋め戻し・整地が行われることから、土壌は激しく填圧され極めて堅密な土壌が形成される。

石炭採掘跡地にはこうした化学的にも物理的にも特殊な土壌環境が生み出され、そのことを原因として植生復元が制限されることがある。このため本事業では、石炭採掘跡の荒廃地を対象とした森林復旧簡易マニュアルの開発を目的として、インドネシア共和国　南カリマンタン州の炭鉱採掘跡地でモデル林を造成し、植栽樹木の生残や成長に加えて土壌特性（特に土壌酸性と理学性）とその変化につきモニタリングを実施した。

本章では石炭採掘跡地に出現する土壌環境の概要と判定方法について記述する。

３－１．石炭採掘跡地の土壌環境の特徴把握

３－１－１．土壌の化学性－特に pH 環境－の特徴

i）パイライトを含まない堆積物で埋め戻しが行われた場合

採掘残渣が後述のパイライトを含まず、採掘後時間を経ない未風化の場合、堆積物は Ca、Mg、K、Na 等の塩基性の元素を多く含んでいる。ちなみに、採掘跡のピットは一般に速やかに埋め戻されるため未風化堆積物が埋め戻しの材料の主体となる。このため、こうした材料により埋め戻しが行われた場合、堆積物中の一次鉱物（造岩鉱物）の風化・崩壊に伴い塩基性イオンが継続的に解放され土壌環境は pH8 前後のアルカリ性となるが、塩基類は雨水によって徐々に溶脱され、最終的にはその地域に分布する土壌の pH 域に近づいてゆくことになる。なお、東南アジア湿潤熱帯に広く分布する Acrisol（WRB）/Ultisols（U.S. Soil Taxonomy）下の天然性熱帯雨林の土壌 pH(H_2O)は多くが 4－5 の範囲に分布し、森林の荒廃に伴いバイオマス中の塩基類が土壌中へ移行するにつれ 5－6 に上昇する。

アルカリ性の土壌環境が維持される期間は、堆積物中に含まれる塩基元素の総量と風化・溶脱速度のバランスによって決定されるが、本事業の結果によれば、パイライトを含まない材料の場合、少なくとも 4 年程度で急激にアルカリ性から酸性へシフトすることはなく、より長期にわたりアルカリ環境が維持され植栽された樹木もそうした環境下にかなりの期間置かれることになる（BOX１参照）。

BOX　1　石炭採掘跡地の土壌 pH 経時変化－南カリマンタンの事例

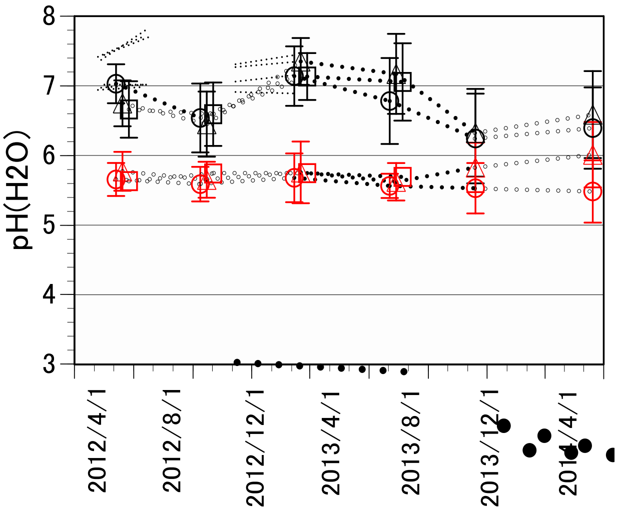


図　石炭採掘埋戻し地土壌 pH(H_2O)変化。
黒色と赤色はそれぞれ採掘残渣のみによる埋戻し、その上に森林土壌表土を客土を示す。○は深さ 0-10cm、△は 10-20cm、□は 20-30cm。(n=10)

新鮮な採掘残渣で埋め戻した区（黒）の土壌 pH(H_2O)の多くが当初 6.5－7.0 を示し、9－14 ヶ月後にかけて、おそらく風化に伴う塩基類の解放により pH7.0 強まで上昇した後、18 か月後には 6.2 程度まで低下した。しかし周辺地域の Acrisols を中心とする天然林土壌の pH が 4.0－5.0 程度、二次林や荒廃チガヤ草原の場合は 5.0－6.0 程度（荒廃に伴い森林バイオマス中の塩基が土壌中に移行するため、天然林より荒廃地のほうが pH は高くなる）であるのと比べ、新鮮材料区の pH は一貫して高く、酸性化プロセスは全体として緩やかに進行することが示された。採取深さによる pH の違いは小さく。また誤差線の長さが示すように測定地点による pH 変動は大きく、異なる特徴を持った材料が空間的に不均一に分布しており、一部パイライトを含むもののあることが示唆された（BOX　参照）。客土区の pH は 5.7－5.8 で測定期間を通じて安定しており、客土に用いられた周辺土壌の特性を反映したものと考えら、また比較的小さな標準誤差から客土材料が均質であったと推定された。

ii）パイライトを含む堆積物で地表部分の埋め戻しが行われた場合

石炭層を含む群層中にはパイライト（pyrite）（BOX 2 を参照）を含有する累層が石炭層の上下に出現することが少なくない。採掘目標となる石炭層の上位にパイライト含有累層が存在する場合には、採掘残渣中にパイライトが混入することになる。BOX　1 の示した様に、パイライトは酸化的環境に置かれると硫酸を生成するため、地表部の埋設にパイライトを含有する堆積物を用いると、地表部分に著しい強い酸性環境が形成され、あらゆる植生の活着・生存が困難となる。このため、採掘ピットの埋め戻しに際し、パイライトを含む堆積物は深部に埋設し地表部分から隔離することで、その酸化を回避することが極めて重要となる。

BOX 2　パイライトの生成と酸化

パイライトは、海水ないし汽水による SO_4^{2-}の供給と有機物の供給が同時に起こるような環境下で生成し、例えば、海水・汽水環境下に成立するマングローブはこの2つの条件を備えている。供給有機物の分解に伴い形成された嫌気環境下で、海水中に多量に存在する SO_4^{2-}(2.65gL^{-1})は、一群の絶対的嫌気性菌である従属栄養細菌によって還元され原子価 2 のイオウ(S(−II))化合物である H_2S が生成される。

$$2CH_2O+ SO_4^{2-}＝H_2S+2HCO^{3-}$$

生成した S(−II)は、硫酸還元より高い酸化還元電位下ですでに生成している Fe^{2+}と反応し、常温で準安定な黒色の硫化鉄(FeS)が沈殿する。

$$Fe^{2+}+S^{2-}=FeS$$

FeS は、S(−II)の酸化や海底堆積物中に存在する原子状硫黄(S(0))と反応してパイライト(FeS_2)が生成する。

$$FeS+S(O)＝FeS_2$$

海底堆積物中のパイライトは、陸化等によって脱水されると酸素の存在下で下の反応が進行する。

$$FeS_2+1/2O_2+2H^+＝Fe^{2+}+2S(0)+H_2O$$
$$2S(0)+3O_2+2H_2O=2SO_4^{2-}+4H^+$$

しかし、これらの反応はいずれも純化学的には極めて緩慢である一方、鉄バクテリア、硫黄バクテリア等の微生物群が関与すると極めて速やかに反応が進行する。このようなプロセスで生成した硫酸によって急激な酸性化が進行し、pH が 3 以下になると溶液中に溶存する Fe^{3+}を酸化剤として働きパイライトの酸化が更に進行する。

$$FeS_2+14Fe^{3+}+8H2O＝15Fe^{2+}+2SO_4^{2-}+16H^+$$

本反応の半減期は20－1000分で極めて速やかなパイライトの酸化が進行し、生成した Fe^{2+}は鉄バクテリアにより再び Fe^{3+}に酸化され、更なるパイライトの酸化にあずかる。

しかし、パイライト含有堆積物が地表部分の埋め戻しに混入した場合、酸化による硫酸の生成が始まるまでは中性～アルカリ性を呈するが、徐々に酸化が進行し硫酸が解放されるにつれ酸性化が進行し、極端な場合には pH2 を下回ることもある。酸性化の速度は、土壌の水熱環境や反応に参加する微生物群の活性などで異なり多様であると考えられるが、遅い場合は強酸性が顕在化するのに数年を要することもある（BOX 3 参照）。

また、生成した硫酸の一部は雨水によって流亡あるいは堆積物中に共存する塩基性カチオンによって中和されるため、パイライト量が少なく塩基性物質が多い場合には硫酸の多くは中和され、急激な酸性化は起こらない。しかし、パイライト存在量が相対的に多く中和に十分な塩基性物質が存在しない場合には、土壌は強酸性を呈することになる。

このように、パイライトを含む堆積物が介在する土壌の酸性化の速度やその強さは、堆積物が含むパイライトの量、その酸化のスピード、堆積物が持つ硫酸中和のキャパシティー、浸透水や表面流去水による硫酸の除去スピード等、関連する複数の要因のバランスとして決まり極めて多様であると考えられる。

以上のように、石炭採掘跡地の土壌 pH 環境は表土被覆の有無や埋め戻し材料の違いによって極めて多様であり、しかも時間と共に変化する。このため、植生復元に当たってはあらかじめ、当初の土壌環境（pH）を知ると共に、パイライト混在の有無とこれが時間と共に酸化した場合に発現する酸性（潜在酸性）を把握しておくことが必須である。

しかしながら、前述のようにパイライトを含む堆積物は深部に隔離し、表層部分の埋め戻しに使用しないことが基本であることに疑う余地はなく、そうしたリスクを含む累層を簡易に判定するための手法も必要となる。

BOX 3 埋め戻し材料による酸性化の違い

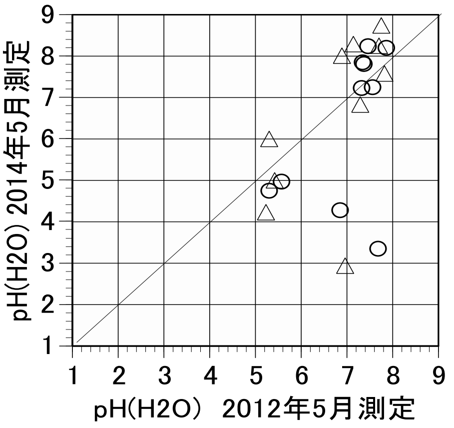


図 埋め戻し後 1 年半の pH(H_2O)変化。○:0－10cm、△:10－20cm

埋め戻し当初と1年半後の pH(H_2O)をプロットした左図からわかることは、多くの試料が 1:1 の線付近に分布し、パイライトを含まない場合は 1 年半程度では塩基解放によるpH低下はほとんどない一方、4試料で明瞭な酸性化が認められ、著しい場合は約pH2 程度まで低下した。

埋め戻しに用いた堆積物は風化に伴い徐々に塩基類を解放しその pH は低下してゆくがその速度は緩やかであること、パイライトを含む場合には条件が整えば比較的速やかに土壌の酸性化が進行することがわかる。

３－１－２．土壌の物理性－特に容積重、孔隙量－の特徴

i）堅密土壌の生成

露天掘り炭鉱における埋め戻し・整地作業は大型ダンプカーによる埋め戻し材料の搬入と大型ブルドーザーによる平準化によって行われるため、土壌は激しく填圧され、極めて堅密で孔隙に乏しい土層が地表部分に形成される(BOX　参照)。堅密化と空隙の減少によって土壌の保水性や通気・透水性が低下することが広く知られ、こうした土壌は過湿となりやすく同時に乾燥もしやすいという重大な欠点を持っている。従って、石炭採掘跡ピットの埋め戻し地の堅密化した土壌に樹木を植栽すれば、植物根の伸長・展開が物理的に阻害されるのに加え、過湿害や乾燥害が植栽樹木の生存・生長を制限することとなる。

また、堅密化した土壌では透水性が悪いことから土壌内部での雨水の下方浸透が妨げられ雨水の多くが表面流去水となる結果、激しい表土流亡が引き起こされる。加えて、埋め戻し地は当初裸地で被覆物がないために、湿潤熱帯特有の強い雨滴衝撃によって表土流亡は更に激しいものとならざるを得ない。表土の消失は、上記物理性に起因する制限に加えて植栽樹木の生長を制限することになる。

従って、植生復元に当たっては土壌物理性の改善（孔隙量ならびに浸透能の拡大）を行うことが望ましく耕耘やリッピング等の手法が推奨される。また土壌流亡の軽減・防止も同時に図ることが必要であり、斜度を小さく抑える埋め戻しや、テラス造成、排水溝設置などの土木的手法に加え、カバークロップやマルチング材の活用などによる地表の保護対策を講じることが必要である。

BOX 4　石炭採掘跡地における激しい土壌流亡

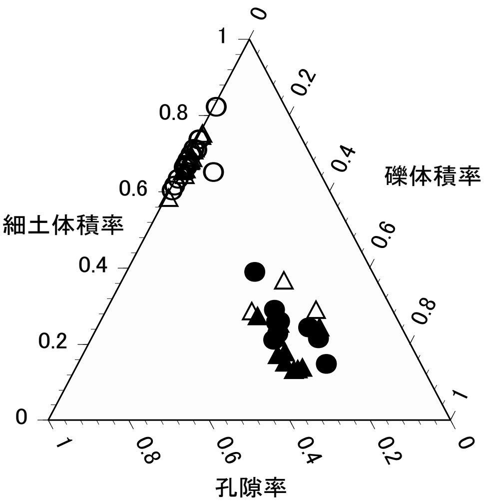


図　細土、礫、空隙割合と1年間の変化ーインドネシア南カリマンタンの事例ー。（白抜は埋め戻し直後；黒抜は1年後の測定結果：△は原材料区、○客土区）

円筒を用いて採取した一定体積の土壌試料中に占める細土（＜2mm）、礫（＞2mm）、孔隙の体積割合が埋め戻し後 1 年間でどのように変化したかを左図に示した。ここに示されるように、第1回目測定時には土壌試料の多くはほとんど礫を含まず細土容積が 60－80%、孔隙が 20－40%を占めていたにもかかわらず、1年を経た 2 回目測定時には細土の容積が急減し 15－40%に、孔隙は大きく変化せず 20－40%を維持した一方で礫体積は 30－70%にまで著しくに増加した。

本試験地では当初、大型ダンプによる埋め戻し材料の搬入と重機による整地作業に伴い、細粒物質、礫等の土壌物質は極めて密に充填され孔隙に乏しい土壌環境が形成されていたと考えられた。こうした劣悪な土壌理学性の下で、雨水の土壌への下方浸透は妨げられ表面流去水が著しく増大し、加えて裸地であることと湿潤熱帯の大きな降雨強度が相まって、表層土壌は激しい侵食に曝されたと考えられた。その結果、時間と伴に表層土壌中の細粒物質は流亡し、石礫が極めて大きな割合を占めるに到ったと推定された。1 回目と 2 回目調査時の土壌断面の形態的特徴もこうした仮説を支持するものであった。

３－２．石炭採掘跡地土壌ならびに埋め戻し材料の判定方法

３－２－１．土壌 pH と潜在酸性

土壌の化学的環境を指標する最も簡便なパラメータとして広く pH(H_2O)が用いられる。石炭採掘跡地においても、土壌 pH は樹種選択、土壌管理の基本情報となるため植栽に先立ち必ず測定を実施することが望ましい。現地の状況把握に必要な pH(H_2O)の測定点数は埋め戻し地の材料の均一性によって異なると考えられ、埋め戻し材料の色（特に黒色味の強さ）や粒度（砂質か埴質か）から見て、明瞭に異なる材料が広がりをもって分布する場合には、それぞれの材料について数～数 10 点で pH 測定を行い、代表値を得ることが望ましい。また pH の測定深度は、植物根の主要な展開の場となる少なくとも最表層（0－10cm 程度）、可能であれば更に下層～50cm とする。

上で述べたように、埋め戻し材料中にパイライトを含む場合は、時間経過と共に強酸性を発現しその強度はパイライト量によって左右される。このため、土壌を予め強制的に酸化し潜在酸性を測定しておくことで、将来どの程度の酸性が発現するかを知ることができる。強制酸化は、試料に過酸化水素水（H_2O_2）を加ええることで行い、このプロセスによ

ってパイライト中の硫黄を全て硫酸（H_2SO_4）に変換した後に pH ガラス電極、あるいは簡便には pH 試験紙を用いて測定することで、潜在酸性を測定する（BOX　）。ただし、試料中には（特に採掘後時間を経ない新鮮な堆積物は）、多くの塩基元素が同時に含まれており、これらが生成した硫酸の一部を中和するため、この方法で測定した潜在酸性は生成した酸の量を正確に表すものではない。また、実際の時間経過の中では、生成した硫酸の一部は雨水と共に流亡するし、鉱物の風化によって解放された塩基元素によって中和もされるため、潜在酸性として測定された pH がそのまま実際に発現するとは限らず、あくまでも潜在的な数値であることに注意する必要がある。

BOX 5 土壌・堆積物の pH(H_2O)ならびに簡易潜在酸酸性の測定方法

1）正確な土壌 pH(H_2O)を知りたい場合は、重量で生土 1 に対し 2.5 倍の蒸留水を加え（Ex. 10g の生土に 25ml の蒸留水）、土塊が全て分散し泥状の懸濁液になるまで撹拌した後に、pH ガラス電極（pH メーター）を用いて測定する。

現場でおおよその土壌 pH を知りたい場合は、土壌：水の割合、1：2.5 程度の懸濁液に対し、簡易に pH 試験紙を用いて測定することも可能である。測定方法の詳細は下記等を参照。

SSSA 1996; *In* Method of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods, Soil pH and Soil Acidity, 475–490

2）現場で潜在酸性を簡易に測定するには、茶さじ半分程度の試料（5g前後）をガラス製試験管（広口で背の高いもの、直径 20mm 長さ 200mm 程度）に、pH を 4.5 – 5.5 に調整した（稀 NaOH 溶液を使用）30%過酸化水素水（H_2O_2）1–2 ml 程度を加え試験管を軽く振って内容物を撹拌する。過酸化水素水と試料の反応物が試験管から溢れないよう、一度に数 ml 以上を加えてはいけない。反応が終了するまで約 15 分間放置する。硫化物が多いと即座に激しい反応が起こるため撹拌の必要はない。反応が激しく試料が試験管から飛び出したり溢れ出したりする場合は洗瓶かピペットで最小限の蒸留水を加え反応を静める。過酸化水素水との反応が緩やかになるまで上記の操作を繰り返すが、通常、1－2 回余分に数 ml の過酸化水素水を加えれば十分である。本操作で大部分の硫化物が反応する。反応終了後放冷した後に pH ガラス電極を、あるいは簡便には pH 試験紙を用いて pH を測定する。測定方法の詳細は下記等を参照。

Queensland Acid Sulfate Soils Investigation Team et al. 2004: *In* Acid Sulfate Soils, Laboratory Methods Guidelines, Version 2.1, Acid Sulfate Soil Field pH Test,　H1-1 – H1-4

測定された土嬢 pH、潜在酸性は、植生復元のための樹種選択の基準として用いられる。

本モデル林事業による結果では、pH が 3.0 を下回るとあらゆる樹種の生残が困難であること（BOX？？参照）、また概ね、熱帯雨林地域に分布する森林土壌の pH は 4.0－5.0、熱帯季節林地帯では 5.0－7.0 の範囲に多くの土壌が入ることから、樹種判定のための基準として下記の pH 区分を提案する。

酸性区分

i) 酸性クラス I：　pH　3.0　未満（極強酸性）
ii) 酸性クラス II：　pH　3.0 以上、4.0 未満（強酸性）
iii) 酸性クラス III：　pH　4.0 以上、5.0 未満（酸性）
iv) 酸性クラス IV：　pH　5.0 以上、7.0 未満（弱酸性）
v) 酸性クラス V：　pH　7 以上　（アルカリ性）

潜在酸性についても基本的にはそれに近い pH が将来実際に出現すると考え、上の基準 pH を用いて区分するとよい。

潜在酸性区分

i）潜酸性クラス I：pH　3.0　未満（極強酸性：硫化物の存在が強く疑われる）
ii）潜酸性クラス II：pH　3.0 以上、4.0 未満（強酸性：硫化物存在の可能性やや低）
iii）潜酸性クラス III：pH　4.0 以上、5.0 未満（酸性：硫化物の存在不明）
iv）潜酸性クラス IV：pH　5.0 以上、7.0 未満（弱酸性：硫化物の存在ほぼ無）
v）潜酸性クラス V：pH　7 以上　（アルカリ性：硫化物の存在ほぼ無）

３－２―２．土壌理学性

石炭採掘跡地における植生復元に際しては、植物根の展開が想定される表層土壌の物理性を把握することが必要であるが、これを指標するパラメータとしては、貫入硬度計を用いて測定する土壌硬度と、一定体積の土壌を採取して単位体積中に含まれる土壌量（重量）で表す容積重、あるいは孔隙量そのもの等がある。この中で土壌硬度は現地で簡易に測定が可能で利便性が高いが、一方で土壌水分の多寡によって大きく変動し、同じ土層内でも測定値の変動が大きいという欠点があり、指標としての信頼性は必ずしも高くない。また孔隙率は空隙の量を直接表す点で信頼度は高いが、測定には真比重測定など実験室での精密な測定作業が求められる点で簡便性を欠く。一方、容積重は試料の乾燥や篩別、重量測定が必要であるが比較的簡易な設備で測定が可能であり、土壌物理性を表す指標として広く用いられている。

BOX 6 に示すように、熱帯林地域の自然土壌の容積重は概ね 0.9～1.6　Mg Kg^{-1} の範囲に入るものが多く、一般に腐植を多く含み土壌動物の活動が盛んで植物の細根が多く分布し土壌構造の発達した表層ほど容積重は低く、下層へ行くほど高い値を示す。表層土壌の容積重は腐植含量や粘土含量の多寡によって 0.9～1.3 Mg Kg^{-1} ほどであるので、植物が根を展開する場として石炭採掘跡地の表層部分を見れば、下記の基準によって 3 クラスに区分するのが適当であろう。

ここに示した基準で堅密クラス I の場合は、自然土壌では存在しない物理環境であり、根の伸長・展開は著しく制限され、排水不良による過湿害、孔隙量の少なさに起因する乾燥害、下方浸透の悪さに起因する激しい表土流亡、などが想定され、耕耘等何らかの対策が必要となると考えられる。

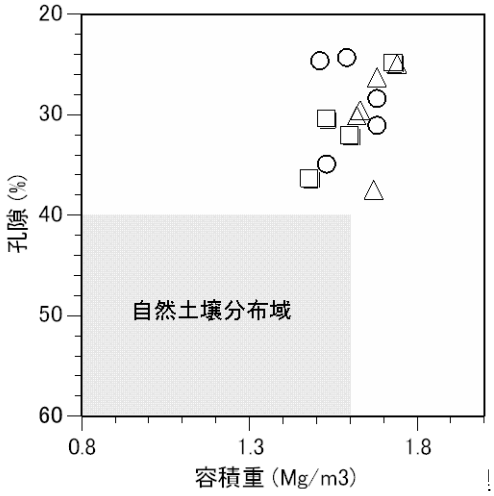
容積重による土壌物理性の区分

i) 堅密クラスⅠ：極堅密　（容積重　1.6 Mg Kg^{-1} 以上）

ii) 堅密クラスⅡ：堅密　（容積重　1.3 Mg Kg^{-1} 以上 1.6 Mg Kg^{-1} 未満）

iii) 堅密クラスⅢ：膨軟　（容積重　1.3 Mg Kg^{-1}　未満）

BOX 6 自然土壌と石炭採掘跡地土壌の理学性比較―南カリマンタンの事例―



!学

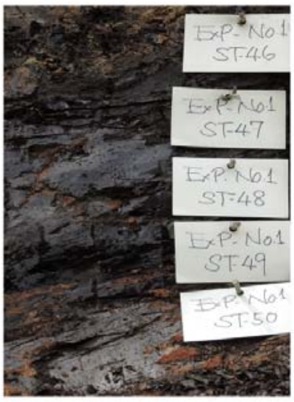
生。○：0 - 10cm、△：10−20cm、 □：20−30cm

左図は南カリマンタンの石炭採掘跡のピットを埋め戻した直後に採取した土壌試料について得られた容積重と孔隙%を示したものである。これらの埋め戻し地の土壌試料は著しく容積重（単位体積に含まれる細土の乾重）が高く（1.5−1.8 Mg Kg^{-1}）、孔隙量は40%未満であり、自然土壌（東カリマンタンの天然林土壌）の分布域とは全く分布が重ならず、埋め戻し作業に伴い、自然状態では存在しない程度まで、堅密化が進んだことを示している。

３－２－３．埋め戻し材料の潜在酸性簡易判定法

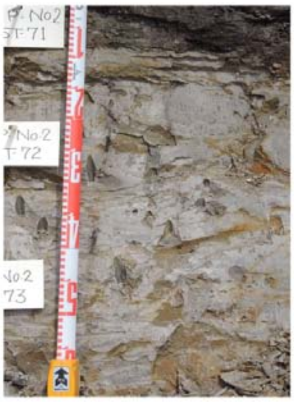
石炭採掘跡のピットを埋め戻して植生の復旧を目指す際には、パイライトを含まず潜在酸性を有しない堆積物を選んで埋め戻し材料とすることが一義的に重要であり、堆積物の潜在酸性をあらかじめ判定することが必要となる。潜在酸性の推定には大きくは、パイライト中の硫黄を分別抽出して酸性の発現に関与する硫黄を直接定量し潜在酸性を推定する方法と、試料を過酸化水素水によって化学的に酸化し生成する水素イオン量を滴定法で測定して潜在酸性を推定する方法の二つがある。しかし、これらの推定法はいずれも実験室での分析を基礎とし高度な専門的知識を要することから、採掘ピットから産出する数多くの種類の堆積物を、随時、個々に分析するのはコストや手間を考えると現実的ではない。このため本事業では今年度、現場で簡易に潜在酸性を推定するための方法の開発を試みた。ところで、パイライトを多く含む堆積物は一般に暗色を少ししか含まないものは淡色を呈し、一方酸化の進んだ材料は鉄酸化物や水酸化物によって黄－褐－赤色を示すことが知られている。そこで、現場で個々の累層を対象にデジタル土色計を用いて堆積物の色を測定し、これと潜在酸性の間に一定尾関係性を見出すことができるかどうかの検討を行った。

BOX 7　堆積物の多様な形態

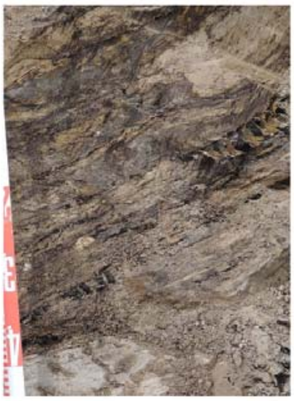


1

2



3



4

5

6

写真 1：埴質・黒褐色・一部にラミナ有、写真 2：埴質・暗灰色・ラミナ無、写真 3：埴質・淡灰色・ラミナ無、写真 4：埴質・暗褐色・ラミナ有、写真 5：砂質・淡灰色・ラミナ無、写真 6：砂質・淡灰褐色・ラミナ有

検討の結果、潜在酸性と土色を構成する要素のうち、白さ/黒さを表すパラメータ（L*a*b*色空間における L*）が潜在酸性の有効な指標となることが明らかになった（BOX 7）。　堆積物表面は時間と共に表面が酸化鉄の被膜によって覆われていることが少なくなく、また一般に乾燥している。このため、色を測定する際には、対象とする堆積層の表面をナイフ等で削り取り未酸化の新鮮な堆積物を露出させ平滑で湿潤な面を作成し（乾燥していると白みが過大に評価される）、これに土色計を押し当てて色を測定した。堆積物の色の測定は、対象とする累層の表面を削り平滑で湿った表面を作成し（乾燥していると白みが過大に評価される）、ここにデジタル土色計（KONICAMINOLTA-SPAD503）を当て L*a*b*モードで色を測定する。また、各累層の色は必ずしも均一でなく、多くの場合一定の色の変異を含んでいる。このため、1 つの累層について 10 回の測定を行い、平均値を求めて対象とする堆積層の色とする。

本事業で得られた結果（BOX 8）に基づき、L*を基準として潜在酸性の程度を判定する

試案を下記のとおり考案した。ここでは pH(ox)が 3 を下回った堆積物を埋め戻し材料として用いると強酸性化するリスクが大きいと仮定して基準を設定した。

BOX　8　潜在酸性と土色（L*　黒さ/白さの指標）の関係

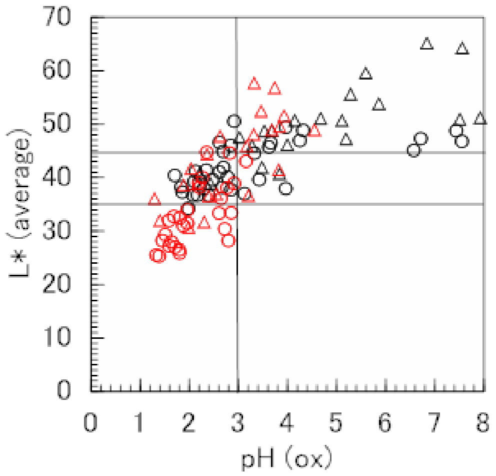


図　過酸化水素酸化により測定した潜在酸性(pH(ox))(BOX 5 参照)とデジタル土色計で測定した L*(値が小さいほど黒味が強い)の関係。(○、粘土質・ラミナなし；○、粘土質ラミナあり；△、砂質ラミナなし；△、砂質ラミナあり)

石炭採掘跡ピット壁面を斜行する約 100 の異なる累積層を対象に、粒度、ラミナ構造の有無等の記載に加え、土色計により色を測定し、同じ累層試料の潜在酸性（pH(ox)）を測定した。左図に示したとおり、pH(ox)は広範囲に分布しパイライト含量に大きな変異があること、L*も幅広く分布し明度が大きく異なる試料が含まれること、pH(ox)と L*の間に明瞭な相関関係が存在し L*の低下（黒味の増大）と共に pH(ox)も低下することが明らかであった。特に、L*が 35 以下の暗色の試料は全て pH(ox)3 以下の領域に、また L*が 35－45 の試料の多くも pH(ox)3 以下を示した。一方で L*が 45 より大きい試料の pH(ox)は多くが 3 以上であり、L*の増大と共に更に pH(ox)は上昇傾向を示した。

更に、粒度やラミナ構造に着目すれば、L*＜35 で pH(ox)＜3 の試料のほぼすべてがラミナ構造を持つ堆積層由来の試料であり、また多くが埴質であった。一方で、L*>45 で pH(ox)＞3 の試料は大部分が砂質で一部はラミナ構造を含むものが含まれ、また、同じ領域に分布する埴質試料は全てラミナ構造を持たなかった。 なお、L*a*b*空間の指標 a*、b*と pH（ox）の間には、いずれも明瞭で一貫した関係性は認められなかった。

土色（L*）を基準とした堆積物のリスク区分

i)　リスククラス I ：　　L*<35 の堆積物は酸性化リスクが極めて高い。植生復元の地盤造成に用いてはならない。酸化が進まないよう地下深く（10m以深に）埋設・隔離することが必要。

ii)　リスククラス II　　L*が 35－45 の堆積物の多くは高リスクに区分され、上記の L*<35 の堆積物と同様の取り扱いが必要である。しかしこの領域に属する一部堆積物はややリスクの低いものも含むため、これを選別して植生基盤の材料として用いようとする場合は、過酸化水素による強制酸化による潜在酸性を判定することが必要。

iii)　リスククラス III　　L*>45 の堆積物、特に砂質でラミナ構造を持たないものはリスクが低い。ただし、一部の粘土質でラミナ構造を持つ堆積物は pHox 3 弱の潜在酸性を示すこともあるため、この種の形態的特徴を有する場合は過酸化水素の強制酸化による判定が必要。

注１）また強い潜在酸性を示す堆積層と石炭層の位置関係については、必ずしも石炭層の近傍の層位で強い潜在酸性を示すことはなく、層序の位置関係からパイライトの有無や量を判定することは難しいと考えられた。

注２）上で得られた L*と pHox の関係は、南カリマンタンの 2 つの採掘跡ピットの限定された試料について得られたものであるため、他の事例でも同一の判定基準が適用可能かどうか不明である。しかし、他地域にあっても堆積物の色（特に L*）と強制酸化 pH（pHox）の間には、類似の関係性が存在すると予想されるため、それぞれの地域・堆積物について BOX8 に示したのと同様の検討を行い、両パラメータ間の関係性を検証し独自の判定基準を設定することが適当と考えられる。

第４章　埋め戻し、整地・地ごしらえ、沈殿池の設置および土壌改善

４－１．埋め戻し、整地・地ごしらえ、沈殿池の設置

４－１－１．埋め戻し、整地・地ごしらえ、沈殿池の設置

石炭採掘に伴い発生する採掘穴を埋め戻す際や採掘残渣（廃石土）による小山や急斜面には、整地を実施し、土壌流亡、土壌浸食や土砂崩れを防止する土木工事を実施する必要がある。これと同様に重要なのが、一般水域への酸性鉱山廃水の流出を防ぐことである。

なお、巨大すぎる採掘穴や、鉱業許可期間の最後に残されて埋戻しの予定がないものについては、土砂崩れや周辺住民にとって危険とならないよう、壁部分と周囲の土地の強化のみ行われる。

＜作業手順＞

1. 採掘残渣(廃石土)について､潜在酸性物質(potentially acid forming(PAF) material)か否かを識別。
2. PAF は､地表下 10m以下の窪んでいる土地の底部に埋設隔離する。酸素が混入したり､水が浸透したりして､PAF により酸性鉱山廃水が生成されるのを防ぐため、粘土質の材料で覆い固める。
3. 潜在的に酸性を生成する可能性がない物質（non acid forming（NAF）material)は、埋め戻し材料として、土地の表面に配置する。
4. 土砂崩れや大規模な侵食が起こらないよう、最大傾斜度と安全な斜面長さを決めるために、地質の研究を行う。
5. 最低でも 30cm、もしくは使用可能の量に合わせてそれ以上の表土を、PAF で整地済みの土地に被覆（客土）する。

４－１－２．侵食と堆積のコントロール

侵食と堆積のコントロールは、採掘活動の実施前、実施期間中、または実施後に、開発された土地からの土壌流亡を防止するための措置である。また、河川、湖等の一般の水域の汚染や堆積（河川や湖が浅くなること）を防止するための措置である。採掘跡の土壌には、有害な重金属を含む可能性があるため、採掘敷地外に流出しないよう、きちんと処理を行う必要がある。

採掘跡地における森林回復が成功するためには、土壌管理は非常に重要である。整地・地拵え時に使用される土壌および客土に使用される表土は、土壌粒子が動きやすく、侵食を受け易い。このため、土壌流亡・土壌侵食と堆積のコントロールは不可欠である。

なお、一般的な侵食のコントロールについては、林業省の流域管理・社会林業総局の土地・森林回復局が発行している『Konservasi Tanah dan Air（土壌と水の保全)』という冊子や、総合手引き（2011 年）を参照。この手引きでは、侵食と堆積のコントロールを、カ

バークロップを用いて生物学的に行う方法や沈殿池（sediment pond）を建設する方法に焦点が当てられている。

＜沈殿池の建設とメンテナンス手順＞

1. 業務用地と地表水の流れる方向、水量予測、浸食速度を予測する。
2. 側溝を使用して、地表水の流れを沈殿池の方向へ向かわせる。沈殿池の数とサイズは、地表水の水量と浸食の速さの予測に基づく。
3. 段階的な構造を持つ沈殿池を設置する。一番上にある第一池は、沈殿する固形物を最も多く含む流出水を第一段階として受け止める。その後水は、第一池から第二池へと流される。この段階で固形物の含有量はすでに減少している。第二池から第三池へ（その後も同様）と流され、水中に溶けだした固形物の含有量は、法令規則で定められた許容値以下になるようにする。
4. 沈殿池の法面の浸食や沈殿池の中で土砂崩れが起こらないよう、沈殿池の法面には被覆植物を植える。
5. 毎日水の酸性度（pH）をモニタリングする。pH が 6 より低い場合、石灰の追加処置を行う必要がある。水中に含まれる固形物と水の pH が、法令規則で条件として定められた許容値以下になったのち、一般水域に水を流すことが可能となる。
6. 法面強化のため、沈殿池のメンテナンスを定期的に行い、沈殿池がいっぱいになったら沈殿物をすくい取る。

４－２．土壌改善（物理性や養分等）

採掘時に随伴して掘り出される廃棄される廃石土は、廃棄物として土捨て場に捨てられるか、露天掘り跡の穴を埋め戻す際に利用される。採掘残渣中の多くを占める未風化で灰色の採掘残渣は、一般に礫質で、細粒化した物は貧栄養である。それに加えて、土捨てや埋め戻しの際の整地・地ごしらえでは、崩壊を防止するため大型の重機を用いた締め固めが行われるため、著しい土壌の堅密化が進行し植生の定着を阻害する。堅密化した表土は雨水の浸透能が極めて小さいために，雨水の多くが表面流去水として流去する。その際に激しい表土流亡を随伴し、更に植生の定着を阻害することとなる。

４－２－１．リッピングによる土壌物理性の改善

土壌物理性を改善するために、ブルドーザーの後ろに爪のついたリッパーを装着し、地表を耕耘する。または、ブルドーザーのブレードを斜めに倒して、地表を耕すことで畝を作る。

写真１　ブレードを使用してのリッピング

写真２　リッピング後にできた畝

４－２－２．植穴客土または堆肥施用

石炭採掘跡地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、保水力の大きい森林表層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。

４－２－３．リン酸肥料や化成肥料等の施用

熱帯土壌では、一般的に、リンが不足している場合が多いので、基肥としてリン酸肥料を施用する等して土壌養分を改善する。また、極端に養分が不足しているので、その後も定期的に、追肥として、化成肥料（ＮＰＫ等）を施用することが望ましい。

第５章　カバークロップ、植栽樹種の選択

５－１．地表面を速やかに被覆するカバークロップの選択

1. 土壌流亡・土壌浸食を防止するための整地後、速やかに地表を被覆するために覆うための植物の種類を選択する。特に、Pueraria javanica (PJ)、Centrosema pubescens（CP)、 Clopogonium mucunoides （CM)、 Mucuna spp、 Sorghum bicolor 等。発芽と成長の速さは、それぞれの植物で異なる。PJ、CP、CM、Mucuna を、1：1：1：1の比率で使用すると、さらに良い。
2. 土地の整備終了後、速やかにカバークロップを植栽する。
3. 土地が比較的平坦で傾斜度が 5%未満である場合、1×1 メートルのスポットでカバークロップ植栽を行うことが出来る。傾斜度が 5%以上の土地では、等高線に沿ってライン状に植栽を行い、各ライン間の距離は 1 から 1.5 メートルとする。カバークロップの植栽は、土地の表面全体に行うことも出来る (吹き付け工法)。
4. 各植林用の穴（スポット）には 0.5 から 1kg の有機肥料、ラインシステムを用いる場合は各メートル・ライン につき 0.5 から 1kg の有機肥料、全体的な場合では 1 ヘクタール毎に 5 から 10 トンの有機肥料と、十分な石灰を与えることで、土壌の肥沃度を向上させる。
5. 対象地の土壌条件（肥沃度等）に合わせて、カバークロップを植え付けるスポットやラインの間隔を狭めたり広げたりする。
6. 植栽木に損失を与える可能性があるため、這って広がり、絡みついたり締めつけたりする性質を持つ、PJ、CP、CM、Mucuna sp. といったツル植物に対して保育活動を行う。

５－２．速やかな一次緑化を目的とした短寿命の先駆樹種、早成樹種の選定

石炭採掘跡地における森林回復では、まず、第一段階として、土壌流亡、土壌浸食を防止するため、裸地の直射日光下でも生育する先駆樹種、早成樹を用いて一次緑化を行う。ただし、先駆樹種や早成樹は寿命が短く、いずれ枯死してしまう。そこで、先駆樹種や早成樹による一次緑化が成功した後、最終的に目標とする森林に誘導するために、日陰を必要とする長寿命の樹種（陰樹）を、第二段階で植え込む二次緑化を行う。

＜一次緑化の作業手順＞

一次緑化に用いる先駆樹種や早成樹の植栽は、カバークロップを植えた直後、もしくは同時に行うことも可能である。一次緑化樹種の植林手順は、以下の通りである。

1. 植林が行われる地点に杭（目印棒）を立てて、植林のレイアウトを作る。
2. インドネシア国の森林回復成功基準（625 本／Ha、4×4m の距離で苗木を植える）に従って植栽木を植え付ける。
3. 手作業または機械作業で、植林用の穴（最小 40×40×40cm サイズ）を作る。

4. 各植林用の穴に必要な有機肥料、無機肥料、石灰の量を調べるため、植林を行う土地の土壌の肥沃度を分析する。但し、一般的に各穴に必要とされる有機肥料は 2～5kg、NPK は 100～200g、石灰は 200～400g である。
5. 厳しい日差しを避けるため、植栽作業は、雨季の 8 時～11 時と 14 時～16 時に行う。
6. 先駆樹種や陽樹は、日陰がなくオープンエリアの石炭採掘跡地に直接植えることが出来る。

<成長が早い陽樹の例>

・インドネシア在来種

ジャボン・プティ (Anthocephalus cadamba))、ジャボン・メラ (Anthocephalus macrophyllus)、メラルーカ ()、ドゥアバンガ (Duabanga mouccana)、ビヌアン (Octomeles sumatrana)、クミリ (Aleurites moluccana)、Eucalyptus sp.、メラルーカ (Melaleuca leucadendron)、カユメラ (Pterocarpus indicus)、ワルー (Hibiscustiliaceus)、カポック (Ceiba pentandra)、センゴン・ラウト (Falcataria moluccana)、ジョハール (Cassia siamea) 等

・ 外来種

アカシアマンギウム (Acacia Mangium)、センゴン・ブト (Enterolubium Cyclocarpum)、ミンディ (Melia azedarach) 等

５－３．目標とする森林に導くための長寿命の二次緑化用植林樹種の選択

鉱物採掘跡地における植栽樹種の選択については、2009 年林業大臣令 60 号（P.60/Menhut-II/2009）に定められている通り、最終的な構成樹種のうち 40％は長寿命の樹種でなければならない。

<成長の遅い陽樹の例>

・インドネシア在来種

チーク (Tectona grandis)、スンカイ (Peronema canescens)、Pericopsis mooniana 、マトア (Pometia pinata)、ソノクリン (Dalbergia latifolia)、ラバン (Vitex cofassus)、レバン (Vitex pubescens)、Elmerellia celebica 、ピヌスメルクシ (Pinus merkusii) 等

・外来種（インドネシア原産種ではない）

マホガニー (Swietenia macrophylla)、カヤ (Khaya anthotheca) 等

<長寿命の陰樹の例>

各種メランティ (shorea spp)、ウリン (eusideroxylon zwageri)、マツカーサーエボニー (Diospyros celebica)、イピール (Intsia bijuga)、カポール (Dryobalanop aromatica)、マラッカジンコウ (Aquilaria malaccensis)、アピトン (Dipterocarpus spp)、Agathis lorantifolia 、ニャトー (Palaquium spp)、ケガキ (Diospyros blancoi) 等

＜二次緑化の作業手順＞

長寿命の樹種の植林は、一次緑化樹種を植えて 1～2 年後に、十分な日陰等の微気象が改善された後に、以下に従って行われる。

1. 二次緑化として、後から長寿命樹種の植林をすることを計画している場合、一次緑化としての先駆樹種や早成樹の植林は 4×4m の距離で行う。
2. 二次緑化樹種は、一次緑化樹種のラインの中間で、前に 2 メートル出す形で植える。そうすることで、隣接する 4 本の一次緑化樹種の真中に 1 本の二次緑化樹種が植えられる形になる。

その他、一次緑化用の短寿命の先駆樹種や早成樹、または二次緑化用の長寿命の樹種の選択に当たっては、巻末の「添付資料Ａ－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」を参照。

第６章　植林木の保育・保護

６－１．植林木の保育（補植、追肥、下刈り、除伐）

植林木の保育は、植栽木の生存、良好な成長を確保することを目的としている。保育は、補植、追加的な施肥、雑草木および被覆植物のコントロール、害虫・害獣と病気のコントロールより成る。植栽後、枯損木が発生した場合は補植を行う。一般的に、石炭採掘跡地の土壌は養分が不足しているため、植栽木の健全な成長のためには追加的な施肥が必要となる。特に、カバークロップに使用するマメ科の被覆植物は、植栽木に巻き付き締めつけ枯死させてしまう場合もあるので定期的な除去が必要である（写真 1)。また、目標とする森林へ誘導する場合には、一次緑化に使用した天然更新が容易なアカシア・マンギウム等は除伐する必要がある（写真 2)。なお、害虫・害獣の被害についても常時監視し、防除に努める必要がある。

＜作業手順＞

1. 枯損木の発生がないかどうか確認するため、植林活動終了後、少なくとも 3 カ月間はモニタリングを行う。
2. 枯損木は、すぐに補植する。先に植えられた植栽木の成長に遅れを取らないよう、補植用の苗木は、すでに植林されている苗木よりも少し背丈の高いものが望ましい。
3. 補植が終了した後、生存木に対して追加の施肥を行う。
4. 木の根元周囲を囲む溝を作り、林冠の影に合わせて、木の根元周辺に肥料を与える。溝に沿って、一本の苗木につき NPK 肥料を 100g 程度撒き、再び土を被せる。
5. 土壌が湿る雨期の始まりと、まだ土壌が湿っている雨期の終わりに追肥を行う。
6. 植栽木が周辺の雑草木の高さを超えるまで追肥を行う。また、葉の色や形、成長の遅れ等により、栄養不良の兆候が見られる場合にも追肥を行う。
7. 雑草木との土壌養分、水、光に対する競争や、被覆植物の植栽木への巻き付きを避けるため、根元周辺直径 0.5～1m の円形部分の雑草木およびツル植物を除去する。
8. 必要に応じて、害虫・害獣のコントロールを行う。
9. 植栽木が、周囲の雑草木を超えて大きく成長するまで保育を継続する。その後も定期的に、ツル植物の巻き付き被害を防除するために、ツル植物の除去を行う。

写真 1　植栽地におけるつる巻き付き被害

写真 2　自生アカシア・マンギウムの除伐

６－２．山火事防止対策

熱帯においては、気温が年中高く蒸発散量が多いため、1 週間雨が降らないだけで乾燥が進み、火災リスクが急激に高まる。植林した後に、もし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（写真 3，4)。

写真 3　植栽地における山火事被害

写真 4　植栽地における山火事被害

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、熱帯では顕著ではない。火災発生原因は人為的な場合が多い。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６　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

添付資料A－1. 南カリマンタン州石炭採掘跡地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＞					
				2011/2012		2012/2013	2013/2014		2014/2015
目	科			AGM	TAJ	AGM	AGM (A)	AGM (B)	AGM
フトモモ目	フトモモ科	1	*Eucalyptus pellita*	○	○				N.A.
		2	*Melaleuca cajuputi*	○	○				N.A.
		3	*Melaleuca leucadendron*			○			
	シクンシ科	4	*Terminalia catappa*			○			N.A.
キントラノオ目	トウダイグサ科	5	*Aleurites moluccana*			◎		◎	N.A.
		6	*Hevea brasiliensis*	△	△				
マメ目	マメ科	7	*Acacia auriculiformis*						N.A.
		8	*Acacia mangium*	◎	◎	◎	◎	◎	N.A.
		9	*Enterolobium cyclocarpum*	◎	◎		◎	◎	N.A.
		10	*Paraserianthes falcataria*			◎			N.A.
		11	*Samanea saman*			◎	◎	◎	N.A.
バラ目	クワ科	12	*Ficus variegata*				△		
アオイ目	フタバガキ科	13	*Anisoptera marginata*				△		N.A.
		14	*Shorea balangeran*			△	△	△	N.A.
		15	*Shorea leprosula*						N.A.
		16	*Shorea roxburghii*						N.A.
ムクロジ目	ウルシ科	17	*Mangifera kasturi*			△			
	センダン科	18	*Azadirachta indica*			△			
		19	*Swietenia macrophylla*	○	△		◎	◎	N.A.
ツツジ目	アカテツ科	20	*Mimusops elengi*						N.A.
	ツバキ科	21	*Schima wallichii*						N.A.
リンドウ目	アカネ科	22	*Antocephalus cadamba*	○	○			△	
		23	*Antocephalus machropyllus*			◎			
	キョウチクトウ科	24	*Alstonia scholaris*				◎	◎	N.A.
		25	*Dyera polyphylla*			△			
	リンドウ科	26	*Fagraea fragrans*	△	△				
シソ目	シソ科	27	*Gmelina arborea*				◎	◎	N.A.
		28	*Peronema canescens*			○			N.A.
		29	*Tectona grandis*	△	△				
	クマツヅラ科	30	*Vitex pinnata*						N.A.
計				9種	9種	12種	9種	9種	20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
N.A.：植栽したばかりでデータなし

添付資料Ａ－２．南カリマンタン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特性

南カリマンタン石炭採掘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でもある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。名称については、インドネシア全体で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、そのような地域名称は森林研究所Banjarmasin支所のRusmana氏から聴取し、付記した。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広く情報を得た。

学名(インドネシア名)	分布、起源、気候等一般情報	立地、生理、生態的特性	利用等追記
Eucalyptus pellita (Eukali)	フトモモ科、大径木－H;47m、オーストラリアの熱帯～亜熱帯原産－南緯12°～18°。若干の乾季がある熱帯季節林。標高800mまで。北部と南部タイプあり。降水量-900～2,400mm。	立地的特性には特に問題となる事項についての情報はない。 最低気温は12℃以上。 種子による増殖は容易。	木材利用－重硬材生産－比重:0.99。東南アジアでの造林は始まったばかり。ブラジルでの造林は良好。原産地で北部タイプが良好－記載は北部タイプ。
Melaleuca cajuputi (Kayu Putih)	フトモモ科。灌木～小径木。DBH:50cm、H:25~40m。原産地詳細不明－タイ･ベトナム～オーストラリアの熱帯地域原産と予想。インドネシアではモルッカ自生。海岸低湿地と山地。本種のみWallace line西側分布。17~22℃以上。降水量－1,300~1,750mm。	淡水泥炭湿地。酸性硫酸塩土壌地帯に生育。モルッカではやせ尾根に群落形成－30~400m。酸性耐性。強光耐性。乾燥にも耐性。海水に生育しないが、塩風耐性あり。1m 以下の季節的湛水可能。 種子多産－更新良好。	精油利用(カユプテ油)。抗菌、抗炎症等多くの効果あり。リラックス効果。 燃材として良質。構造材･足場丸太－中庸材－比重0.72~0.82。 次の*M. leucadendron*との区分が不明瞭との意見あり。 現地産樹種。
Melaleuca leucadendron (Galam)	フトモモ科、小径木－H:15～30m、DBH:30～50cm。熱帯アジア原産で、	淡水泥炭湿地、酸性耐性、強光耐性、乾燥にも耐性、酸性硫酸塩土	木材利用－足場丸太･構造材に好適、中庸～重厚材－比重:0.7～0.9

	海岸淡水低湿地に群落。前者と同じく酸性硫酸塩土壌地域を含むマングローブの後背地に広がる低湿地。	壌地帯で生育の可能性大。	カユプテ油代替品生産。 現地産樹種。
Terminaria catappa (Ketapang)	シクンシ科。中径木。DBH:150cm、H:25m。インド～ポリネシアまでの広域種。熱帯雨林～季節林。砂海岸・岩石海岸に多産。また、河川の自然堤防上に多い。標高 2,000m まで観察。降水量－480mm~4,290mm。	河畔林沖積土壌で良好。湿潤土壌に適していて、季節的な湛水も可。若干の塩水耐性。適した pH－4.5~8+。風耐性大。開花結実は容易。種子による増殖が基本であるが、種子の虫害は多い。	軽い造作材として利用。軽軟～中庸材－比重 0.45～0.72. 街路樹及び果樹。核果に良質の食用油。焙焼して食用－インディアン･アーモンドと称する。 現地産樹種。
Aleurites moluccana (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あるが、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地や石灰岩山地。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。種子による増殖か基本。	核果利用(キャンドルナッツ)。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。
Hevea braziliensis (Karet)	トウダイグサ科。ブラジル･アマゾン~ガイアナ原産。小～中径木落葉樹－H:30~40m、DBH:50cm。熱帯雨林～熱帯季節林(原産地では 6°N~6°S)。湿潤低地林構成種。500m。降水量-2000~3000mm。	湿潤低地で、季節的耐水地不良。膨軟な土壌最適で、土壌タイプに選択性乏しい。土壌栄養に感受性弱い。2000~4000mm で良好で 1500mm 以下では不良。種子による台木増殖－樹液産出量の多い個体を接ぎ木	樹液利用－パラゴム。マレーシアでは植栽後 5 年～35 年。インドネシアでは 20～30 年で更新。 木材利用－中庸材－比重 0.56～0.64。青変菌害あり。家具、ボード類、木炭。 種子から採油。

Acacia auriculiformis (地域名－Akor)	マメ科、中径木－H:30,DBH:50cm、オーストラリア･ニューギニア原産。比較的湿った熱帯季節林。淡水泥炭湿地辺縁部、自然堤防、海岸砂丘、氾濫原に自生。PNG では標高 90m 程度まで。寒さ限界－12℃。	深い沖積土壌で最良、低湿地から貧栄養地まで生育可能。乾燥にも耐性あり。種子再生産は良好。造林時初期成長は良好。1,000m 程度まで造林可能。	木材利用－中～重硬材－比重 0.49~0.84。曲り多く、歩留まり悪い。心材は暗色強く、装飾材に利用。良質燃材生産。樹皮からタンニン抽出。自生地では Acacia -melaleuca association を形成。
Acacia mangium (Tongke hutan、地域名 -Akasia)	マメ科、中～大径木 -H:35m、DBH:90cm。モルッカ地方･ニューギニア･オーストラリア原産、湿った熱帯季節林地帯、標高 500m(オーストラリア)。Acacia-melaleuca association を形成し、淡水湿地の辺縁部に分布	貧栄養土壌と酸性土壌にも生育可能。排水不良の場所でも生育可能。前種より比較的標高の高い乾いた場所で良好な成長。種子による増殖は容易。	木材利用－中庸材－比重:0.53~0.69。通直な材か取れるので構造材、家具材等広範に利用。燃料材。家畜飼料にも利用。
Enterolobium cyclocarpum (Sengon Buto)	マメ科、大径材－H30m、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	造林経験から、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、耐久性若干東南アジアの荒廃地等での造林事例は多くなってきた
Paraserianthes falcataria (Sengon Laut)	マメ科。中～大木。DBH:100cm、H:40m。モルッカ～ソロモン諸島原産。若干の乾季がある季節林地帯。低地の河畔林・海岸林に多いが、山地帯の標高3,300mまで成育。降水量2,000～2,700mm。最低気温 20゜C<。	貧栄養地可能。排水不良地不可。湛水に弱い。P 施用の効果大。早生樹で、産地による変異大きい。強光に耐性。乾燥に耐性。種子による増殖が基本。地表裸出－一斉発芽。	木材利用－極軽軟材－比重 0.3～0.5。燃材利用と飼料利用。 東南アジアで広く造林種として活用。病虫害に注意。初期成長甚大でギネスに”MIRACLE TREE”と記録－H25.5-DBH17cm/6 年
Samanea saman (Trembesi)	マメ科。大木－H:25~40m、DBH: 200cm<。南米北部原産。熱帯雨林～	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	広い樹冠－被陰樹として活用。 木材利用－中庸材－比重 0.55 前

	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℃。	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。季節的淡水には耐性あり。	後。縞あり、時に美麗。木彫や木工品に利用されること多い。 燃料材。
Ficus variegate (地域名－Nyawai)	クワ科、中径木－H:40m、DBH:70cm。インドからソロモン諸島まで分布の広域種。熱帯雨林の低地フタバガキ林、カリマンタンでは多い。	強光に耐性あり。立地的な要求はあまり多くない様子。乾燥にも耐性あると考えられている。枝からの下垂根はない。	特別な利用はなく、造林的はあまり行われていない。 イヌビワの仲間で動物の餌として重要な樹木。現地産樹種。
Anisoptera marginata (Mersawa Tenam)	フタバガキ科。大木に成長。DBH:135cm, H：45m、半島マレーシア、スマトラとボルネオ島に多産樹種。熱帯雨林。混合フタバガキ林。分散分布種。1,200m 成育限界。	泥炭湿地、沿岸湿地に多く、内陸には少ない。排水不良のケランガスのような砂質土壌にも成育。 種子の採り蒔き。挿し木。	木材利用－中庸材－比重 0.52～0.80。 現地産樹種。 ボルネオ島では絶滅危惧の可能性が指摘されている。
Shorea balangeran (地域名－Balangeran Kahui)	フタバガキ科。巨大木。樹高：60m、DBH: 180cm。フィリピンとボルネオ。熱帯雨林。標高 1,000m までの低地フタバガキ林の構成種。バラオグループの一員	丘陵地の粘土質土壌に多産。湿った場所で排水がある程度良い凸状地が適地。過湿の還元環境には耐性大きくない？種子の採り蒔きと挿し木。	木材利用－重硬材－0.84～0.95。 耐久性高い。 現地産樹種。 別名:*Shorea falciferoides*
Shorea leprosula (Meranti Tunbaga)	フタバガキ科。大木－DBH:150cm、H:60m, 広域分布種で低地フタバガキ林構成種。フタバガキ植物の中では早生樹と言われている。標高 600m まで。ライトレッドメランティの一種	頁岩・火成岩由来の土壌に多産。一時的滞水沖積地にも成育。ケランガスのような排水不良の砂質土壌には不適。照度要求度が高い。	軽軟～中庸材生産-比重-0.47~0.64。 *Shorea* 属の中では結実の可能性が高く、造林事例が多い。 現地産樹種。
Shorea roxburghii	フタバガキ科。小～大径木。DBH と H	低湿地の表層グライ土壌にも成	中庸材－比重:0.5～0.74。

(地域名－Talura)	の記載なし。インド～マレーシア北部までの広域種。マレーシアとタイでは低地林の樹種。ホワイトメランティの一員	育。浸水地・一時冠水地にも可。貧栄養 OK。丘陵地では観察していない。酸性環境耐性大。強光環境耐性あり。挿し木増殖容易。	造林事例比較的多く、半島マレーシア中部砂質湿地で成功。インドネシアでは多くの成功事例。 開花結実は産地では頻繁
Mangifera kasturi (Kasturi)	ウルシ科。分布がカリマンタンに限定の自生種。PROSEA 等植物図鑑には記載がない。観察では大木(H:30m、DBH:100cm+)。低地林に多い様子	植栽地観察－河畔沖積地および低地平坦地で良好な様子。乾燥に対する耐性は小さい様子。	果樹利用。果実はきわめて小さい(5~10cm)が、香り強く、甘み強い。現地産樹種。
Azadirachta indica (Mimba、Imba) (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。インドでは 700m までの乾燥疎林~熱帯季節林に生育。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 程度でも 2,000mm 以上でも可。強光と乾燥に対する耐性は大きい。酸性耐性は大きい。	薬用植物利用と殺虫成分抽出。 木材利用－中庸～重硬材－比重:0.72-0.92。マホガニーの仲間で材は良質。
Swietenia macrophylla (Mahoni)	センダン科。中央～南アメリカ(中北部)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状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	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。	高級材生産、中庸材－比重 0.5～0.6、害虫－*Hypsipyla robusta* 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。
Mimusops elengi (Tanjung)	アカテツ科。小～中木。DBH:100cm、H:30m。たぶんインド・スリランカ・ビルマ原産。亜種がアジア太平洋地域	肥沃な土壌を選択するが、岩石地にも生育可能。湿地耐性あり(過湿状態は 2 ヶ月以内)。栄養繁殖可	木材利用－重硬材－比重 0.78～1.12。深紅色～暗赤褐色で美麗。 薬剤利用－葉と樹皮。

	原産。熱帯雨林～弱い乾季の熱帯季節林。海岸林に多いが、標高 600m 以下の岩石の多い山地にも成育。	能。種子による増殖が基本で種子貯蔵は 9 ヶ月。挿し木も可能とされる。	花に香気あり－香水抽出。 庭園木利用。 現地産樹種。
Anthocephlus cadamba (Jabon、地域名－Jabon Putieh)	アカネ科。中～大木。DBH:90cm、H:45m。ネパール～PNG 広域分布種。標高 1,000m までの肥沃な河畔沖積地に多い。降水量－1,500～5,000mm。時として洪水による浸水地も可。	排水良好な自然堤防・沖積地で良。栄養条件のよい立地を選択強光に耐性。貧栄養条件に適さない？乾燥には耐性乏し。種子による増殖が基本で種子多産。	木材利用。極軽軟材－比重 0.29～0.56。加工容易で利用範囲は広い。成長迅速－H:11m/2 年。5 年生頃から収穫－インドネシア造林地では 30 年伐期。現地産樹種
Anthocephalus macrophyllus (Jabon, 地域名－Jabon Merah)	アカネ科。大木。サイズについての具体的記載ない。弱い乾季のある熱帯季節林。スラウェシとモルッカ特産。低地～山地帯下部に成育	立地特性についての記載はないが、やや短い乾季がある環境で成育。最低気温－15゜C。	前者と同様典型的なパイオニア種。木材は軽軟で、前者と同様の材利用。 地域で薬剤利用。
Alstonia scholaris (Pulai) *A. macrophylla* (Pulai Daun Besar)	キョウチクトウ科。中～大木。DBH: 20~80cm、H:10~60m。インド～オーストラリアまでの広域分布種。低地～山地林で 1,230m まで分布。多様なサイトに適応。*A. macrophylla* は標高 500m 程度まで	排水良好で湿潤な河畔沖積地で良好であるが、他のサイトにも適応可能。超塩基性岩、石灰岩～酸性岩でも成育。後者はケランガスにも成育。過湿条件には耐性少ない？酸性には耐性。	木材利用と薬剤として利用。軽軟材－比重 0.35～0.45。*Alstonia scholaris* は健胃剤や蛇毒緩和剤として地域利用。蛇毒緩和には樹液を使用。 現地産樹種。
Dyera costulata (Pantung、地域名－Jelutong Gunung) *Dyera polyphylla* (地域名－Jelutong Rawa)	キョウチクトウ科。巨大木。DBH:300cm、H:80m。南部タイ～ボルネオまで分布。低地～山地フタバガキ林に成育し、標高 1,220m まで。当種は湿地には成育しないが、別種 *D.*	排水良好な土壌を好み、赤黄色土(Acrisol)で好適。*D. polyphylla* は潜在的酸性硫酸塩土壌(thionic Fluvisol)に成育可能？酸性に耐性。後者は膝根を発生し、酸素欠	木材利用と樹液採取。軽軟材－比重 0.45。大量の樹液を出し、樹液はチューインガムの原料。 *Koompassia excelsa* と並び東南アジアの巨大木の一つ。

	polyphylla は湿地成育。	乏に耐性。	現地産樹種。
Fagrea fragrans (Tembusu)	フジウツギ科。中～大木。DBH:120cm、H:35m。ベンガル～ボルネオ～ミンドロ島。低地林構成種。沿岸林やケランガス地帯でも生立。標高約 800m まで	内部排水不良土壌で良。貧栄養砂質土壌でも可。一時浸水地可。時に Melaleuca と湿地で生立。 低酸素条件で可能であるが長期滞水しない場所。	中庸～重硬材－比重 0.68～0.89。インドネシアでは鉄木と称す。重構造材として活用されている。 現地産樹種。
Gmelina arborea (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。標高 1,500m まで(インド)。	Ca 等の栄養要求度が高く、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。種子増殖で採取後速やかな播種が推奨。高い光要求度。雑草木との競合に弱いので貧栄養では推奨されず	軽軟材－比重 0.50 前後。木材利用と荒廃地植栽にも利用される。世界的に荒廃地を含む伐採跡地での造林に活用されている。
Peronema canescens (Sungkai)	クマツヅラ科。小～中木。DBH:70cm、H:20-30m。半島マレーシア～スマトラ・ボルネオ原産。低地～丘陵フタバガキ林の二次林で、原生林には存在せず。標高 900m まで	深い土壌で成績よいが、普通の土壌でも生育可能。光要求度は高い。酸性環境に耐性。種子は散布後速やかに失活するので、取り蒔きが良好。挿し木可能。	木材利用－軽軟材～中庸材－比重 0.36～0.73。 造林は一斉造林がよい。一時湛水地を含む湿潤な標高 600m までの場所でよい結果が得られている。
Tectona grandis (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、降水量 1,200	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	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。 大径木は家具材。小径木は足場丸

	～2,000mm(インドネシア)	プ造林が導入。	太に活用。

[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

Forester's Manual of Dipterocarps(1974-reprint): Symington, C.F., University of Malaya　Malayan Forest Record No.16

Malaysia Red List (2010): Chua, Suhaida, Hamidah & Saw, Research Pamphlet No. 129, FRIM

Dipterocarps of Sabah (north Borneo) (1964)：Wood & Meijer, Sabah forest Record No.5, Forest 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

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

添付資料A－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	drought	flood	swamp	sandy	rocky	acid	alcaline	salinity	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*	ペルポック 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ピートスワンプ林[0]			<1400m[0]			
Malpighiales キントラノオ目	Euphorbiaceae トウダイグサ科	*Aleurites moluccana*	ククイノキ	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]
Malpighiales キントラノオ目	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*	ペレパット パヤ	Prepat darat	内装、家具等[3]			耐[0]											湿潤熱帯、ペ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*	カマバアカシア	Akasia	用材、薪材、パルプ等[3]	耐[1]	耐[2]	耐[6]			耐[2] >3.0[15]	耐[2]	耐[2]		？耐[1], 無霜[2]	弱[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 crassicarpa*			パルプ等[E]		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*	ミモザアカシア	Akasia	各種工作等[3]	耐[17]						弱[17]		耐[E] -5℃[17]	根耐[E]	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*	アカシアマンギウム	Akasia	用材、薪材、パルプ等[3]	弱[E]	弱[1]		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]		<6 months[0]	<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 [illegible]			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*	イピルイピル	Lamtoro	緑化、飼料、薪材等[3]	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*	モルッカネム	Sengon laut	用材、合板、パルプ等[3]			弱[6]			＞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[0]						海岸から低山地林及び季節的湿地林[1]、湿潤熱帯[9]			<600m[0](1300m[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]											熱帯低地[6]	760-3000mm[6]	2-4 か月[6]	<700m[6]			陽樹[6]
Fabales マメ目	Fabaceae マメ科	*Sesbania grandiflora*	シロゴチョウ	Turi	薪材、飼料、薬用等[3]	耐[1,6]	耐[1,6]							弱[1] 10		弱[1]		耐[6]	熱帯湿潤及び半乾燥地[6]、しばしばマングローブ林後背地林[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)[0]	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*	パラミツ	Nangka	果肉、種子、用材等[3]	弱[1]	弱[1]	弱[1]				6-7.5[0]		耐[1] 弱[0]	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	Datiscaceae 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*	トクサバモクマオウ	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]	放線菌Frankia	N 固定[15]	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]			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]
Myrtiflorae フトモモ目	Combretadeae シクシン科	*Terminalia catappa*	モモタマナ	Ketapang	被陰樹																				
Myrtiflorae フトモモ目	Lythraceae ミソハギ科	*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]
Myrtiflorae 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]		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]
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Eucalyptus deglupta*	カメレレ		用材、パルプ等[3]	弱[1,0]	弱[1,0]					6-7.5[14]			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]
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Eucalyptus pellita*			用材、パルプ等[3]										？耐[1] 無霜[10]		耐[10]		湿潤及び準湿潤の熱帯低地[1]	1000-4000mm[10]	2-4か月[9]	<800m[10]			二次林種[E]
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Eucalyptus urophylla*	ウロフィラユーカリ	Ampupu	用材等[3]							弱[1]					耐[10]		モンスーン気候の山地二次疎林[0]	800-2200mm[10]	3-8か月[10]	90-2000m[10]			二次林種[0]
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Melaleuca alternifolia*	カユプテ		精油、杭材、防風等[19]	耐[19]	耐[19]	耐[19]							無霜[19]	耐潮風[19]	耐[19]		亜熱帯の海岸近傍に広がる河川及びスワンプ沿いの平地林[19]			<300m[19]			陽樹[19]
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Melaleuca cajuputi*	カユプテ		薬用，杭材，薪炭等[2]	耐[2]	耐[2]	耐[2]		耐[2]	耐[E]								熱帯湿潤及び準湿潤地域[2]	1300-1750 mm[2]	<2-3か月[2]	<200m[2]			陽樹[E]

Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Melaleuca leucadendron*	カユプテ		薬用、香料、薪炭等[3]	耐[2]	耐[2]	耐[2]	耐[2]	耐[2]	耐[E]		耐[2]						熱帯準湿潤及び半乾燥地[2]	650-1500 mm[2]	<4-8 か月[2]	<500m[2]			陽樹[E]
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Syzygium aromaticum*	チョウジ	Chengkeh	薬用、香料等[3]	弱[E]									弱[E]				中小林及び雨林[1] 、熱帯及び亜熱帯[6]	1500-3500mm[6]	<1-2 か月[6]	<1000m[1]			幼耐陰[6] 中下層木
Myrtiflorae フトモモ目	フトモモ科 Myrtaceae	*Syzygium cumini*	ムラサキフトモモモ	Jambu hutan	染色、用材																				
Myrtiflorae フトモモ目	Myrtaceae フトモモ科	*Syzygium Samarangense*	オオフトモモ	Jamby semarang	果実																				
Sapindales ムクロジ目	Anacardiaceae ウルシ科	*Anacardium occidentale*	カシュー	Jambu mente	果実、用材等[3]	耐[1]									弱[1]				熱帯及び亜熱帯モンスーン林[6]	800-1000 mm[1]	4-6 か月[9]	300(800)m[6]			陽樹[E]
Sapindales ムクロジ目	Anacardiaceae ウルシ科	*Lannea coromandelica*		Banten	生垣等[E]	耐[E]													インドから東南アジア分布。タイ国ではモンスーン気候の落葉疎林[24]						二次林種[E]
Sapindales ムクロジ目	Anacardiaceae ウルシ科	*Mangifera casturi*	カリマンタンマンゴ	Kasturi		弱[E]													南カリマンタン州マタラム地方栽培種、絶滅危惧種	1200 mm<[E]	<1-2 か月[E]	平地[E]			陽樹[E]
Sapindales ムクロジ目	Anacardiaceae ウルシ科	*Mangifera indica*	マンゴ	Mangga	果実、用材等[3]	耐[1,0]	耐[1]								弱[1]				熱帯及び亜熱帯[1] ，モンスーン気候[6]	750-2500mm[0]	3 か月[1] <[9]	< 600(1200) m[1,0]			陽樹[E]
Sapindales ムクロジ目	Anacardiaceae ウルシ科	*Mangifera odorata*	ニオイマンゴ	Kuwini	果実等[3]	弱[E]													湿潤熱帯[0]	1200 mm[1]<[0]	短期間[1, 0]	< 1000 m[1]			陽樹[E]
Sapindales ムクロジ目	Meliaceae センダン科	*Azadirachta indica*	インドセンダン	Mimba	用材、薬用[3]	耐[1,6]	弱[1,0]					6.2-7.0			耐[1,0]				熱帯平地のほとんどの地域[1] 、原産地：熱帯及び亜熱帯の乾燥地[6]	650-1150mm[6]		<700m[0] (1500m[6])			陽樹[0]
Sapindales ムクロジ目	Meliaceae センダン科	*Khaya senegalensis*	ドライマホガニー		用材、合板等[3]	耐[1]	耐[1]	耐[1]											河岸林及び比較的多雨なサバンナ林に散在[1]	700-1500mm[9]		<1800m[9]			弱耐陰[6]
Sapindales ムクロジ目	Meliaceae センダン科	*Melia azedarach*	タイワンセンダン	Mindi	用材、薪材等[3]										耐[1]				亜熱帯[1] 、熱帯モンスーン地[6]	600-1000mm<[6]		<2000m[6]			
Sapindales ムクロジ目	Meliaceae センダン科	*Sandoricum koetjape*	サントル	Kecapi	果実、薬用、被陰樹等[1]														熱帯湿潤及びモンスーン気候[1]			<600[0](1200)[13]m			幼Fast[13]
Sapindales ムクロジ目	Meliaceae センダン科	*Swietenia macrophylla*	オオバマホガニー	Mahoni	用材、合板等[3]		弱[0]					6.5-7.5[0]				耐[1,0]			サバンナ松林から極相雨林の林縁[1]	400-2500mm[0]	0-4 か月[0]	<1500m[0]			陽樹[E]
Sapindales ムクロジ目	Meliaceae センダン科	*Toona sureni*	スリワンギ	Suren wangi	用材、合板等[3]							耐[0]			耐[0]				熱帯インドからマレシア植物区[0]			<1700(2100)m[0]			
Sapindales ムクロジ目	Sapindaceae ムクロジ科	*Nephelium lappaceum*	ランブータン	Rambutan	果実、種子等[3]	耐[1]	耐[1]	耐[1]			4.5-6.5[0]				弱[1]	弱[1]			熱帯湿潤低地[1]	2500mm<[0]		<600m[0]			中下層木[0]
Sapindales ムクロジ目	Sapindaceae ムクロジ科	*Schleichera oleosa*	セイロンオーク	Kesambi	種子油、用材、薬用等[3]	耐[E]						耐[E,12]							熱帯半乾燥から湿潤林[12]	900-1500(3000)mm[12]		<600(1000)m[12]			
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Anisoptera marginata*	メルサワ パヤ	Mersawa tenam	用材、合板等[3]			耐[0]			耐[0]								湿潤熱帯, ピートスワンプ及びポドソルヒースに生育可[0]			<1200m[0]		外生菌根菌[16]	
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Dipterocarpus alatus*	カンインビュ	Keruing	用材、合板等[3]	耐[1]					耐[E]								常緑及び乾燥落葉林[1]、熱帯モンスーン気候[16]		6 か月[1]	< 500 m[1]		外生菌根菌[16]	林縁更新[16]
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Dryobalanops aromatica*	リュウノウジュ	Kapur bukit	用材、合板、薬用等[3]			弱[E]											熱帯低地、尾根沿い[6]			< 300 m[6], <400m[0]		外生菌根菌[16]	幼樹耐陰[0]
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Dryobalanops lanceolata*	カポールパジ	Kapur paji	用材、合板等[3]							耐[0]							熱帯低地、斜面中腹[6]、 塩基性火山土壌も[0]			<800m[0]		外生菌根菌[16]	林縁更新[0]
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Hopea odorata*	タキアン	Merawan	用材、樹脂等[3]						耐[E]								熱帯湿潤常緑林[1]、 河畔林に多[0]			< 600 m[1],		外生菌根菌[16]	林縁更新[6]
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Shorea balangeran*		balangeran	用材、合板等[E]		耐[E]	耐[E,0]											熱帯ピートスワンプ林[0]			<100(1000)m[0]		外生菌根菌[16]	二次林種
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Shorea javanica*	ダマールカチャ	Damar kaca	用材、合板等[3]	耐[1]	耐[1]				耐[E]								熱帯低地多雨林[1]	1600 mm <[1]	< 6 か月[1]	< 300(500) m[1,0]		外生菌根菌[16]	林縁更新[E]
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Shorea leprosula*	テンバーガ		用材、合板等[3]		弱[6]	弱[6]											熱帯低地多雨林[6]		<0 か月[6]	< 700 m[1,0]		外生菌根菌[16]	林縁更新[0]
Malvales アオイ目	Dipterocarpaceae フタバガキ科	*Shorea roxburghii*			用材、合板等[E]	耐[E]					耐[E]						根耐[E, 6]		熱帯モンスーン気候: しばしば乾燥落葉樹, 常緑樹及び竹林に生育[0]			<1200m[0]		外生菌根菌[16]	林縁更新[6]
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Hibiscus cannabinus*	ケナフ		繊維利用[E]			弱[22]					耐[22]		弱[22]				熱帯・亜熱帯[2] 、45°N～30°Sに栽培可[22]	生育期:>100mm/月、>20℃[22]					陽樹[22]
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Hibiscus macrophyllus*		Waru gunung	用材、薪材、繊維等[4]														熱帯アジア[0]			<1500(2400)m[0]			二次林種[0]
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Sterculia foetida*	ヤツデアオギリ	Nitas	用材					耐[E]			耐[E]						熱帯: しばしば河岸及び海岸岩石地[0]			<1000m[0]			陽樹[E]
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Ceiba pentandra*	カポック	Kapuk	綿毛、合板、種子油等[3]						4.7-6.9[6]					弱[6]	弱[6]		湿潤常緑及び落葉林[1] 、熱帯及び亜熱帯[6]	1000-5700mm[6]	< 6 か月[6]	<600(1200)m[6]			陽樹[6]
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Durio kutejensis*	ライ	Lai	果肉等[3]														湿潤熱帯[0]			<Foothills[0]			
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Durio zibethinus*	ドリアン	Durian	果肉、種子等[3]														湿潤及び準湿潤熱帯[2]	1500mm<[0]		<800(1800)m[0]			
Malvales アオイ目	Malvaceaae アオイ科	*Hibiscus tiliaceus*	オオハマボウ	Waru	材、繊維等																				
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Ochroma lagopus*	バルサ	Balsa	浮子、模型等[3]		弱[6]	弱[6]					弱[6]		弱[6]				湿潤熱帯[6]	1500mm<[6]	<4 か月[6]	<1000(1800)m[6]			Fast,先駆樹[6]
Malvales アオイ目	Malvaceae アオイ科	*Theobroma cacao*	カカオ	Koko	種子脂肪等[3]	弱[21]	耐[21]												湿潤熱帯[1] 、低地多雨林[21]	1000-3000mm[21]		<300m[21]			下層木[21]
Malvales アオイ目	Thymelaeaceae ジンチョウゲ科	*Aquilaria spp.*	ジンコウ	Gaharu	香料、用材、繊維等[3]	弱[0]													東南アジア熱帯林			100-1300m[0]			中下層木[0]
Ericales ツツジ目	Theaceae ツバキ科	*Schima wallichii*	ヒメツバキ、イジュ	Puspa	用材等[3]		耐[1]	弱[6]					耐[1]	>-3℃[6]			耐[E, 6]		幅広い生育環境(気候, 土壌, 生物)[1]、アジアの熱帯及び亜熱帯[6]	1100-1400mm in China[6]		<3300m[6]			陽樹[6]、幼遅伸長[6]
Ericales ツツジ目	Ebenaceae カキノキ科	*Diospyros ebenum*	コクタン	Kayu hitam	家具、細工物[26]、用材等[3]	耐[26]													インドからスラベシの比較的乾燥地帯[0]			<900m[0]			
Gentianales リンドウ目	*Apocynaceae* キョウチクトウ科	*Alstonia angustiloba*	プライ	Pulai hitam	用材等																				

Gentianales リンドウ目	Apocynaceae キョウチクトウ科	*Alstonia scholaris*	プライ	Pulai	用材、合板等	弱[22]	耐[25]					耐[E]							湿潤及びモンスーン林[0]	>1300mm[23]		<500(-1000)m[0]			二次林種[0]
Gentianales リンドウ目	Apocynaceae キョウチクトウ科	*Dyera costulata*	ジェルトン	Jelutung	用材																				
Gentianales リンドウ目	Gentianaceae リンドウ科	*Fagraea fragrans*	テンブス	Tembusu	用材、合板等		耐[E]	耐[0]							耐[E]				熱帯湿潤からモンスーン気候[0]			<1500(2800)m[0]			二次林種[0]
Gentianales リンドウ目	Rubiaceae アカネ科	*Anthocephalus cadamba*	カランパヤン	Jabon putih	用材、合板等[3]	弱[6]	耐[1]	耐[1,6]											湿潤熱帯[0]	1500-5000mm[0]	< 1-2か月[6]	<1000m[0]			先駆樹[0]
Gentianales リンドウ目	Rubiaceae アカネ科	*Anthocephallus macrophyllus*		Jabon merah	用材、合板等[0]		耐[0]	耐[0]											湿潤熱帯、Jabonよりやや乾燥気候に生育可[0]	(200)-5000[0]		<1000m[0]			先駆樹[0]
Gentianales リンドウ目	Rubiaceae アカネ科	*Coffea arabica*	コーヒー	Kopi	種子飲料[3]	弱[20]			弱[1]		耐[1]				弱[20]				熱帯乾燥及びモンスーン地帯、多雨林では高山帯[20]	1500-2000 mm[1]		1500-2000 m[1]			弱耐陰[E]
Tubiflorae シソ目	Verbenaceae クマツヅラ科	*Gmelina arborea*	メリナ	Jati putih	用材、合板等[3]	耐[1]	弱[1]		耐[1]			耐[E]			耐[1]		耐[E]	弱[6]	モンスーン林[0]	750-5000mm[0,6]	3-5 か月[0]	<1200m[0]		無 N 固定[15]	Fast、陽樹[0]
Tubiflorae シソ目	Verbenaceae クマツヅラ科	*Peronema canescens*	ヌルデモドキ	Sungkai	用材等[3]	弱[6]	耐[6]										根耐[E]		湿潤熱帯[0]	1500-5000mm[E]		<600(-900)m[0,6]			Fast、陽樹[0]
Tubiflorae シソ目	Verbenaceae クマツヅラ科	*Tectona grandis*	チーク	Jati	用材等[3]	耐[E]					弱[E]	耐[E] 6.5-7.5[6]			根耐[6]		根耐[1]		乾季のある温暖・湿潤熱帯[1]	600-4000 mm[1]	3-6 か月[6]	<1000m[0]			先駆樹[0]

Reference

0 PROSEA Vol. 2, 5(1), 5(2), 5(3), & 12(3)
1 Agroforestree Database, World Agroforestry Centre. http://www.worldagroforestry.org/resources/databases/agroforestree
2 John W. Turnbull Edit (1986) Multipurpose Australian Trees and Shrubs. Australian Centre for International Agricultural Research
3 熱帯植物研究会編（1984）熱帯植物要覧. 養賢堂
4 Wikipedia (2011閲覧) http://id.wikipedia.org/wiki/
5 Office of International Affairs U.S. (1984) Leucaena: Promising Forage and Tree Crop fo te Tropics. National Academy Press U.S.
6 森徳典ら（1996-97）熱帯樹種の造林特性第1-3巻. 国際緑化推進センター
7 森 徳典（2013） 熱帯のAlueritas. 海外の森林と林業 NS.No. 85
8 Jones, L & Miller, J.H. (1991) Jatropha curcas. Astag Technical paper, Land Resources Series No.1, The Worl Bank Asia Tehcnical Department Agriculture Division, 12pp.
9 浅川澄彦 (1992) 熱帯の造林技術. 国際緑化推進センター
10 John C. Doran and John W. Turnbull Edit.(1997) Austrarian Trees and Shrubs: Species for land rhabilitaion and farm planting in the tropics. Australian Centre for International Agricultural Research1
11 Jatropha curcus plantations（2013閲覧）. www.jatrophacurcasplantaions.com/
12 Jomes A. Duke (2001) Handbook of nats. CRC Press
13 E. Soepadano, L.G. Saw and R.C.K. Chung (2004) Tree flora of Saba and Sarawak. Vol.5 & 6. Malaysian Government
14 FAO (1979) Eucalyptus for planting
15 Dale O. Evans and Lawrence T Szott Edit. (1955) Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. NAFTA & CATIE
16 Simmathiri Appanah & J. M. Turnbull Edit. (1998) A Review of Dipterocarps, Taxonomy, ecology and silviculture. CIFOR
17 Acacia decurrens (2013閲覧) http://www.pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Acacia+decurrens
18 Wikipedia(2013閲覧) Delonix regia. http://en.wikipedia.org/wiki/Delonix_regia
19 Kew Royal Botanical Garden, Melaleuca alternifolia. (2013閲覧) http://www.kew.org/plants-fungi/Melaleuca-alternifolia.htm
20 Wikipedia (2013閲覧） コーヒーノキ http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B3%E3%83%BC%E3%83%92%E3%83%BC%E3%83%8E%E3%82%AD
21 Kew Royal Botanical Garden, Theobroma cacao (2013閲覧) http://www.kew.org/plants-fungi/Theobroma-cacao.htm
22 GlobinMed (2013閲覧）Hibiscus cannabinus. http://www.globinmed.com/index.php?option=com_content&view=article&id=80300:hibiscus-cannabinus-l
23 R.S. Troup (1986) The Silviculture of Indian Trees. Vol.2.
24 S. Gardner, P. Sidisunthorn, and V. Anusarnsunthron (2000) A Field Guide to Forest Trees of Northern Thailand
25 Forest Inventry and Planning Institute (1996) Vietnam Forest Trees
26 熱帯農業研究センター（1978） 熱帯の有用樹種
E Experience & Estimation, 経験上の知見及び記述からの推定（赤字）