

森林・水環境に配慮した森林造成技術ガイドライン



公益財団法人 国際緑化推進センター

平成26年3月

まえがき

乾燥・半乾燥地域で植林を行うことは、そこに居住する人々にとって大きな課題となっています。そのため、土壌水分の乏しい場所での植林活動を促進するために正確な技術情報の提供が求められています。

このガイドラインは、国際緑化推進センターとケニア森林研究所（KEFRI）が、平成 21 年度から 25 年度までの 5 カ年間で、林野庁の支援を受けて、共同で実施した調査活動の成果に基づいて取りまとめたものです。その調査活動では、ケニア国東部州のキツイ県を対象として現地調査を行うとともに、各種文献の収集・分析を行い情報の補足を行いました。

このガイドラインはそれら成果の集大成として、下記の項目について最新の知見に基づいた詳細な解説をし、乾燥・半乾燥地域に適した植林方法を包括的に取りまとめているのを大きな特徴としています。

- 1) 乾燥・半乾燥地域における森林造成と水資源との関係性
- 2) 樹木の植栽可能域を判定するための新しい技術
- 3) 乾燥・半乾燥地域での植林に必要な典型的な技術
- 4) 耐乾性の高い 16 樹種の生理・生態的特徴と育成手法
- 5) 乾燥・半乾燥地域における植林活動の適切な推進に向けた提言

このガイドラインは、乾燥・半乾燥地域で植林・緑化協力を実施されている NGO 等の活動家の方々、青年海外協力隊の方々等に活用いただくことを想定して作成しています。

乾燥・半乾燥地域における植林活動が適切かつ円滑に推進され、地域の方々の生活環境の向上に役立つことを祈念しています。

公益財団法人 国際緑化推進センター

謝 辞

調査の実施にあたっては、学識経験者からなる委員会を構成し、調査の方針、手法等を検討していただきました。ここに記してお礼を述べたいと思います。

特に、吉川委員、大藪委員、坪山委員にはケニアでの現地調査に、藤枝委員には中国での現地調査・文献収集にもご尽力をいただきましたこと、重ねて御礼申し上げます。

また、この調査は、ケニア森林研究所（KEFRI）の協力なくしては良好な成果を上げることはできませんでした。調査事業実施期間中には、Ben N. Chikamai 所長、Bernard Kigomo 副所長には貴重なアドバイスをいただきました。さらに KEFRI キツイ地域研究センターの James K. Ndufa センター長、Albert Luvanda 副所長を始め、数多くの研究者から協力をいただきました。改めて御礼申し上げます。

加えて、本ガイドラインで紹介した、植林可能域を判定するための新しい手法による分析作業には、トヨタ自動車株式会社の堀川真弘博士の技術的協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

さらに、林野庁海外林業協力室の皆様には調査全般にわたりご指導をいただきました。心から厚く御礼申し上げます。

平成 26 年 3 月 31 日

公益財団法人 国際緑化推進センター
理事長 佐々木恵彦

森林・水環境保全のための実証活動支援委員会

委員長	吉 川 賢	岡山大学大学院環境生命科学研究科 教授
委 員	大 手 信 人	東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授
〃	大 西 満 信	技術士（H25 年度より委員就任）
〃	大 藪 崇 司	兵庫県立大学 大学院緑環境景観マネジメント研究科 講師
〃	坪 山 良 夫	独立行政法人 森林総合研究所 水土保全研究領域 領域長
〃	藤 枝 基 久	独立行政法人 森林総合研究所 企画調整部 上席研究員（H24 年度まで）
〃	三 島 征 一	社団法人 海外林業コンサルタント協会 参与

目 次

第1章 はじめに	1
第2章 乾燥地・半乾燥地における森林造成と水環境	2
第1節 水を分かち合うための戦略	2
第2節 様々な水源を利用するための戦略	4
第3節 乾燥地・半乾燥地での植林にかかる社会・経済的背景と取組方向	11
第3章 熱帯半乾燥地域の造林技術	13
第1節 植栽樹種の選択	13
第2節 耐乾性の高い樹種	15
1) <i>Acacia nilotica</i>	15
2) <i>Acacia senegal</i>	18
3) <i>Acacia tortilis</i>	23
4) <i>Acacia xanthophloea</i>	27
5) <i>Azadirachta indica</i>	29
6) <i>Balanites aegyptiaca</i>	32
7) <i>Combretum</i> 類	35
8) <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	38
9) <i>Eucalyptus saligna</i>	41
10) <i>Faidherbia albida</i>	43
11) <i>Gliricidia sepium</i>	47
12) <i>Grevillea robusta</i>	51
13) <i>Melia volkensii</i>	55
14) <i>Prosopis juliflora</i>	60
15) <i>Senna siamea</i> (<i>Cassia siamea</i>)	64
16) <i>Tamarindus indica</i>	67
第3節 植栽対象地	70
1. マクロな視点での生育適地	70
2. ミクロな視点で考慮すべき事項	73
第4節 <i>Acacia senegal</i> と <i>Melia volkensii</i> の比較	74
第5節 植栽地の水管理	76
1. 植栽地の土壤水分環境	76
2. 植栽地における集水・節水の方法	78
3. 乾燥環境に適した造林・管理手法	84
第6節 アグロフォレストリー手法による樹木の植栽	88
1. アグロフォレストリーと水環境	88

2. アグロフォレストリーが行われる場所	89
3. 農耕地内での植栽	89
4. 作物と樹木による水などの資源を巡る競合	90
5. アグロフォレストリーに適した樹種	93
6. 農耕地以外の場所での植栽	93
 第4章 水環境に考慮した森林造成に向けて	96
○正しい知見に基づいた啓蒙活動	96
○森林造成によって利用できる資源は減少する	96
○水源の保全	96
○生産目標に合致した森林造成が必要	96
○低密度な森林を持続させるための適正な密度管理技術	97
○立地の微環境を考慮した施業	97
○適地適木	97
○大規模で一律な造成は避けなければならない	98
○乾燥した厳しい環境に耐える頑健性が求められている	98
○森林造成とアグロフォレストリーの違い	98
○アグロフォレストリーの課題	99
○まとめ	99
 参考資料	
ROC 解析による植栽可能域の選定	101
ケニアに分布する乾燥適応性の高い樹種リスト	109
ケニアの農業・気候区分 (Agro-Climatic Zone)	117

第1章 はじめに

乾燥地・半乾燥地での住民の活動は植生の劣化を引き起こしやすく、多くの地域で森林が失われ、土地の生産性が低下して、砂漠化が進み、水資源問題はますます深刻化している。そうした地域で森林造成を行うことは、温室効果ガスの吸収や気候緩和、自然環境保全への貢献はもとより、建築材や薪炭材の供給源が確保されて住民の生活基盤を大きく向上させることを可能にする。さらに、長期的には森林植生の回復に伴う水土保持機能の向上により、雨季の洪水防止や乾季の渇水緩和など地域の水収支バランスの向上が期待できるきわめて重要な環境対策である。

しかしながら、一方では、早生樹等による森林造成が林地からの蒸発散による水の消費量の増大を引き起こし、もともと不足しがちな乾燥・半乾燥地の水資源をさらに減らすことで、日常生活や農業用に利用できる水が不足し、生産基盤が劣化させる可能性がある。また、河川流量の減少が流域の生態系に影響し、生物多様性の低下や火災発生頻度の増加など、地域住民の生活に不測の悪影響を与えることも懸念されている。

そこで、水環境を保全しながら、森林の回復・保全を進め、ひいては地域の有効水分量(植物が利用できる水分量)を増加させることができるような森林造成技術が求められている。しかし、木材生産の向上を目指して導入されたユーカリは水消費が多く、地下水位の低下が憂慮されている。砂漠化した土地の修復のために導入された本種は環境耐性が強すぎて、対象地域以外の農地や水路に繁茂して、農業生産の障害となる場合も起こっている。在来種のアカシアを使ったとしても、森林造成をすることで、地力の低下や生物多様性の減少といった問題が起こることもあり、いずれの場合も、植林方法だけでなく、植栽後の管理方法の改善が大きな課題となっている。一方、砂漠化や水資源問題を引き起こした森林の減少・劣化は長年にわたる過剰な伐採や土地開発などの過度な人為的圧力によるものが多く、森林の回復・保全を進めるためには、地域住民の理解と協力が不可欠である。そのためには、住民生活の改善に寄与し得る森林造成法・管理法を提示し、住民の意識改革と、能力向上を図ることが必要である。

そこで、本事業は砂漠化や水資源問題が深刻化する乾燥・半乾燥地で、地域の水収支に対する植林活動等の短期的な負の影響を考慮しつつ、適切に森林造成・管理を推進する手法を開発することを目的として、ケニアにおいて住民の協力を得つつ森林の造成・管理についての実証的現地調査を行った。

本ガイドラインは、樹木の水利用をキーワードとして、乾燥・半乾燥地での森林造成の課題を整理し、これまでの研究成果や様々な森林造成の試み、そのための技術開発の結果をとりまとめ、水資源の持続的利用を目指した森林造成・管理手法を解説したものである。

第2章 乾燥地・半乾燥地における森林造成と水環境

第1節 水を分かち合うための戦略

種構成が比較的単純な乾燥地生態系の中でさえ、ほぼ同じ水を利用している多数の植物が共存している。乾燥地では水が少ないので、水を巡る競争はほとんどの場所で卓越するし、厳しい。水ストレス下で共存するためには水資源を分かち合う知恵が働いているはずだが、同じニッチを用いる2種は共存できないという競争排除則は生態学の基本原理である(Gause, 1932)。したがって、一見水を分け合っているように見える植物たちも、基本的には、異なる水資源を利用している。すなわち、いろいろな種類の水資源があり、それぞれを利用するのに、それぞれ特定の戦略が必要であり、一つの戦略で多くの種類の水を利用することはできない。一方で、いくつもの戦略を進化させるほど、乾燥地の水環境は優しくない。それぞれの植物は以下に述べる水資源確保のための戦略のごく一部をそれぞれ個別に採用して、得られる水量に見合った生物量で乾燥地生態系の一員として生存し続けている。

知恵は生態学的に言う和生活史戦略である。水不足の環境で生き残るために考えられる戦略は3つある。水不足を我慢するか、他の植物が使わない水源を使うか、他の植物のおこぼれに与るかである。

水不足を我慢する

水不足の状態では、水を使わないで我慢するために、地上部の形態的適応と、吸水と蒸散に関わる機能的適応が主として採用されている。水消費を抑えるための形態的適応として、クチクラ層を厚くしたり、厚くて小型の葉にしたりすることで蒸散を抑制するのが最も一般的な対応である。わずかしかな水のを他の植物よりも速く吸収するために葉の水ポテンシャル*¹⁾を低くすると、木部でキャビテーション（導管の中に気泡ができて空洞化することで通水機能が失われる現象）が起りやすくなる。その対策として通水効率に最も大きく影響する導管の太さを調整することも有力な方法である(舘野, 2003)。さらには、十分に水のあるときに吸水した水を樹体内の様々な組織内へ貯めておくことも有効な手段である。限られた水を大切に使うための機能的適応として、単位水消費量当たりの光合成生産量（水利用効率）を多くするように、気孔の開閉を調整したり、光合成速度を高めたりする。

独自の水源

他の植物が使わない独自の水資源を確保するためには、地下部の形態と機能の適応力が鍵である。

中国中北部の毛烏素沙地で共存する臭柏、油蒿、旱柳の維管束中の水の同位体比を用いて給水源を調べたところ、臭柏では0.5mより深い土壤水か地下水と一致し、一方油蒿は0~0.5mの土壤水のものに近かった。この違いは、常緑針葉樹である臭柏は、季節を通じて安定した水源を好み、落葉低木の油蒿は短い雨季に展葉して雨水の供給を表層で待つ生活様式の違いと対応している。また、旱柳の場合、地下水面が深い立地に生育している個体は、深度1.5mまでの土壤水は利用し

ておらず、それより深いところの土壌水か地下水を利用していることが推測されている。

根の表皮細胞での浸透ポテンシャル^{*2)}を下げることで吸水力を高める浸透圧調節は、ほとんど全ての植物で急速な水ストレスへの対応のための有力な手段の一つとして採用されている。根の内皮にはカスパー線と呼ばれるスベリン^{*3)}化した疎水性の部分があり、これによって根と土壌の間のポテンシャル勾配が逆転したときに根から失水が起こるのを防いでいる。さらに、水平根と垂直根を持っていると、含水率の異なる土壌間を、根を介して水を移送し、地下水や地表水を排他的に利用できる場合もある。地表面を走る根は結露水を利用することができるし、地表近くにマット状に密な根系を形成することで、周りの土壌が保持できる最大の水量よりも多くの水を貯めておくことができるようになった植物もいる(Mooney et al., 1980)。また、地上部を使って霧をトラップするような戦略もこの独自の水源確保の有力な手段である。

*1) 葉内に水分を保持している力の強さ。不圧(－の符号)で表し、乾くほど低く(絶対値は大きく)なる。

水は植物体内の水ポテンシャルの高い方から低い方へと流れる。

*2) 純水の水ポテンシャルをゼロとすると、溶質を含んだ溶液の水ポテンシャルは純水よりも低く、負の値をとり、浸透ポテンシャルと呼ぶ(浸透圧と符号が逆になる)。根の表皮細胞の浸透ポテンシャルを下げると吸水しやすくなる。

*3) 細胞壁表層に分泌されたロウ状の物質

おこぼれに与る

他の植物が手に入れた水を使わせてもらうか、あるいは寄生することができる環境条件はごく限られている。しかしゼロではない。むしろよく見られる現象と言えるかもしれない。前述のように深層の地下水が表層に移送された場合、その水を移送した植物よりも速く利用することや、高木の枝が霧をトラップし、地表に落ちた水を、地表の植物が先に利用してしまうこともよく起こっている。

引用文献

- Gause, G.F.(1932)Experimental studies on the struggle for existence: 1. Mixed population of two species of yeast.. Journal of Experimental Biology, 9, : 389-402.
- Mooney, H. A., Gulmon, S.L., Rundel, P.W. and Ehleringer, J.(1980)Further Observations on the Water Relations of *Prosopis tamarugo* of the Northern Atacama Desert.. Oecologia, 44, : 177-180.
- 舘野正樹 (2003) 器官間のバランスと成長。種生物学会編「光と水と植物のかたち」文一総合出版, 319 頁, 163-183.

第2節 様々な水源を利用するための戦略

植物が利用する水源のおおもとは降雨である。地表に降った雨が斜面を流れ下る過程で、川の水から地下水まで、様々な形態の水源となる。それぞれの水源の特性に応じて植物の間で様々な戦いがあり、対策としての戦略がある。

降雨

地表に降り注ぐ降雨量は世界平均が 880 mm/年となる。それだけあれば、年平均気温が 5℃程度までは草原になり、それ以下でも針葉樹林が成立する。しかし、降雨量の空間的分布は不均一で、世界で最も多い記録は 10000 mm/年以上であり、一方で何年間も全く雨のない地域もある(図1)(UNEP, 1997)。十分な水があり、十分な温度のある豊かな環境では生物多様性の高い森林が成立する。しかし、水が不足してくると、競争が激化し、森林の構造が劣化する。林冠が閉鎖できるのは、占有する樹冠面積の土地に降る雨の量が、その樹冠から蒸発散していく水の量よりも多い場合である。必要量よりも降雨量が多ければ、降雨量が増えるほど垂直的に複雑な林冠となっていく。その最大の状態が樹高 50 メートル以上で何層にも林冠が重なっている熱帯降雨林である。反対に、樹冠が占有する土地に降る雨で蒸発散量がまかなえなくなると、自らの樹冠の広がりよりも広い範囲から水を集めなければならないので、隣接個体との間で水の取り合いが始まる。その結果、樹冠と樹冠の間が開いて疎林となる(写真1)。疎林になることで、林冠に覆われない地表に太陽光が直接当たり、空気も乾燥するため蒸発が促進されるので、さらに水不足が深刻となる。ほとんどの乾燥・半乾燥地の森林はこういう状態にある。

降水が葉を濡らしているだけでは、植物は生長や個体の維持に水を使っているとは言えない。植物体内に入って、生理活性に関わるようになるためには、土壤に浸透し、根から吸水されなければならない。地表に達した雨水の一部は土壤に浸透するが、多くは地表面を流れ下る。林床がこの地表流下水 (Surface Runoff) をできるだけ多く土壤に浸透させることができるほど雨水の利用効率が高くなる。一般には、森林は林床に枝葉 (有機物) を供給することで土壤の浸透能を高めることができるが、乾燥地の疎林では樹木の土壤生成機能は低く、降雨量に占める地表流下水の割合が高くなるので、土壤はより乾燥する。乾燥地に生育する植物の多くは乾燥した環境条件になるほど深くまで根を伸ばして、深層の安定な水源を利用しようとする特性を持っている (Wei et al. 2011)。しかし、現地の降雨量を基に森林を造成・維持するためには、マイクロキャッチメントなどによる地表流下水の地中への導入のための対策が欠かせない (De Pauw, 2008)。

毎日雨が降り続くことがないように、毎年同じ量の雨が降るとは限らない。降雨量は時間的にも不均一に分布している。湿潤地では、雨が少ない年に植生が少々劣化しても、大きく破壊されることはないので、さしたる問題とはならない。しかし、植生が成立する限界に近い乾燥地では全ての植生を破壊してしまうような干ばつが頻発する(図2)。1年生の草本は毎年春に種子から生育をスタートさせるので、干ばつの次の年も普通の年と変わらないスタートを切ることができ、その年の降雨量に応じた植生となれる。しかし、多年生の本木が干ばつで枯死すると、長年積み重ねてきた蓄積を一举に失うので、生態系は大きな変化を余儀なくされる。そこで、何年か毎に強い干ばつが訪れる中央アジアやサヘル地帯は多年生の本木が生育しにくいいため、草本が優占す

る世界となる。すなわち、草原は降雨量の時間的不均一さが生んだ植生である(図3)。しかし、そうした環境においても、通常植生がほとんどない砂丘の上などでは干ばつ時にも土中に水が保持されるので、樹木は生き残ることができる(写真2)。干ばつ時に土壌水分がどれほど変動するかが植生構造を決め、ひいては樹木の生育を左右している。降雨量の変動に対して、如何にして土壌水分を安定に保つか、あるいは限界以下に土壌が乾燥しないようにするかが、乾燥・半乾燥地で森林を維持するために考えなければならない重要な要因の一つである。

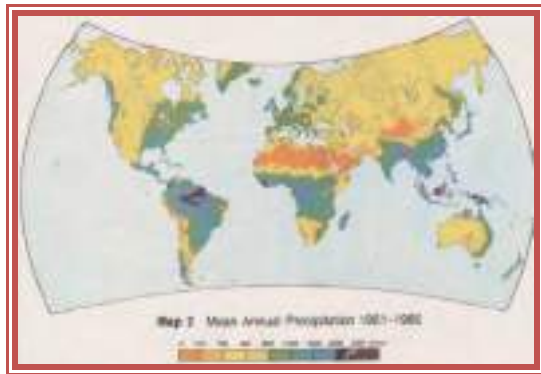


図 1: 降雨量の世界分布



写真 1: 渾善達克(フンサンダク)砂漠のニレの疎林
(中国内蒙古自治区)

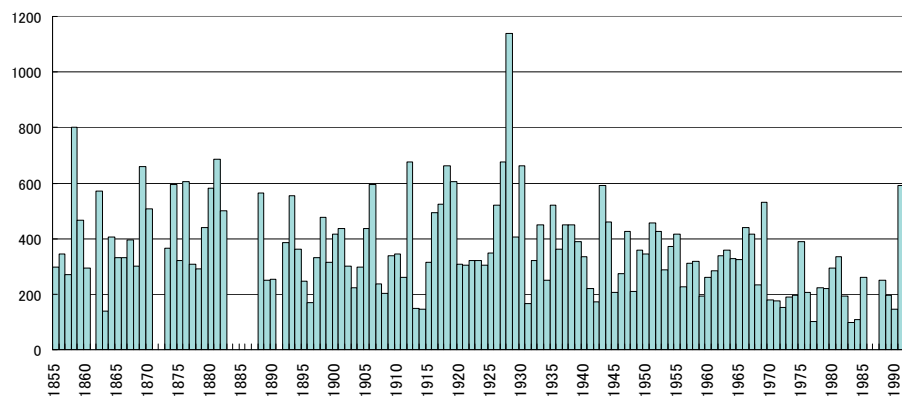


図 2: 降雨量の年変動(セネガル・サンレイ)

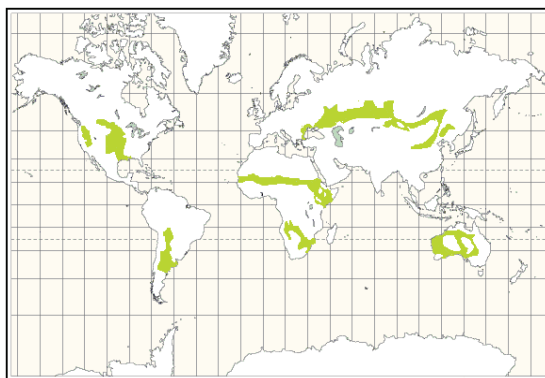


図 3: 草原の分布



写真 2: 砂丘の上に成立する灌木林
(モンゴル国・フスタイ国立公園)

河川水

降雨が地表を流れると河川となって遠くまで速やかに移動するので、降雨が全くない砂漠の中でも、河川水を利用すれば植物群落が成立しうる。中央アジアでは降雨だけでなく、氷河の融解水を起源とする河川も多く、温暖化によって流量の増加も認められる。アクセスがしやすい河川水は乾燥地では貴重な水資源であり、乾燥地で最大の森林の一つはタクラマカン砂漠の中を流れるタリム川沿いに広がる大規模な胡楊 (*Populus euphratica*) の河畔林である。アメリカ南西部で年降雨量 50mm のナミブ砂漠を流れるホアルシブ川にはアカシア林が成立し、ゾウ、ライオン、キリンが生息している(水野, 2005)。河川水は比較的安定した水源ではあるが、この水資源をうまく利用できる植物はあまり多くない。そのため胡楊林はほぼ純林である。

河川流量にも年度による変化があり、季節による変化もある。ケニア国東部州キツイ県のティバ試験林の横を流れるティバ川も、雨季になって降雨が続くと勢いよく水が流れるが、乾季の間は枯れ川になってしまう(写真3)。こうなると河畔林といえども強い水ストレスを受けるが、その度に枯死しては、林分は維持できない。乾燥地で森林を形成する植物は総じて死ににくい特性を持っている。胡楊も死ににくい樹木である(Yoshikawa et al., 2007)。干ばつになると、樹冠の先端部分の葉が枯れて(先枯れ)、供給される水量で維持できる量まで葉量が減少し、その光合成で干ばつをやり過ごすことができる(写真4)。雨が降れば再び枝を伸ばして葉を増やすが、せいぜいもとの大きさまで復帰するのが関の山という状況が続くので、樹高はある高さの間を行ったり来たりする。しかし、幹の太さは徐々に増加するので、太くて低いずんぐりした樹形になってくる。そのため樹高が 9m で胸高直径は 40cm 以上になっている(Monda et al. 2008)。乾燥・半乾燥地の植林樹種としては、スギやヒノキのように水ストレスに対して潔く枯れてしまう樹種よりも、胡楊やビャクシンのように個体サイズ(=葉量)を調整してしぶとく生き残ることができる樹種が適している。



写真 3: 乾季と雨季のティバ試験林の横を流れるティバ川



写真 4: 先枯れを起こしている胡楊

地下水

降雨が地中に浸透し、地下に貯まるか、飽和状態（土壌間隙が全て水で満たされている状態）で地中をゆっくりと移動するのが地下水である。蒸発の影響を受けないので、水量は安定している。ただし、地中にいる時間が長くなるほど塩類濃度が高くなって、水質は低下する。

乾燥地で、地中深くに賦存するこの水源を利用する植物を地下水植物（phreatophyte）と総称する（ゲーディー・ウイルキンソン, 1987）。ナツメヤシが有名で（写真5）、周りに何もない乾燥地の中に巨大な樹冠を維持し、雄々しく立っているのは、砂漠の過酷な環境に耐えて生きる植物という印象を強く与えるものである。砂漠化防止のために大規模に植林されているメスキートも典型的な地下水植物である（第3章, 第1節 14を参照）。

これまでで最も深くまで延びていた根はカラハリ砂漠で井戸掘りの際に認められた 68m である（Canadell et al. 1996）。雨が浸透してこないほど深くまで乾燥した土壌中を根が伸びていくには、特別な戦略が必要である。特に発芽直後の小型の苗木の時代にいかに速やかに地下水にアクセスできるかが、個体の生残を大きく左右する。つまり、発芽を可能とした雨水がなくなる前に地下水面まで急速に根を伸ばすことができるかどうかは活着の鍵となる。

根による土壌水分の再配分（Hydraulic redistribution : HR）という現象が知られている（Richards and Caldwell, 1987）。様々な生育環境において、様々な分類群、生活形の植物で認められる現象である（Leffler et al., 2005）。すなわち、含水率の異なる土壌の間を根を介して水が移動するもので、土壌中の水ポテンシャル勾配に沿った受



写真 5: 地下水植物のナツメヤシ

動的な水分移動である。たとえば、水平根と垂直根の両方を持っている植物の場合、表層土壌が雨で湿り、深層の土壌が乾いていると、蒸散が起こらない夜間に、表層土壌から吸水した水が深層の乾いた土壌中に排出される（図4）。1回の降雨だけで数 10 メートルも下方の地下水面まで根を伸ばすことはできなくても、こうしてわずかな雨水を地表から地中へ移送して、排他的に利用しながら、徐々に深くまで垂直根を伸ばしていくと、ついには垂直根を地下水まで伸ばすことができる。つまり、HR がなければ地下水植物は成立しない（Burgess et al. 1998）。また、地表の雨水を夜間に深層に移送することで、日中に蒸発で失われる水が減るので、雨水の利用効率が高くなる（Caldwell et al. 1998; Oliveira, et al. 2005）。

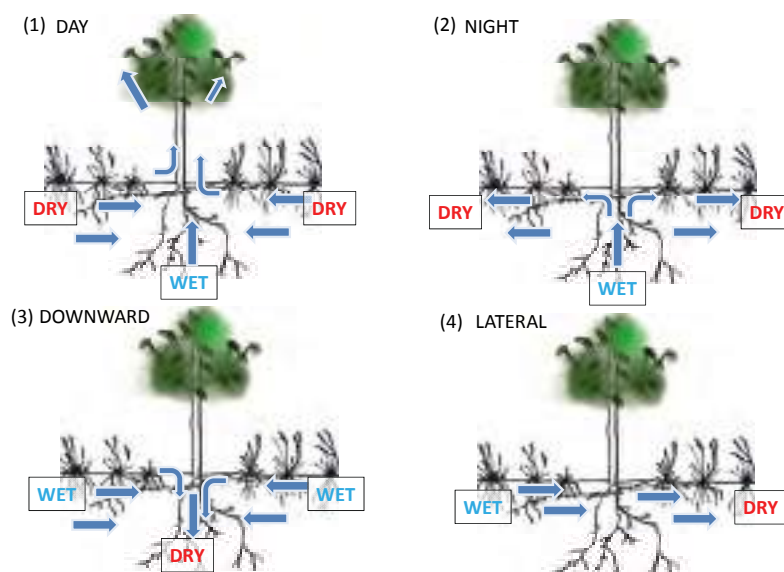


図 4:HR による水移動の模式図

(1) Water transfer in the daytime, (2) HL in the nighttime, (3) transfer to downward – HD, (4) Horizontal transfer – HR

しかし、HR は水ポテンシャル勾配による受動的な水分移動であるから、HR を示す植物にいつも有利に働くとは限らない。雨が降らないために表層が乾いてくると、地下水植物は夜間に地下水を表層土壌の中へ排出し始める。周りに浅根性の植物がなければ、日中の蒸散にこの表層の土壌水を全て利用できるが、周りの浅根性の草本植物もそのおこぼれに与ることができる (Ludwig et al. 2003)。

アグロフォレストリーに適した樹木の選定にこの HR 能の有無は重要な要因であるが、HR 能の定量的な評価が進んでいないため (Meinzer et al. 2004)、HR 能を生かす育林法の開発はまだ始まっていない。また、樹木が作物の生育におよぼす影響も、土壌水分の移送の面から明らかにしていかなければならない。

霧と露

霧の発生の多くは海流や地形で決まるので、高頻度に霧が発生する場所は限られている。しかし、発生頻度は降雨よりも安定していると言われており、霧が良く発生するナミブ砂漠や乾燥地の北米バハカリフォルニア半島では霧に依存した森林 (fog forest) が成立する (Kimura, 2005)。アラビア半島の紅海側でも標高 2000m 以上の山頂部分で頻繁に発生する霧に依存した森林が広がっている (写真6)。霧を確実にトラップするために、枯れ枝の上にサルオガセのような蘚苔類を持っている場合もある (写真7)。樹上でトラップされた水はクチクラ層を通して直接吸収されるか、水滴となって地上に落ちて根から吸収される。大型樹木が多量の霧をトラップし、草本がそのおこぼれに与る。

結露も、霧と同様に、供給量が比較的安定しているので、結露水を有効に利用しようとする戦略も有力な手段である。葉上に結露した場合はそのまま植物体に取り込まれる分も多くなるが (写真8)、地表に水滴となって落ちたり、地表に直接結露したりすることもある。そうした水は日の

出とともに蒸発で急速に失われるが、その前に吸水することができれば、有効な水源となる。前日の蒸散で生じた植物体内の水欠差（必要量の水が不足している状態）が翌朝になっても回復していない場合は、日の出前に、地表に結露した水を吸収することができる。そのため、砂丘上には地表を這うように広がる根がよく見られる(写真9)。

しかし、霧や露で供給される水の量を定量することは簡単ではないので、その重要性についての評価が十分に行われているとは言えない。今後、乾燥地の有力な水源のひとつとして、霧や露の利用を促進できる森林造成法の開発も望まれる。



写真 6：霧が発生するビャクシン林(サウジアラビア王国)



写真 7：ビャクシンの枝に着生したサルオガセ



写真 8：臭柏の葉に結露した水(中国内蒙古自治区)



写真 9：地表を伸びる根(中国内蒙古自治区)

引用文献

- Burgess, S.S.O., Adams, M.A., Turner, N.C. and Ward, B.(1998)Characterisation of hydrogen isotope profiles in an agroforestry system: implication for tracing water sources of trees.. Agric. Water Manage., 45, : 229-311.
- Caldwell, M.M., Dawson, T.E. & Richards, J.H.(1998)Hydraulic lift: consequences of water ef ux from the roots of plants. Oecologia, 113, : 151-161.
- Canadell, J., Jackson, R. B., Ehleringer, J. R., Mooney, H. A., Sala, O.E. and Schulze, E. D.(1996)Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale.. Oecologia, 108, : 13.
- De Pauw, E.F.(2008)Management of dryland and desert areas. in "Land use management"ed.Verheye, H., UNESCO-EOLSS, 4, : 1-9.
- Kimura, K.(2005)Origin of the fog in Namib desert in dry season.. African Stud. Monographs, 30, : 57-56.
- Leffler, A.J., Peek, M.S., Ryel, R.J., Ivans, C.Y. and Caldwell, M.M.(2005)Hydraulic redistribution through the root systems of senesced plants.. Ecology, 86, : 633-642.
- Ludwig, F., Dawson, T.E., Kroon, H., Berendse, F. & Prins, H.H.T.(2003)Hydraulic lift in *Acacia tortilis* trees on an East African savanna. Oecologia, 134, : 293-300.
- Meinzer, F.C., Brooks, J. R., Bucci, S., Goldstein, G., Scholz, F. G. and Warren, J. M.(2004)Converging patterns of uptake and hydraulic redistribution of soil water in contrasting woody vegetation types.. Tree physiology, 24, : 919-928.
- Monda, Y., Miki, N. & Yoshikawa, K. : Stand structure and regeneration of *Populus euphratica* forest in the lower reaches of the Heihe River, NW China. Landscape Ecol Eng 4, 115-124, 2008
- Oliveira, R.S., Dawson, T.E.. and Burgess, S.S.O.(2005)Evidence for direct water absorption by the shoot of the desiccation-tolerant plant *Vellozia flavicans* in the savannas of central Brazil.. Journal of Tropical Ecology, 21, : 585-588.
- Richards, J. H. and Caldwell, M. M.(1987)Hydraulic lift : Substantral nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. Oecologia, 73, 0: 486-489.
- UNEP(1997)Atlas of Desertification (2nd ed.). Arnold, , : pp.182.
- Wei, J., Liu, G., Shan, L., Zhang, X. and Li, S.(2011)Response of root distribution of *Haloxylon ammodendron* seedlings to different irrigation amount in the hinterland of Taklimakan desert. Advances in Biomedical Engineering, 1, : 49-55.
- Yoshikawa, K., Abbasi, T., Saito, M., Abdulrahman, R., Al Harbi, R. & Yamamoto, F. : Ecology of the juniper woodlands of the Asir Mountains The joint study project on the conservation of juniper woodlands in the Kingdom of Saudi Arabia final report , 69-113, 2007
- グーディー, A. ・ ウイルキンソン, J.(1987)砂漠の環境科学 (日比野雅俊訳) . 古今書院, , : 110 頁.
- 水野一晴(2005)アフリカ自然学. 古今書院, , : 257 頁.

第3節 乾燥地・半乾燥地での植林にかかる社会・経済的背景と取組方向

1. 森林・樹林地の管理と利用の特徴

乾燥地・半乾燥地の社会的・経済的な条件として

ア 農業生産力が低く、自家消費用の食糧に確保にも不安があること

イ 現金収入の機会に乏しいこと

ウ 道路、電気等のインフラが未整備であること

があげられる。

このような状況のなかで、森林・樹林地の利用・管理の形態は、国ごとに状況は異なるが、概括的には中央政府・地方政府によるもの、地元住民の共同利用によるもの、農家・企業等によるものと3つに大きく区分される。

ア 中央政府・地方政府によるもの

森林・樹林地の経営管理目的が明確であり、このなかには国立公園、森林保護区、産業用人工林が含まれる。それぞれの経営管理目的に応じた森林・樹林地の取扱いを行うための努力がなされているが、人材・資金・資機材の不足により、十分な管理体制ができていない場合も多い。また、住民の違法伐採、違法焼畑等に悩まされているのが一般的である。

イ 地元住民の共同利用によるもの

地元住民による放牧、薪炭材採取等の共同利用が慣行的に行われており、これらの土地の管理主体が不明確なため、収奪的な土地利用が一般的であり、森林・樹林地は劣化・減少が進んでいる。特に、乾燥地・半乾燥地においては、自然回復力に乏しく、人口増大を背景とする利用圧力が高いため、荒廃地化する可能性が高い。

ウ 農家・企業等によるもの

森林・樹林地の経営管理を農家・企業等それぞれが行い、その成果（収入）も彼らに帰属するため、比較的良好な経営管理が行われる場合が多い。

しかしながら、乾燥地・半乾燥地においては、森林・樹林地の生育は、樹木の生育に必要な水の確保が難しく、乾燥地・半乾燥地を生活の拠点としている農家を除いて、森林・樹林地の育成を積極的に展開しようとする主体はほとんどない。

（注） 森林（Forest）・樹林地（Wood land）の定義に関しては、各国ごとに定義があり、例えば、樹高〇m以上、樹冠粗密度〇%以上が森林で、それ以下の場合は、樹林地とするなどがあり、樹木が一定の基準以上生育している場合を「森林」、それに達しない場合を「樹林地」としている。アグロフォレストリーを実施している箇所は、森林又は樹林地としては統計上はあらわれてこない場合が多い。

2. 乾燥地・半乾燥地における植林の担い手と対象地

森林・樹林地は、人間の生活に必要な木材、薪等を供給するばかりでなく、土壌保全、炭素蓄

積など環境保全に必要な多面的な役割を果たしている。しかしながら、乾燥地・半乾燥地においては、自然条件、社会経済的条件ともに厳しく、植林により森林、樹林地の資源の充実を図ることが技術的に難しく、財政基盤の弱い中央政府・地方政府や、企業による植林投資を期待することは現実的に困難である。

従って、乾燥地・半乾燥地における植林を推進する主体としては、乾燥地・半乾燥地に居住する住民（大半が農民）が中心とならざるを得ない。しかしながら、住民にとっても、食糧生産のための土地利用を優先させる傾向にあり、植林の推進は、林産物の販売により現金収入が見込まれる場合、著しい乾季等の自然災害に対応するリスク分散（農業生産が激減した場合に備えた樹木の育成）として農民が認識している場合、樹木と農作物を同時に育成するアグロフォレストリーを除き、積極的な取組はなされないのが一般的である。

乾燥地・半乾燥地における植林の対象地としては、①共同利用地、②個人（保）有地の2つが考えられるが、前者については、放牧による家畜の食害、山火事等のため、植栽木の維持管理は極めて困難である。共同利用地の管理主体や利用ルールを明確化し、その遵守を徹底することが必要であるが、現実的にはほとんど困難である。したがって、個人（保）有地への植林が植栽木の育成という観点からは最も可能性が高く、当面、乾燥地・半乾燥地での正確な植林に関する技術、知識の普及と住民に対する植林へのインセンティブの付与を如何に図っていくかということが取り組むべき課題となる。

3. 植林と水の関係に関する住民の意識と正確な知識の普及

2010年に行われた本事業における住民（農民）へのアンケート調査（ケニア・キツイ県の90世帯を対象）結果によれば、住民の大部分は樹木が集水域に対し何らかの影響を有していると理解し、その内容は樹木が集水域に肯定的な影響を与えると認識していた。その内容は樹木が雨を引き寄せ、地下水位を上昇させ、土壌浸食を防止するというものであるが、樹種別にみると、アカシア類、ランネア (*Lannea*)、フィカス (*Ficus*) などの郷土樹種やハゴロモノキ (*Grevillea robusta*)、ジャカランダ (*Jacaranda mimosifolia*)、タマリンド (*Tamarindus Indica*) が肯定的影響を与えるとされた一方で、集水域に悪影響を与える樹種としてはユーカリ類があげられた。

また、2004年に行われた別の調査（ケニア国キツイ県・ムベエレ県の32農家を対象）では、メリア・フォルケンシー (*Melia volkensii*) と農作物の競合に関して農民の意識調査が行われているが、「競合しない」「枝打ちすれば競合しない」と約7割の農家が回答している。

このように、樹木と水の関係に関しては、農民が正確な知識を持たず、ユーカリを除き、楽観的に考えている状況にあり、正確な情報と適切な知識を普及させていく必要があると考えられる。

第1節 植栽樹種の選択

どのような地域においても、植林を成功させるためには地域の自然環境に適した樹種が選択されること（適地適木）が必要不可欠であり、熱帯半乾燥地域においては耐乾性の高い樹種が適切に選択されるか否かがその成功の鍵を握っている。

また、政府の政策により特別に予算化された場合や外国からの支援が入った場合を除き、植林の対象となる個所は地域に居住する人々の個人有地であり、収益性の高さが樹種選択にあたって優先事項となる。その他、収穫までの期間、生産物の需要、投資可能レベル、市場へのアクセス、資材（種子・苗木等）の調達可能性や慣習的利用の有無等も選択にあたっての重要な要素となる。

特に、熱帯半乾燥地のように環境条件が厳しく、また住民の投資可能レベルも高くない地域では、多様な用途を持ったマルチパーパスツリーが植栽対象樹種として重要な役割を担っている。また、作物との水の競合の少ない樹種や、管理手法によって競合を少なくすることが可能な樹種を積極的に採り入れる必要がある。作物等との水の競合を極力避けるには、それぞれの植物がどのような生理・生態的特性を持っているかを知ることが重要である。また、それぞれの植物をどのように空間的に配置するかを考慮することも重要である。

樹種選択にあたっては、伝統的に切り残し保残されている樹種に着目することも有効である。ケニア国東部州キツイ県の Mutomo 地区で行った調査では、*Melia volkensii* や *Azadirachta indica*（ニーム；材木、薬等）、*Tamarindus indica*（タマリンド；果実、葉（飼料・食用）、材木等）、*Mangifera indica*（マンゴー；果実）、*Annona senegalensis*（アフリカン・カスタードアップル；果実）等の植栽木に加え、*Acacia tortilis*（飼料、蜜源等）、*Sterculia* spp.（繊維、構造材）、*Adansonia digitata*（バオバブ；果実、繊維等）、*Commiphora* spp.（構造材）、*Combretum* spp.（薪炭）、*Berchemia discolor*（果実）等が切られずに残されており、住民にとって利用価値の高いことを示していた。

さらに、近年資源量が減少している樹種についても対象樹種として考慮されるべきである。特に、燃料供給のインフラが未整備な地域においては薪炭が燃料源としての重要な役割を担っており、人口の増加や長期にわたる収奪的収穫により、その資源量が極度に減少・枯渇してきている事例が多く見られる。これらの資源を自家生産し持続可能な経営を行うことにより、地域の環境調節を担っている保全されるべき森林への圧力を軽減することとなり、地域環境の保全ならびに生物多様性の保全にも寄与することが期待できる。

巻末の表に Word Agroforestry Centre が発行している Useful trees and shrubs for Kenya から耐乾性の高いとされる樹種を抜き出し、それを基にして、同じく World Agroforestry Centre が HP 上で公開している Agroforestry Database 等からの情報を加えて整理した。

また、それらの樹種のうち、熱帯半乾燥地域においてこれまで積極的に植栽が実施されている樹種を 16 種選び出し、その生理・生態的特性や育成管理方法等について第2節で詳述した。

ケニアの半乾燥地域で住民が好んで植栽してきた樹種



写真 10: *Eucalyptus* sp.



写真 11: *Grevillea robusta*



写真 12: *Melia volkensii*

ケニアの半乾燥地域で住民が好んで保残, あるいは古くから植栽してきた樹種



写真 13: *Acacia tortilis*



写真 14: *Berchemia discolor*



写真 15: *Tamarindus indica* (植栽)



写真 16: *Combretum* sp.



写真 17: *Adansonia digitata*



写真 18: *Sterculia africana*

代替燃料の供給体制が未整備な地域では薪炭は貴重なエネルギー源になっている



写真 19: 販売用の製炭



写真 20: 家庭内消費のための薪の採取

第2節 耐乾性の高い樹種

1) *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Delile (subsp. *nilotica*) アラビアゴムモドキ

(分類) マメ科 (Fabaceae) ネムノキ亜科 (Mimosoideae)

(地方名) 英語: Arabic gum tree, prickly acacia, Egyptian thorn, Egyptian mimosa, babul acacia

ヒンディー語: babul, dauria, babla, kauria, godi, telia, kikar

アフリカ地方: Ndebele (isanqawe, umtshanga); Somali(tuger); Swahili (mgunga)

形態と分布

通常は中くらいのサイズの常緑樹であるが、樹高は 25m に達するものもある。一般に枝下高は低く、幹は円柱形、樹皮は厚い。9 亜種が知られ、3 亜種がインド亜大陸に 6 亜種がアフリカに分布する(1)。薬用、飼料木や薪炭材として、中国、オーストラリア北東部、インド洋諸島、米国、南米等に広く移入されている。

生育環境条件

標高: 0–1,340m (1)

年降水量: 200–1,270mm (1)

生育土壌(自然分布): 様々な土壌条件下で生育でき、沖積土壌、黒色綿花土壌 (black cotton soil)、重粘度質土壌で繁茂し、貧栄養土にも耐えることができる。

水分条件: 乾燥耐性を持つ。亜種 *nilotica* は、長期的な乾燥に続いて定期的な洪水に見舞われる土地でも生育可能である (2)。

植栽適地: 光の要求度が高い樹種である。定期的な浸水に見舞われる溪谷地の沖積土壌下で最高の生長を示す (1)。しかし、土壌 pH が 5-9 の範囲の重粘度質土壌下でも良好な生長を示す (2)。

根系: 乾いた土壌で深く広範囲に根系を発達させる。直根がまず最初に垂直に発達し、その後水平方向に根を伸ばす。コンパクトではあるが充実した根系を形成する。なお、浸水域では根は横方向に広く発達する (3)。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

川辺に生じる亜種はほとんど常緑であるが、一般に乾季の間は落葉する。花は明るい黄色で、グローブの形をした頭状花を生じる。花は雨季の始めに開花し、甘い芳香がある。豊富な花をつけ、ひとシーズンに何度も咲かすことができる。莢果になる花は、往々にして僅か 0.1% である。栄養分に富んだ莢果は成熟するまで種子を保持し、やがて動物によって散布される (2)。

種子の採取は落下した莢から種子 (豆) を取り出すが、虫の食害を受けやすいので、採取後なるべく早く莢を壊して種子を抜き取る。貯蔵については、種子の寿命は長いが害虫には注意する必要がある。

水利用の生理生態

Acacia nilotica, *Albizia procera*, *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* の 4 樹種を温室

でポット育成して、一年生の水消費量を比較した結果、*A. nilotica* が 58.30 $\frac{\text{g}}{\text{L}}$, *A. procera* が 82.84 $\frac{\text{g}}{\text{L}}$, *A. indica* が 51.57 $\frac{\text{g}}{\text{L}}$, *E. camaldulensis* が 149 $\frac{\text{g}}{\text{L}}$ で、*E. camaldulensis* が突出して多く、本種の水消費量は *A. indica* に次いで少なかった。水利用効率 (WUE) は、それぞれ 0.32 g/L, 0.48 g/L, 0.16 g/L and 0.77 g/L で、本種は単位水消費量当たりの乾物生産量も *A. indica* に次いで低かった。本種は水消費量が少ないが、バイオマス生産量もかなり低い (*E. camaldulensis* の半分以下) という特徴が見られる (6)。

一方、インドにおいて、高アルカリ土壌 (PF>10) における 30 種以上の樹木の植栽試験、また浸水地の塩性土壌への樹木 30 種の植栽試験、さらに少雨地帯の高石灰質土壌における樹木 30 種の塩水灌漑試験においても、本種が有望な樹種のひとつとして選抜されている (7)。これらの結果より、本種が水分要求の少ない耐塩性に優れた樹種であり、塩過剰土壌や塩水灌漑の植林にも耐え得ることが示唆される。

利用と生産物 (1, 2)

食 用：柔らかい莢と若枝は野菜に、煎ったタネの核はスーダンでは調味料にされる。

飼 料：葉には粗タンパク質含量が 14-20%，莢には 11-16 % 含まれ、とくにスーダンではラクダ、羊、山羊の乳を良くすると言われる。葉や莢はインドでは山羊や羊の主食、タネは牛の貴重な食料である。

燃 料：辺材のカロリー値は 4500 kcal/kg、一方心材は 4950 kcal/kg、機関車や、船の蒸気、小規模工業に用いた。インドとパキスタンの川辺では、15-20 年回帰の薪炭林経営が行われている。

材 木：レジンを多く含むことから虫や水分の耐久性が高いため、ボート、ポスト、建築、水パイプ、農具、キャビネット、車輪等に使用。スーダンでは、20-30 年回帰の施業でとくに枕木に適したシロアリ耐性のある材木を生産している。

その他に、タンニン・染料（内樹皮は 18-23% のタンニンを含む）としての利用や薬用に多くの効能が知られている。

植栽と下刈り

本種は軽い霜にのみ耐えるが、乾燥と高温には著しく耐性がある。また、塩性土壌にも耐える。基本亜種の *nilotica* はあまり萌芽しないが、亜種によってはよく萌芽し、枝や幹の挿し木 (truncheons)、根萌芽、挿し穂から繁殖することができる (1)。また、いくつかの亜種は侵入種として知られ、外来種に適した環境では侵入種として繁茂することがある。本種は、苗木による植栽のほか、直播きが可能である。苗木の育成にあたっては、旺盛な主根の成長を妨げないように、深いポリエチレンのチューブ (20 x 7 cm) が適しており、頻繁な根切りが推奨される。苗畑で育成された苗木は、通常、6 ヶ月で山出しされるが、ときに最大 1 年間据え置きされることがある。苗木は耐陰性がなく、活着は立地の影響を受けやすい (2)。とくに、若い実生は、光要求度が強いといわれ、下刈りは頻繁におこなう必要がある (1)。

アグロフォレストリー

インド中央平原の亜種 *A. nilotica* ssp. *indica* は農地に自然に生え、重要なアグロフォレストリー

ー・システムを形づくっている。このアカシアの樹冠下では、穀類の収量は光合成速度や生長の低下により減少し、大きな樹冠の下（光透過率 44%）で最大 30%，小さな木の下（光透過率 62%）で 12%程度の減収になったという報告がある (4)。一方、12 年のローテーションでアカシアを伐採した後、穀類の収量は 126%に増加したという。なお、ナイジェリアの半乾燥地で *A. nilotica* ssp. *nilotica* とモロコシを混植したところ、モロコシの収量は著しく減少したと報告されている (5)。これらの結果は、上木の林冠が開けてより多くの受光量を受けられるならば、作物は生産性を高めるためにより多くの養分を有効に利用できることを示唆している。

また、ナイジェリアの半乾燥地で *A. nilotica* ssp. *nilotica* とモロコシを混植した結果、モロコシの収量は大きく減少したことが報告されている (1)。

用材生産の人工林管理

エジプトの時代から、ナイル峡谷の森から大径木が伐られ利用されてきた。辺材は黄白色，心材は赤褐色，堅く，重く，耐久性があり，造作は困難であるが，磨くと艶を帯びる。

材はレジンが多く含有し虫や水への耐久性が高いため，多くの用途に用いられてきたが，スーダンでは，20-30 年のローテーションで，とくに枕木に適したシロアリ耐性のある材木を生産している (1)。一方，パキスタンのシンド州やパンジャブ州の灌漑された植林地では，トレンチの上に 2 x 3 m の間隔で 10-15 個の種子をまとめて点状に蒔き，3-4 ヶ月後に 3-4 本に間引いた後，5 年間隔で間伐，20-25 年ローテーションの施業がおこなわれている報告がある。パキスタンのタール砂漠（年降水量 250 mm）では，10 日間隔の灌漑で期待できる成長が得られ，立地により成長速度はかなり異なるが，最大の平均年成長量 20 年生で 13 m³/ha，30 年生で 10.5 m³/ha が報告されている (2)。

参考文献

- (1) Tree Functional and Ecological Database: Tree species Acacia (by Harja, D., Rahayu, Karlan, S.N.), World Agroforestry Centre.
http://worldagroforestrycentre.org/regions/southeast_asia/resources/db/AFTdatabase
- (2) Royal Botanic Gardens, Kew. *Acacia nilotica* <http://www.kew.org/plants-fungi/Acacia-nilotica.htm>
- (3) Invasive Species Compendium (Copyright © 2013 CABI.)
<http://www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=2342&loadmodule=datasheet&page=481&site=144>
- (4) Pandey, C.B., Singh, A.D. and Sharma, D.K. (2000) Soil properties under *Acacia nilotica* trees in a traditional agroforestry system in central India. *Agroforestry Systems* 49: 53-61
- (5) Pandey C.B. and D.K. Sharma, D.K. (2005) Ecology of *Acacia nilotica* based traditional agroforestry system in Central India. *Bull. NIE*, 15: 109-11
- (6) Zaid, D.M., F-UR-R. Shah and A. Majeed (2010) Planting *Eucalyptus camaldulensis* in Arid Environment - Is It Useful Species under Water Deficit System? *Pak. J. Bot.*, 42(3): 1733-1744
- (7) Dagar, J.C. and O.S. Tomar (2005) Utilization of Salt Affected Soils & Poor Quality Waters for Sustainable Biosaline Agriculture in Arid and Semiarid Regions of India. 12th ISCO Conference. 340-347.

2) *Acacia senegal* (L.) Willd. アラビアゴムノキ

(分 類) マメ科 (Fabaceae) ネムノキ亜科 (Mimosoideae)

(地方名) 英語 : Sudan Gum Arabic

アフリカ地方 : カンバ語 Mung'ole, ボラン語 Idado, トウルカナ語 Ekonait

ポコット語 Chemengalyon, マサイ語 Enderkesi

形態と分布

樹高は 1.2～12m 程度になる (2, 11)。成長は遅い。分枝が多く、平らな樹冠を形成する。枝には、かぎ形の棘が 3 列並んでいる。真ん中のかぎが下向きに、側面の 2 つは上向きに曲がっている。樹皮は薄く、剥皮しやすく、黄色がかった茶色または灰茶色。葉は 8～18 組の複葉で、とても小さい。

熱帯アフリカの西はセネガルから北東のエチオピアとソマリア、南はナタルまで広範囲に広がっている。また、インドにも自生している。灌木林の構成樹種である。

生育環境条件

標 高 : 100－1,700m (1)

年降水量 : 300－450mm (1)

生育土壌 (自然分布) : 粗粒の深い砂質土壌から乾性の岩石土、弱酸性～適度にアルカリ性の土壌に生育する (1)。

水分条件 : 乾燥と高温に耐性があり (6), 季節的な氾濫には耐える (4) が、冠水には弱い (1)。

植栽適地 : 主に pH 5-8 の砂質土壌を好むが、粘土質の綿花土壌 (cotton soil) でもよく育ち、耐陰性は低い (1,6)。アラビアゴムの生産には、貧栄養の土壌下でよりストレスを受けた樹木の方が良い (1)。

根 系 : 根は深く、利用できる水分が著しく深いときは、主根は深さ 30m に達する (6)。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

花はピンク色または白色またはクリーム色。一般に、葉が現れる雨季の初めに開花する。ケニアでは一般的に開花は 3 月～5 月であるが、ケニア国東部州キツイ県のティバ試験林では、1～2 月と 6～9 月の 2 回の乾季に対して、2～3 月と 7～8 月に開花のピークが見られ、乾燥の進行に伴い開花が起こる。莢果は長さ 10cm の灰茶色または赤茶色。真っ直ぐで、両端は先が細い。中には緑がかった茶色の種子が 3～5 個入っている。ティバ試験林では、結実は 7, 8 月にやや多くなっていたが、2～3 月にはあまり見られなかった。種子は薄くて平ら。色はオリーブブラウン。直径 8～12mm。10,000-30,000 粒/kg。乾季に 4～6 ヶ月かかって成熟する。ケニアでは 7 月～9 月に収穫できる。

ティバ試験林での降雨量は 10 月に増加し、この降雨の後の 12～1 月と次の降雨の後の 3～4 月に展葉のピークが見られる。気温がやや高くなる時期と展葉のピーク時またはピークの少し前とが重なり、気温も展葉を引き起こす要因となっている。紅葉は 12 月の末から徐々に始まり、1～2 月にはピークになった。降雨の減少に伴う乾燥が紅葉の要因の 1 つである。落葉も 1～2 月がピーク

クとなるが、6～9月の乾季の落葉量は多くない。着葉期間は年に2回で、12月と3～4月の植被率は概ね60～80%となる。12月の植被率の上昇は、10月の降雨量の上昇にともなう展葉による。乾季の訪れと共に速やかに落葉が起こるため、1～2月、5～11月の植被率は概ね40～55%となり、1年のうち半分は樹冠が50%程度開いている。

ティバ試験林では、1年のうち10月～12月初旬、12月下旬～1月中旬の2回、肥大成長をすることが明らかとなった。11～12月の展葉ピーク時期には、展葉に伴い樹木の肥大成長も起こるが、3～4月の展葉ピーク時期には、樹木の肥大成長はほとんど見られない。

水利用の生理生態

たまに來る適度な降雨が大量の天然更新を引き起こすことがある。このことは、水分を保持する能力がなさそうな砂質土壌における広い面積の一斉林の出現を説明することができる。本種は、沖積層の微細な物質が集まる低地の沖積土壌においても密な林分をつくる(4)。

(参考) *Acacia senegal* と *Melia volkensii* の比較

A.senegal の日中最大蒸散速度は、*M.volkensii* の1/2以下であった。なお、*M.volkensii* は、水ストレスを受けにくく、耐乾性が認められている樹種であり(*M.volkensii* の項を参照)、本種はさらに耐乾性が高いと思われる。

葉の水分特性のうち、耐乾性に大きな影響をおよぼす初発原形質分離点における葉の水ポテンシャルや細胞が十分に吸水した時の浸透ポテンシャル、細胞の体積弾性率に2種間で有意な違いは認められなかった。したがって、この2樹種は水ストレスに対して葉の吸水力の維持や細胞の膨圧の維持についての戦略がほとんど同じであると考えられる。一方、初発原形質分離点における相対含水率とアポプラストの水分量の割合が*A.senegal* で小さくなったことから、*M.volkensii* は*A.senegal* よりも高い含水率で初発原形質分離を起こすので、*A.senegal* は、*M.volkensii* よりも蒸散による失水は光合成活性に影響しにくいと考えられる(溝淵・吉川, 2013)。また、日中の水ポテンシャルと初発原形質分離点における葉の水ポテンシャルより、*A.senegal* も*M.volkensii* も、一日の中で起きる水ストレスに対しては十分な耐乾性を持つことが示唆された(大藪, 2012)。

両樹種とも落葉樹であり、ティバ試験林における年2回の乾季にも対応して、着葉と落葉がみられる(Broadhead, 2003; 藁科, 2012)。

利用と生産物 (1, 2)

堅い幹を持つので、薪や炭として利用されるほか、本種や同属近縁種の*Acacia seyal* などから分泌される樹脂のアラビアゴム(gum arabic)は、接着剤や食品安定剤、化粧品などに用いられる主要な林産物である。根粒菌と共生するため、スーダンでは古くから土地生産力の回復のために、作物とともに植えられてきた。若齢のうちは樹脂からアラビアゴムが採集され、ゴムの採取ができなくなってきた頃には土壌改良効果が表れ、最終的には燃料や飼料として用いられる(Gaafar et al, 2006)。

植栽と下刈り

(育苗) 種子は、日なたで重ならないように薄く広げて乾燥し、含水率を 10%以下にする必要がある。莢から取り出した種子は密封容器に入れ、気温 0℃以下で保存でき、数年間は生命力を失わない。通常は、播種後 10～20 日で発芽し、60～90%の発芽率を示す (14)。

下刈りは植栽後すぐに行い、植栽後 2 生育シーズンは継続する必要がある。苗木の生長はやや緩慢で、概して年 30～40cm の伸長成長であることから、家畜の食害から保護することが必須である (1)。人工林造成技術の改良を目的としてケニアで行われた JICA の技術協力プロジェクトでは、雨水の地表流下水量を抑制し、地中に浸透することによって土壌含水率を向上させて雨水を有効利用するマイクロキャッチメント法や、植栽木と雑草の水分を巡る競争を緩和するため、土壌水を消費する草を根こそぎ除草する中耕除草（潔癖除草）などが導入された (14, 8)。矢幡(2008)によると、マイクロキャッチメントの設置によって雨水の地表流下水量が抑制され土壌含水率が向上するが、W 字型よりも V 字型の方がエロージョンに強いという (9)。

用材生産の人工林管理

燃料材の生産においては、雨季に上木の樹冠を下から 50%まで枝打ちし萌芽作業と組み合わせる中林作業（coppice with standards）を用いることで、20 年のローテーションで伐採することができる。苗木の初期生長は緩やかで一般に 30-40 cm/年の伸長量である。回帰年の木材生産量は 120-190 m³/ha、年成長量 0.5-1.0 m³/ha が記録されている (1)。

ケニア国キツイ県のティバ試験林における密度試験の結果では、樹高がピークに達したと推定される 14 年生までは、密度の差が樹高生長量に与える影響は認められなかった。15 年生に達した時、5m x 5m 区の平均樹高 (5.5m) は、1m x 1m 区での平均樹高 (7m) に対し有意に減少した。平均樹高が最大に達したのは 10 年生で、約 12m であった。林分総材積は密度区間で差は見られなかった。逆に、胸高断面積及び幹材積の平均値は 1m x 1m 区が他の密度区に比して有意に小さかった。材木生産の観点からは、5m x 5m における 15 年生の状態（大部分が胸高直径 11cm 以上）が最適であると判断された。

（参考）ティバ試験林における密度別植栽林の成長経過

1997 年 11 月に、ティバ試験林において、植栽間隔が 1.0m, 2.0m, 3.5m, 4.0m, 5.0m の密度試験林が造成された。13 年目には林冠閉鎖が確認され、今後も個体競争が激しくなることが予想された。13 年目には、1.0m 区で生存率は 84%, 14 年目には 72%まで低下したが、他の密度区は 90%近い値を示した。樹高は植栽密度の影響を受けずに推移し、13 年目には 5.0m 区で低い結果となったが、14 年目にはその差はなくなっていた。15 年目(5.5m～7.0m)は、1.0m 区を除いた密度区で樹高の減少がみられ、5.0m 区が 1.0m 区よりも有意に低くなった。

植栽後 14 年目でやっと樹高成長が鈍化する兆しが見え始めた。1.0m 区では自己間引きによる個体数密度の減少が 12 年目辺りから始まり、その結果、平均樹高は順調に増加したが、他の密度区では、被圧木の先枯れにより平均樹高が減少した。一方で胸高断面積は密度の効果を示し、現在も 1.0m 区は他区より有意に小さく、植栽密度が低くなるほど、胸高断面積は大きくなる傾向が見られた。

平均個体幹材積は、胸高断面積と同様に、3.5m 区、4.0m 区、5.0m 区が 1.0m 区よりも有意に大

きく、植栽密度が低くなるほど胸高断面積は大きくなる傾向が見られた。特に 5.0m 区の胸高断面積は大きかった。いずれの年も 3.5m 区でやや 4.0m 区を上回っていた。

林分幹材積は、2 年目に 1.0m 区が突出して多かったものの、14 年目には 5.0m 区もほぼ同様の値を示していた。

今後は、これまでと同様に胸高断面積が密度の効果を示しながら成長するのであれば、胸高断面積、個体幹材積は高密度区で小さいまま推移すると予想される。林分幹材積は、どの年においても、5.0m 区を除いては高密度区ほど林分幹材積が大きくなっていた。林分幹材積は、高密度区で値が大きいという理論的に予想される結果と同じであった。

生長量の評価を行うと、5.0m 区ではやや樹高は低いものの胸高断面積が最も大きく、15 年目で、胸高直径 11cm 前後（最小は 8.5cm）の大きな材が得られ、林分幹材積でも 1.0m 区とほぼ同じで、多くの収量が見込めることが明らかとなった。しかし多くの場合、木材ではなく薪炭材として利用されるために、多くの材は利用時に小さく分割しなければならない。よって、1.0m 区では小さな径の材が得られるため、分割の手間が省けるが、多くの苗が必要なため苗木生産や植栽にコストがかかる。よって、生産者がコストと地域での薪炭利用の現状を良く検討した上で、各地域で適した植栽密度を選ぶことが必要である。



写真 21: *Acacia senegal* の葉序



写真 22: *A. senegal* と Green gram との間作



写真 23: *A. senegal* の密度試験地
(ケニア国キツイ県のティバ試験地)

参考文献

- (1) Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. and Simons, A. (2009) *Melia volkensii*. In "Agroforestry Database: a tree reference and selection guide", World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=1142>
- (2) Beentje, H. J. (1994) *Kenya Trees, Shrubs and Lianas*. National Museums of Kenya, Nairobi, Kenya, 722pp.
- (3) Milimo, P. B.; Dick, J. McP.; Munro, R. C. (1994) Domestication of trees in semi-arid East Africa: the current situation. In: Leakey, R. R. B.; Newton, A. C., (eds.) *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. London, HMSO, p.210-219. (ITE Symposium, 29).
- (4) Malagnoux, M., E.H. Sène and N. Atzmon 2007 *Forests, trees and water in arid lands: a delicate balance*. Unasylva 229 (Vol. 58)
- (5) Githaea, E. W., Gacheneb, C. K. K., Njokab, J. T. and Omondic S. F. (2013) Nitrogen Fixation by Natural Populations of *Acacia Senegal* in the Drylands of Kenya

- (6) Royal Botanic Gardens, Kew. *Acacia senegal* (gum arabic) <http://www.kew.org/plants-fungi/Acacia-senegal.htm>
- (7) Eunice W. Githae, Charles K. K. Gachene and Jesse T. Njoka (2011) Soil physicochemical properties under *Acacia senegal* varieties in the dryland areas of Kenya. *African Journal of Plant Science* Vol. 5: 475-482
- (8) 矢幡久 (2001) ケニア半乾燥地社会林業普及モデル開発計画。短期専門家報告書, 41 頁。
- (9) 矢幡久 (2008) 熱帯林の保全と造成—木作りは人作り・国作り—。熱帯農業研究 1 (1), 25 頁。
- (10) Broadhead, J.S., Black, C.R. and Ong, C.K. (2003) Tree leafing phenology and crop productivity in semi-arid agroforestry systems in Kenya. *Agroforestry Systems*, 58, 2:137-148.
- (11) Coe, M., Beentje, H. (1991) *A Field Guide to the Acacias of Kenya*, Oxford University Press, New York, 148pp
- (12) Dorthe Jøker (2000), *Acacia senegal* (L.) Willd., SEED LEAFLET, (5):2
- (13) Gaafar, A.M., Salih, A.A., Luukkanen, O., El Fadl, M.A. and Kaarakka, V. (2006) Improving the traditional *Acacia senegal*-crop system in Sudan: the effect of tree density on water use, gum production and crop yields. *Agroforestry Systems*, 66:1-1
- (14) KEFRI (2003) 技術開発成果集。TIVA PIROT FOREST- JICA-SOFEM プロジェクト, 32 頁。
- (15) 溝渕俊彰 (2013) ケニア半乾燥地における主要造林樹種の成長と生態生理特性。岡山大学修士論文 (未公刊)
- (16) Omondi, W., Maua, J.O and Gachathi, F.N. (2004) *Tree seed hand book of Kenya* (2nd Edition). Nairobi, Kenya. 284pp.
- (17) 藁科明日香 (2012) ケニア半乾燥地の植栽密度林の生態。岡山大学修士論文 (未公刊)
- (18) 大藪崇司・大久保智佳子・溝渕俊彰・吉川賢 (2012) 植栽密度の異なる *Melia*, *Acacia* 試験林におけるフェノロジーおよびリターフォール。「平成 24 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」(財団法人 国際緑化推進センター)
- (19) 吉川 賢・藁科明日香・溝渕俊彰・大藪崇司 (2010) ケニア国森林研究所(KEFRI)の Tiva 試験地(キツイ支所所管)における天然林および人工林(アカシア *Acacia senegal* とセンダン *Melia volkensii*) の林分構造と生育経過についての初年度調査結果。「平成 22 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」(財団法人 国際緑化推進センター)
- (20) 吉川 賢・藁科明日香・溝渕俊彰・大藪崇司 (2011) ケニア半乾燥地の植栽密度試験の生態・生理調査結果。「平成 23 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」(財団法人 国際緑化推進センター)
- (21) 吉川 賢・溝渕俊彰 (2012) ケニア半乾燥地域の密度試験地における生育木の生態・生理調査。「平成 23 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」(財団法人 国際緑化推進センター)

3) *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne サバンナアカシア

Vachellia tortilis (Forssk.) Galasso & Banf

(分類) マメ科 (Fabaceae) ネムノキ亜科 (Mimosoideae)

(地方名) 英語: umbrella thorn, ka ramoja

ヒンディー語: Israeli babool, アラビア語: sammar, samra, sayyal, seyyal

アフリカ地方: アフリカーンス haak-en-steek,, スワヒリ mgunga, mugumba

形態と分布

小型～中型の常緑樹あるいは灌木であり、最大 21m に達する。複数の枝が良く発達し、頂上が平らあるいは円形に展開した樹冠を形成する (1)。

アフリカではセネガルからソマリアや南アフリカ南部にかけてのサバンナ地域・乾燥地域に広範囲に自生し、アジアではイスラエル、ヨルダン、南アラビアに自生している。また、亜種の *raddiana* は、イスラエルからインドへの導入に成功している。一般的には純林または他種との混交で疎林、乾燥林を形成する。

生育環境条件

標高: 0–1,000m (1)

年降水量: 100–1,000mm (1)

生育土壌 (自然分布): アルカリ性土壌を好み、砂丘、砂壤土、礫の多い土壌、その他、排水性の良い土壌に生育する。pH7.95-8.30 の炭酸カルシウムを殆ど含まない明るい褐色の砂質土壌にもよく生育している (1)。

水分条件: 耐乾性が強く、強い塩類や季節的な冠水に耐えることができる (1)。

植栽適地: 一般に明るい純林または混交の乾燥林を形成する。深さ 25cm 以下の浅い土壌にもかなり良く生育する (1)。

根 系: 長い主根と数多くの側根が乾燥地における限られた水分を有効に利用することを可能にしている (1)。本種は地下 40 -50m あるいはそれ以上の帯水層を利用する地下水植物の振るまいをする (6)。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

雌雄同体であり、インドやナイジェリアでは 5-6 月にかけて開花し、7 月に結実する。

6kg の豆果からは平均 2.6kg の種子が採取できる。

花は白～淡黄白色で香りがある。小葉は無毛な状態から密集した軟毛に覆われた状態と変異に富み、長さ 1.25-3.75cm で、4-22 対で複葉を構成する。複葉は 2-10 対となって一式の葉を構成する。莢果は長さ 7-10cm 幅 6-10mm で、通常は螺旋状にねじれる。表面は皮革質で縦方向に縞模様が現れる。熟すると黄褐色になる。種子は緑褐色で長さ 3-6mm、幅 2-4mm。ケニアでは 2 月から 3 月にかけて開花し、昆虫によって授粉される。開花から種子の成熟までに約 6 ヶ月間を要する (1, 4)。

水利用の生理生態

通常は多数の側根に併せて長い主根を伸ばす木であるが、深度が 25cm 未満の浅い土壌でも良好な生育を示す。土壌深度の深い場所では主根の発達に 40-50m に達することがあり、その深度の帯水層の水分利用を可能とする(地下水植物) (6)。

Acacia xanthophloea との水分消費量の比較試験では、*A. xanthophloea* の 40kg d^{-1} に対し、 20kg d^{-1} と低い値を示したという報告がある (2)。

また、第 2 章第 2 節で紹介した土壌水分の再配分 (Hydraulic redistribution) の機能を持つ植物として知られている。

利用と生産物 (1, 2)

飼料木：葉と豆果は牛等の家畜のための重要な飼料供給源である。10 年生の *A. tortilis* は、1 年間に乾燥状態で約 4-6kg の葉、10-12kg の豆果の供給が可能となる。葉と豆果はミネラル分を豊富に含有するとともに、消化性の良いタンパク質を供給し高いエネルギー効果をもたらす。

薪炭材：8-18 年生から薪の採取が可能となり、1 本あたり 50kg を生産する。萌芽更新が可能で生長も早く、4,400kcal の高い発熱量と相まって、有望な薪炭原料として位置づけられている。

毒：軟体動物の駆除剤及び殺藻剤としての効果が高い。果実は住血吸虫症の中間宿主となるカタツムリ類の駆除剤として養魚池に散布される。

民間薬：乾燥して粉末状とした樹皮は外傷部の消毒剤として使用され、セネガルでは駆虫剤としても使用されている。ソマリアでは樹幹を喘息の治療に使用している。種子は下痢の治療薬として使用される。

タンニン：樹皮はタンニンを豊富に含んでいる。

その他：有枝植物であり、土地境界の明示や農地への家畜侵入防止のための境界線上の植栽に適している。

植栽と下刈り

排水性の良い砂質土壌が生育に適しており、条件が整えば、直播きによる植栽も可能である。本種は太く長い主根が発達し、初期生長段階では地上部に対して 10 倍の成長速度を示すとされる (6)。太く長い主根を発達させることから、ポット育苗等では移植時に主根が傷つけられて活着率や初期生長の不良を引き起こす危険性がある。ポット育苗をする場合は長いポットを用いることが重要である。一般にピット 60 cm^3 のコンテナで約 10 ヶ月育成し、苗高 0.5-1m に達したものを山出しすることが多い。深い砂質土壌のサイトが推奨される。灌木状の成長をするので、側根が横に広がるように植栽間隔は広い方が良くとされる。そのため、植栽間隔 5m x 5m、植え穴は深さ 60cm 程度まで掘り下げよく風化した土を入れるのが望ましい。防風林としての植栽には、9x10m の間隔で 3 列の植栽を行い、成長を促進するため 1 本あたり 50g の硫酸アンモニウムを灌水時に施与している事例が報告されている。タンザニアでは、3x3m-5x5m の植栽間隔が推奨されている。植え付け後 2 年間は、年 2 回の除草が必要であり、通常 2 年間で 1.5m 程度に生長する。人工植栽の場合においても、主幹が家畜の背丈を超えるまで 3-5 年間は食害保護することが必要で、十分に生長した個体は過度の摂食にも耐えられるようになる (1)。

天然更新と同様に人工林における苗木も3-5年間は動物の食害から保護する必要がある。成木はかなり激しい食害にも耐え得る (5)。

アグロフォレストリー

窒素固定能（窒素固定菌との共生）、光合成効率、苗の形態、乾燥耐性等を総合的に評価した研究では、本種が *Prosopis juliflora* に比して比較的良好な種であることが報告されている (1)。

長い主根と共に側根を豊富に発達させることから、一般的に本種の樹冠下での草本相の発達は乏しいとされ、インドではササゲ (cowpea)、cluster bean、moth bean の間作は失敗したが、側根の根切りを行った場合、リョクトウ (mung bean) とモロコシ (sorghum) の収量が増加したことが報告されており (1)、適切な管理を行えば、アグロフォレストリー用樹種として用いることも可能である。また、他の章に記載されている土壌水分の再配分 (Hydraulic Redistribution) への寄与が本種に認められており、側根の末端部に生育する作物の生長が他の区域よりも高くなることが報告されている (3)。

本種を 4x4m 間隔で植栽し林冠が閉鎖した状態になった林では、樹冠の光合成有効放射吸収により太陽光エネルギーが 55% 吸収され、その結果相対湿度が増加して樹冠下の気温を 1.75℃ 低下させることが報告され (3)、その微気象の改善効果を効果的に利用することにより作物収量の増加を期待することもできる。牧農林としての緑陰効果も期待できる。

特に、砂丘の安定化や運河や沿道の防風林、他の樹種の育成が困難な乾燥砂質土地での植生回復には有望な植物であり、インドで植林されてきた (5)。

用材生産の人工林管理

材木は、板張り用材、箱、支柱、防湿合板、家具、住宅建設、農具のための用材として使用される。材質は適度に柔らかく加工性に優れるが、やや強度が劣り、腐朽の原因となる菌類や昆虫類に冒されやすい。そのため、伐採後は速やかに乾燥処理を行うことが望まれる (1)。

インド Jodhpur 地域の深い砂質土壤に植栽された本種は、11 年生で樹高 6.4m、胸高直径 14cm の生長を示した。インド Pali 地域の浅い砂質壤土に植栽された事例では、7 年生で樹高 4.8m、胸高直径 10cm の生長を示し、Barmer 地域の砂丘では 5 年生で樹高 3m、胸高直径 7cm を示したと報告されている (7)。薪炭原木の生産には 10 年間隔での萌芽更新が推奨されている。インドにおける 12 年生植栽地では、54ton/ha の収量が報告されているが、砂漠等の乾燥地域においては 4.5ton/ha という数値も決して悪くはないとされている (7)。



写真 24: *A. tortilis* の幼苗
長めのポットの使用が推奨される

参考文献

(1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre

<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=118>

http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Acacia_tortilis.pdf

- (2) D.O. Otieno, M.W.T. Schmidt, J.I. Kinyamario and J. Tenhunena (2005) Responses of *Acacia tortilis* and *Acacia xanthophloea* to seasonal changes in soil water availability in the savanna region of Kenya, *Journal of Arid Environments* 62, 377–400, ELSEVIER
- (3) A.K. Mishra, H.S. Tiwari and R.K. Bhatt (2010) Growth, biomass production and photosynthesis of *Cenchrus ciliaris* L. under *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne based silvopastoral systems in semi arid tropics, *Journal of Environmental Biology*, 31(6) 987-993
- (4) Danida Forest Seed Centre (2000) Seed Leaflet No. 19 (*Acacia tortilis*)
- (5) D. A. Hines and K. Eckman (1993) Indigenous multipurpose trees of Tanzania : Uses and economic benefits for people.
http://www.fao.org/docrep/x5327e/x5327e0f.htm#_acacia_tortilis*
- (6) CIAT/FAO, Grassland species profiles (*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne)
<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/DATA/pf000139.htm>
- (7) James A. Duke. 1983. Handbook of Energy Crops (*Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne)
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Acacia_tortilis.html
- (8) Firewood Crops: Shrub and Tree Species for Energy Production
http://books.google.co.jp/books?id=XmQrAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=ja&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

4) *Acacia xanthophloea* Benth

(分 類) マメ科 (Fabaceae) ネムノキ亜科 (Mimosoideae)

(地方名) 英語: Fever tree, Naivasha thorn tree, Sulphur bark

アフリカ地方: アフリカーンス語 Koorsboom, スワヒリ語 Mgunga

ズル語 UmDlovune, umHlofunga, umHlosinga, umKhanyakude

形態と分布

樹高 15-25m に達する大型木で、主幹上からかなりの分枝を行い、やや広がった樹冠を形成する。樹冠の頂部は平らとなる。ボツワナ、ケニア、マラウィ、モザンビーク、ソマリア、南アフリカ、スワジランド、タンザニア、ザンビア及びジンバブエを含む東アフリカ及び南アフリカ地域に自生している他、台湾等で栽培されている。

生育環境条件

標 高: 600–2,100m (1)

年降水量: 不明

生育土壌 (自然分布): 湿地や河川、湖沼の近くに河畔林として成立するが、砂質土壌を好んで生育する (1)。

水分条件: 地下水位の高い地域に半常緑灌木林・森林の構成種として生育し、季節的に湛水する地域では密集した林分を形成することもある。

植栽適地: 川辺など地下水位の高い砂質土壌が最も適している。標高 600-2100 の地域に自然分布するが、冷たい風や霜に対する耐性は低い。

根 系: 直根は深く伸びるが、側根はほとんどが降雨後速やかに乾燥してしまう土壌上層部に分布している。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

花は雌雄同体であり、開花から結実まで 4~6 ヶ月間を要する。南アフリカでは 9 月から 11 月にかけて開花し、1 月から 4 月にかけて結実する。数多く開花するが、結実まで結びつくものは少ない。

水利用の生理生態

直根が発達し側根が土壌上層部に密度高く分布するなど、根系に *Acacia tortilis* と似通った性質を示すが、*A. tortilis* との水分消費量の比較試験では、*A. tortilis* の 20kg d⁻¹ に対し、40kg d⁻¹ と高い値を示した。

利用と生産物

木材: 材は堅く、重厚であり、その価値は高い。しかし割れやすい性質を持っているため、製品加工する前に適切かつ十分な乾燥を行うことが肝要である。ポールや支柱用材としても用いられる。

飼料木：葉と豆果は飼料として活用できる。

薪炭材：燃焼させると黒色の濃いタール状の堆積物を生じるが、薪として使用することができる。

民間薬：根及び主幹樹皮の粉末は吐剤及びマラリア予防薬として使用される。

養蜂：本種は蜜源として優れている。

その他：窒素固定菌を共生させることから土壌改良効果が期待でき、アグロフォレストリーでの間作樹木として使用される。有刺植物であり、*A. tortilis* と同様に境界線上の生垣植栽にも有用である。

植栽と下刈り

育苗にあたっては、*A. tortilis* と同様に、ポット内に長く強靱な主根を発達させるため、長めのポットの使用が望まれる。また、移植の際、主根を傷つけないよう慎重に行うことが必要となる。本種は南アフリカにおける早生有刺植物の一つであり、年 1-1.5m の樹高生長量を示す。

アグロフォレストリー

材密度は 0.532 g/cm^3 で、材の発熱量は 4.4 kJ/g あり、炭化した場合の発熱量は 7.9 kJ/g となり、他のアカシア類や薪炭利用される他樹種に対して比較的高い値である。本種の生育適地（河畔林）や根系の分布特性（直根が深く伸張し、側根が土壌上層部に密度濃く分布すること）から、沼地や堤防やダム の構造安定に資することが認識されている。有枝植物としての特性を活かして生垣にも利用される。剪定に対する耐性は高い。

本種の枝を鳥類が好んで営巣に利用することから、生物多様性の保全・向上に資することが期待できる。



写真 25：鳥類の営巣の様子

参考文献

- (1) Forest & Landscape, University of Copenhagen (2010) Seed Leaflet No. 151 (*Acacia xanthophloea*)
- (2) Kenya Forestry Research Institute, Tree Seed Information Leaflets, Leaflet No. 1 (*Acacia xanthophloea*)
- (3) D.O. Otieno, M.W.T. Schmidt, J.I. Kinyamario and J. Tenhunena (2005) Responses of *Acacia tortilis* and *Acacia xanthophloea* to seasonal changes in soil water availability in the savanna region of Kenya, *Journal of Arid Environments* 62, 377–400
- (4) N. M. Oduor, W. Ngugi and T. Gathui (2012) Sustainable Tree Management for Charcoal Production - *Acacia* Species in Kenya
- (5) World Agroforestry Centre (2014) Agroforestry Database
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=125>
- (6) GCW (2001) *Acacia xanthophloea* Benth. – The global compendium of weeds.

5) *Azadirachta indica* A. Juss. インドセンダン

(分 類) センダン科 (Meliaceae)

(地方名) 英語: Persian lilac, Neem tree, Bastard tree, Indian lilac, bead tree

ヒンディー語: neem, balnimb, nim, veppam, nind, vempu

アラビア語: nim, neem

形態と分布

樹高 15m (最大 30m) に達する小型～中型木であり、通常は常緑樹となる。枝は良く広がり、直径 10m (最大 20m) の円形の大きな樹冠を形成する。主幹は高さ 7.5m、直径 90cm に達し、寿命は 200 年以上に達するとされている。

本種は、低地熱帯地域のどこにでも生育可能だとされており、インドではアカシア類や *Dalbergia sisso* との混交林として自生し、インドネシアでは低地季節林として帰化定着している。アフリカでは常緑樹林あるいは乾燥落葉樹林の構成種として認めることができる。

成長した本種は降霜に対する耐性を有するが、苗木は敏感である。また、排水性の良い土壌を好み、湛水するような土地では容易に枯死する。本種は生育に大量の光を必要とするが、生育初期の数年間はかなり強い被陰にも耐え得る。

生育環境条件

標 高: 0–1,500m (t)

年降水量: 400-1,200mm (t)

生育土壌 (自然分布): 中性～アルカリ性の広範な土壌に生育し、浅い、礫質、砂質の土壌や、表層近くに堅い石灰層や粘土層がある土壌で、他の多くの種よりも良好な成長を示す。

水分条件: 冠水には弱く、加湿土壌では直ちに枯死する。

植栽適地: 本種は熱帯低地の「殆どどこでも」生育可能とされるが、土壌 pH が 6.2-7 の範囲で最大の生長を示す。光の要求量が高いが、最初の数年間はやや強い被陰にも耐えることができる。

根 系: 下層の土壌から養分を吸収する良く発達した根茎で耐乾性を得ており、砂丘の固定に優れている。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

花は両性花のみあるいは雄花及び両性花が同一の木に混在する形態を取る。白または淡黄色で甘い香りを持つ。本種は 4-5 年生で開花・結実を開始するが、経済的に成り立つ量を産するのには 10-12 年を要する。自家不和合性を生じるため、孤立木として植栽した場合は果実の収穫は望めない。

開花と結実の季節は、植栽地や生息地の状況に大きく依存し、タイでは年間を通して開花・結実が見られるのに対し、東アフリカのうち雨季乾季の明瞭な地域では開花と結実の時期を異にしている。果実は開花後約 12 週間で熟し、コウモリや鳥類が食してその伝播者となる。

水利用の生理生態

Acacia nilotica, *Albizia procera*, *Eucalyptus camaldulensis* 及び本種を温室内でポット栽培し、その水消費量を1年間比較した試験では、*A. nilotica* や *A. procera* と同様に本種も、*E. camaldulensis* に対して水消費量が3分の1以下であることが確認された。また、水利用効率は *A. nilotica*, *A. procera*, *A. indica*, *E. camaldulensis* それぞれ、 0.32g L^{-1} , 0.48g L^{-1} , 0.16g L^{-1} , 0.77g L^{-1} となり、本種の水利用効率が最も低く生体量増加も低い傾向が示された。

本種は菌根菌の共生依存度が非常に高いと考えられており、その共生度合いは土壤水分状態に応じて変化する。菌根菌との共生を伴い土壤深部へ根を成長させる習性は、砂漠植生において浅根性の早生樹種との水と栄養素の競争を勝ち抜く機構の一つであると考えられている。

利用と生産物 (1,2)

食料: 果実は生あるいは加工して食べられる他、デザートやレモネード様の飲料として供される。

若い枝や花を野菜として食べることがある。

燃材: 製炭原木としての品質が高く、材は古くから薪として使用されてきた。種子より搾出された油は、ランプの燃料としてインド全域で使用されている。

タンニン: 樹皮には12-14%のタンニンが含まれ、その品質は良好である。

脂質: 種子から搾り出された油は、アジア地域で古くから石鹸、化粧品、医薬品や他の非食用製品として工業的規模で利用されてきた。種子油の収率は種子重量の50%と高い。

毒: 葉やその他の組織からの抽出物は、昆虫の忌避剤、摂食抑制剤や成長・変態・繁殖防止剤として機能する。抽出成分である Azadirachtin が天然のホルモンに対して疑似効果を持ち、昆虫の生理に影響を与えて産卵数や孵化率を減少させる。

医薬品: 本種の様々な部位は、駆虫剤、周期病薬、防腐剤、利尿剤及び下剤効果を有し、火傷、ニキビ、眼疾患、肝炎、ハンセン氏病、リウマチ、腺病、白癬及び潰瘍の治療にも用いられる。また、葉はマラリアの治療薬として茶にして飲用する。

植栽と下刈り

ポットに新鮮な種子を播種するか、または発芽床に15×3.5cm 間隔で播き、2ヶ月後に15×15 cm に間引く。発芽は1週間以内に始まる。根が最初に発達してから、枝条が増加する。通常、翌年に山出しをする。初期生長の良い苗は、植栽後の活着率も向上する。背の高い苗木を作るには30×45cm, 35×50cm のHDP バッグを用い、NPKの混合比1:1:1の施肥、ドリップ式(点滴)灌漑が絶対条件で、わずか4ヶ月で8フィート(2m40cm)の苗木をつくることができる。

直播きによる繁殖も可能であるが、耕起された場所での直播きは良好な結果が得られない。昆虫類や齧歯類の食害を防ぐため、直播きにおいても土壤により軽く被覆することが必要である。発芽した苗は適宜間伐を行い、最終的に8メートル間隔に1本が残るように仕立てる。

本種は雑草との水や栄養分の競合に弱く、特に乾燥地域においては除草が不可欠となる。化学肥料や有機質肥料の施用は如実な成果を示す。萌芽更新が可能であり、萌芽枝の初期成長は植え付け苗のそれよりも高速である。剪定に対する耐性は高いが、飼料採取のために強度に剪定された場合には種子生産量に悪影響を及ぼすことがある。

植栽間隔は、8 x 8m が推奨されている。防風林等の造成を目的として列状に植栽する場合にも、通常は各列の間隔を 8m 以上開けて植栽されている。

タイの半乾燥地での植栽密度試験 (157 本/ ha～40000 本/ha) における植栽後 6 年間の結果では、成長の遅い本種は成長の早い *Melia azedarach* に比べ、高密度植栽地における枯死（密度依存）が顕著でなかったと報告されている。

アグロフォレストリー

本種とトウジンビエ（pearl millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.）の間作がインドで良好な結果を得られたことが報告されている。

乾燥した種子を粉砕し浸水したものを液体農薬として作物に散布することが慣行的に行われている。また、仁（種子の中身）の粉末は幼齡木への穿孔性昆虫の寄生を制御するために乾燥状態で用いられる。

低い位置から枝を着け、それが長期間維持されるため、防風林としての効果が高い。

本種はマホガニーと同じセンダン科に属し、飾り棚用木材として同様の性質を有しているが、マホガニーに比して木目が粗く研磨性に劣る。

しかし本種の持つ昆虫忌避性は内容物を虫害から保護するのに有益であり、梱包用箱のみならずワードローブ、本棚、クローゼットを作製するのに使用される。

シロアリ抵抗性も有することから、主幹は建築用の支柱や柵材料としても使用される。材密度は水分含量 12% の状態で、720-930kg/m³ となる。



写真 26: *A. indica* の幼苗

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=271>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Azadirachta_indica.pdf
- (2) CIAT/FAO, Grassland species profiles (Azadirachta indica Juss.)
http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/new_grasses/azaind.htm
- (3) K. Bala, A.V. Rao & J.C. Tarafdar (1989) Occurrence of VAM associations in different plant species of the Indian desert, Arid Soil Research and Rehabilitation, vol. 3: 391-396
- (4) S. Thoranisorn, P. Sahunalu, K. Yoda (1991) Density Effects and Growth Analysis in Some Tropical Forest Plantations. Tropics 1: 35-47

6) *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. バラニテス・アエギプティアカ

(分 類) ハマビシ科 (Balanitaceae)

(地方名) 英語: soap berry tree, desert date, torch wood

ヒンディー語: engua, ingudi, betu, hingan, hingn, hingot, hongot, hingota

アラビア語: sammar, samar, samor, samra, sayyal, seyyal, seyal

スワヒリ語: zachun, zaccone, heglig

形態と分布

樹高 10m に達する常緑の灌木で、主幹は立たない。樹冠は円形となり、長くどっしりとした枝が密生する。

本種は広い生態的分布域を持つが、単木では、低地、砂壤土が深く堆積した沖積平野、水分供給に間断が生じない谷底、河岸や岩石地斜面の麓等で最大の成長を示す。標高 0-2,000m、年降水量 250-1,200mm の地域に自生し（標高 1,000m、年降水量 250-400mm とする文献もある）、深い砂質土壌、砂質粘土ローム、砂壤土及び粘土質土壌に分布する傾向が見られる。乾燥及び森林火災に対する耐性があり、2 ヶ月程度であれば湛水状態にも耐えることができる。幼苗期を除き被陰に弱く、天然更新には疎林やサバンナが適している。

生育環境条件

標 高: 0-1,000 (4), -2,000m (1)

年降水量: 250-1,200mm (1), 250-400mm (4)

生育土壌 (自然分布): 土壌としては、深い砂質土壌、砂質の粘土ローム、砂質ロームまたは粘土質土壌に生育する傾向がある (1)。

水分条件: 乾燥と火災に耐性がある。一方で川辺での 2 ヶ月間の洪水には耐え得るが、それ以上には耐えられない (2)。

植栽適地: 生態的に広範な範囲に分布するが、深い砂質ロームで水分の途切れない、低標高地の氾濫原において最大限に発達する (1)。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

開花特性は変化に富み、開花の可能性の最も高い季節は乾季であるが、サヘル地域では開花時期は明瞭ではない。結実は樹齢 5-8 年頃から見られ、25 年生まで年々増加する。果実はその成熟・熟成に 1 年間を要する。鳥類やほ乳類がその果実を摂食し、種子を糞や吐瀉物として散布する。

利用と生産物

食用: 果実の肉質繊維が可食であり、ガーナでは飲み物や砂糖菓子に、ナイジェリアではアルコール飲料に、スーダンではスープの材料として加工される。若い葉と新芽は野菜として食される。花は西アフリカでは補助食品としてその蜜を吸引する。

医薬品: 根はマラリアの治療や浮腫、胃痛の予防に用いられ、催吐剤としても使用される。樹皮の浸出液は胸やけに、樹液は胸の痛みを治療するのに用いられる。インドでは樹皮を牛用の駆

虫剤として用いている。

飼料：葉（生，乾燥），果実，及び新芽の全てが家畜の飼料として用いられる。セネガル，スーダン，ウガンダでは，搾油した後の種子の残渣を家畜飼料に用いている。インドでは飼料生産を目的として剪定施業が行われている。

燃材：材はかなりの熱量を生じ，殆ど煙を発生させないことから，特に屋内での使用に適している。材は高品質炭を生産することができ，堅果の殻は工業活性炭の生産に適している。その発熱量は 4600 kcal/kg と推定されている。

繊維：強靱な繊維を樹皮から得ることができる。

脂質：種子から調理用油を製造することができ，遊離脂肪酸の含有量が少ないのが特徴である。

植栽と下刈り

最初の結実が見られるまで，最低 3 年間は，除草と，家畜等による食害防止のための手当てが必要である。特に，本種は成長速度が遅いため，雑草との光の競合を避けるための除草が重要となる。雑草は本種の更新を阻害するだけでなく，森林火災の発生源となる可能性がある。根系は広く分布し，幹からかなり離れた地点での土壤水分を吸収することが可能である。萌芽更新能は高く，剪定や家畜による強度の摂食を受け手も再生することが可能である。果実の生産が主目的の場合には，飼料生産のための萌芽更新や選定作業は減多に行われない。本種はイナゴや甲虫類の被害を受けやすく，寄生虫が侵入する頻度も高い。

アグロフォレストリー

有刺植物であり，土地境界を明示するための生垣植栽に有用である。切り取った枝は農地への家畜侵入防止用の柵材料としても使用される。有益性の高い樹種であり，伝統的にそして現在においても積極的な管理が行われている。アグロフォレストリーの実例としては，灌漑用水路の土手に植えられ，それが土地の境界を示す目印ともなっている。非常に多くの種類の昆虫の食餌植物となることから，トラップツリーとして活用することも可能である。本種は根系を広く分布させることから，水が主な制限要因となる地域ではその植栽の是非や方法を検討する必要がある。成長が遅いため主林木としては適さないが，常緑であることから防風林として活用できる可能性を持っている。

用材生産の人工林管理

材は堅く耐久性があり加工性にも優れ，表面仕上げやノミ加工が容易である。家畜の軛，木製スプーン，すりこぎ，すり鉢，取っ手，腰掛け，櫛の材料に使用されるが，マイナーな材として位置づけられている。一本あたりの材積が小さいことと幹の表面に生ずる深い縦溝が製材加工を困難にしている。



写真 27: *B. aegyptiaca* の葉序

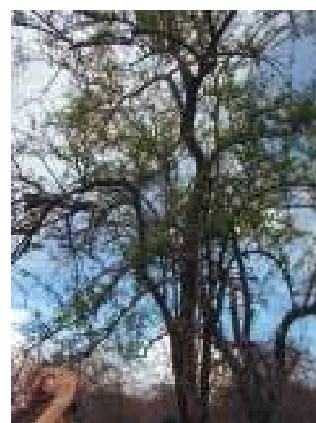


写真 28: *B. aegyptiaca* の樹形

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=279>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Balanites_aegyptiaca.pdf
- (2) International board for plant genetic resources/Royal Botanic Gardens Rome (IPGRI) (1984) Forage and browse plants for arid and semi-arid Africa, 101-102.
- (3) Von-Maydell H-J. (1984) Arbres et arbustes du Sahel: leurs caractéristiques et leurs utilisations. Eschborn: GTZ, p. 531
- (4) Danida Forest Seed Centre (2000) Seed Leaflet No. 21 (*Balanites aegyptiaca* (L.) Del.), DANIDA
- (5) D. A. Hines and K. Eckman (1993) Indigenous multipurpose trees of Tanzania : Uses and economic benefits for people
http://www.fao.org/docrep/x5327e/x5327e0m.htm#balanites_aegyptiaca

7) *Combretum* 類

(*C. aculeatum* Vent., *C. collinum* Fresen, *C. molle* R.Br. ex G.Don, *C. shumannii* Engl.)

(分 類) シクンシ科 (Combretaceae)

(地方名) 英語: Variable combretum, Bush-willow (*C. collinum*), Velvet leaf willow, Velvet leaf combretum

アフリカーンス語: Boswilg (*C. collinum*), Basterrooibos (*C. molle*)

ソマリ語: Eddi shebai (*C. aculeatum*), Rokess, Abol (*C. molle*)

スワヒリ語: Msana, Mlama (*C. molle*), Mgongolo, Mpera mwitu, Mgurure (*C. shumannii*)

形態と分布

小型～中型の常緑樹あるいは灌木であり、最大 21m に達する。複数の枝が良く発達し、頂上が平らあるいは円形に展開した樹冠を形成する。

C. aculeatum は、乾燥サバンナや乾燥土壌上の藪に自生しているのが見られ、時には河川沿いにも分布する。スーダン南部では、Terminalia-Combretum 帯に広く分布している。モーリタニアからナイジェリア北部にかけて、そしてアフリカ大陸を横断してアフリカ東北部に分布している。*C. collinum* は、低～中高度地域の疎林の構成樹種で、ザンビア全土、セネガルから東アフリカまで、南はナタール及びアンゴラ西方まで、広く分布している。*Baikiaea* 林域や落葉灌木林、チプヤ (chipya) 林での普通種である。時としてシロアリ塚上、ミオンボ (miombo) 林や乾燥常緑林にも見られ、時に林分の優占種となる。*C. molle* はアフリカではセネガルからソマリアや南アフリカ南部にかけてのサバンナ地域・乾燥地域に広範囲に自生し、アジアではイスラエル、ヨルダン、南アラビアに自生している。



写真 29: *C. spp.* の樹形

生育環境条件

標 高: 0–2,300m (*C. molle*) (1)

年降水量: 900-1,200mm (*C. molle*) (1)

生育土壌 (自然分布): *C. aculeatum* は乾燥したサバンナに分布し、ときに川辺にも生じる。広範な土壌への適応力を有しており、沖積土壌、礫質、砂質または殖質土壌に生育する (1,2)。

開花結実・フェノロジー

花は黄色がかった白色で芳香があり、雌雄同体である。乾季の終わってから雨季に開花する。一本の木に花と同時に熟した実をつけることができる (2)。スーダンでは *C. aculeatum* は 3 月～5 月に開花し、7 月～10 月に着果する (1)。*C. collinum* は半落葉樹で、アフリカ南部では、花は多くの場合、8 月-10 月に前シーズンの葉で作られ、7 月～8 月に結実する (1)。*C. molle* は落葉樹で、花は葉より先に現れ、昆虫の目を惹くので、おそらく虫媒花である。アフリカ南部の開花は 9 月～11 月、ザンビアでは 7 月～10 月、果実は 6 月と 9 月の間に熟成する (1)。

利用と生産物 (1)

飼料 : *C. aculeatum* は、セネガル、スーダン、ケニア北部で家畜の飼料に利用されている。

繊維 : *C. aculeatum* の蔓性の枝はしなやかであり、ケニアではミルク容器を保持するためのロバの荷かごや編みかごに使用される。

医薬品 : *C. aculeatum* は、利尿剤や下剤として使用される。ブルキナファソやセネガルではハンセン氏病の治療に用いられている。ケニアでは茹でた根を胃の整調薬として用いる。

C. collinum の根の煎じ薬は、赤痢や蛇の咬傷の治療薬として用いられる。

C. molle の根の煎じ薬は、墮胎薬や、便秘、ハンセン氏病、頭痛、胃痛、発熱、赤痢、一般的な痛み、はれものの治療薬として、また鉤虫の駆虫剤として用いられる。樹皮から滲出した樹脂あるいは乾燥した葉、新鮮な葉の粉末は、創傷の治療に用いられる。

養蜂 : *C. collinum* の花は良質な蜜を生産する。*C. moll* の花は蜂を引きつけ、良い蜜源となる。

燃料 : 材は薪炭原料に利用でき、良質な炭を得られる (*C. collinum*)。材の燃焼速度は緩やかで火持ちがよく熱価も高いため、薪や高品質炭の生産に適している (*C. molle*)。

染料 : 葉からは赤い色素が、根からは黄色色素が得られる (*C. molle*)。

育成管理

C. aculeatum は萌芽更新が可能である (3)。

C. collinum の成長速度は遅いが、萌芽、剪定、頭木作業 (pollarding) による更新が可能である (1)。

C. molle は根萌芽による更新が可能である (3)。本種も *C. collinum* と同様に、成長速度は遅いが、剪定と頭木作業による更新が可能である (4)。

C. shumannii も同じく、成長が遅く、剪定、頭木更新が可能である (3)。

用材生産の人工林管理

C. collinum の材は、かなり堅いが、耐久性はそう高くない。縄目と方向性のある肌理 (きめ) を持っている (1)。

C. molle の材は、堅いが、肌理が粗く、乾燥するともろくなる。また、腐朽もしやすい。しかし、適度なシロアリ抵抗性を持つことから、取っ手、ポール、スツールの材料や、建築材及びフェンスの支柱材として適している (1)。

C. shumannii の心材は、耐久性が高く、シロアリ抵抗性も併せ持つため、海岸域では彫刻材としての需要が高い (3)。

参考文献

(1) Orwa et. Al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre

<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=556> (*C. aculeatum*)

http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Combretum_aculeatum.pdf

<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=558> (*C. collinum*)

http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Combretum_collinum.pdf

<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=566> (*C. molle*)

http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Combretum_molle.pdf

- (2) Millennium Seed Bank Project (2007) Seed Leaflet No. 127 (*Combretum aculeatum* Vent.), DANIDA
- (3) P. Maundu and B. Tengnäs (2005) Useful Trees and Shrubs for Kenya, Technical Handbook No.35, p. 159 (*C. aculeatum*), p. 160 (*C. collinum*), p. 161 (*C. molle*), p. 162 (*C. shumannii*), World Agroforestry Centre
- (4) D. A. Hines and K. Eckman (1993) Indigenous multipurpose trees of Tanzania : Uses and economic benefits for people, Cultural Survival Canada and Development Services,
http://www.fao.org/docrep/x5327e/x5327e0r.htm#combretum_molle*

8) *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

(分 類) フトモモ科 (Myrtaceae)

(地方名) 英語 : Red river gum, River red gum, Long beak eucalyptus, Murray red gum

ルガンダ語 : Kalitunsi, アラビア語 : Ban, Kafur, スワヒリ語 : Mkaratus

ティグリニャ語 : Keihkelamitos, アムハラ語 : Key bahir zaf

形態と分布

一般的には樹高が 20m, 胸高直径 1m 程度の中高木であり, まれに樹高 50m, 胸高直径 2m に達することがある。自然樹形は短く太い主幹を持ち, 大きく, 広がった樹冠を形成する。オーストラリア本島の大半の地域に自生している。本種は自然条件下では, 水系に沿った地域及び氾濫原に出現する。オーストラリア南部では, ごくまれに丘陵や山岳地帯にまで分布を広げ, 疎林や森林 (woodland) の構成種となる。

生育環境条件

標 高 : 0–1,500m (1)

年降水量 : 250–2,500mm (1)

生育土壌 (自然分布) : 粘土由来のシルト質あるいはローム質土壌で, 地下水が利用可能な地域において最大の生長を示す。酸性土壌に最も耐性の高い樹種の一つとしても知られている (1)。

水分条件 : 湛水状態や定期的な洪水に対しても耐性を有する (1)。

植栽適地 : 乾燥, 酸性に耐性があり, 条件の悪い乾燥地や積悪地に最も植栽されている樹種の一つである。自然条件下では, 水系に沿った地域及び氾濫原に出現する。温帯から熱帯, 湿潤地域から乾燥地域と, 幅広い範囲の気候条件下で生育する。自生地の乾季の長さは 0-8 ヶ月と様々であり, オーストラリア南部では冬に雨量が最大となる地域に, 北部では夏にモンスーン型の降雨がある地域に自生している。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

天然林における開花時期は生育地の地理条件に大きく依存している。種子は開花後 6 ヶ月で成熟する。種子は密閉し低温貯蔵することにより長期間発芽能を維持することが可能である。本種は休芽を形成せず, 条件が良好な時はいつでも生長する。また, 苗木は通常, 育苗コンテナで育成する。

利用と製品 (1, 2)

養蜂 : 本種は最盛期には多量の花蜜を生産し, 自生地における主蜜源の一つとなっている。蜜は独特な風味を持ち, 淡金色で, 加工に適した濃度を持っている。

燃材 : 薪はレンガ窯等の工業利用に適しているが, 煙の発生量が多く, 燃焼速度が速く持続性に乏しいため, 家庭用には適さない。しかしながら, 良質炭を製造することができる。

繊維 : 本種の繊維は長く強靱で, パルプや紙の原料として使用される。また, ハードボードや繊維板, パーティクルボードの原料生産目的でも植林されている。

医薬品：葉から採取される油成分を帰化させて吸引剤として使用され、他の調剤は風邪やインフルエンザの症状緩和にも使用される。油成分はさわやかな香りを持ち殺菌効果も有するため、防腐剤として使用される。

精油：本種の熱帯地域産品種は、1,8-シネオール葉油を豊富に含み、医薬品としての品質も高く、商取引されるユーカリ油の重要な供給源となっている。

植栽と下刈り

植栽はコンテナ苗を用いることが多く、燃材生産が目的の場合には、2 x 2m 間隔で植栽される。雑草との競合に弱く、また樹冠が粗であるため、植栽直後は頻繁な除草が必要で、3-5 年経過して林冠が閉鎖するまで年 3 回程度の除草を行う。活着と初期生長を促すために、1 本あたり 100g の NP あるいは NPK (3:2:1) の施肥が一般的に行われている。

支柱やポール、燃材の生産のためには、5 年生で 700 本/ha 以下になるように密度管理を行い、製材品等の生産のためには定性間伐を行い形状の良好な木を残し、10 年生以上で収穫する。材は高い強度と優れた耐久性を持つことから、様々な形の構造材として適しており、線路の枕木、ポール、支柱、床材、護岸用材、造船用材、建築資材として使用される。立地条件に適した産地品種を用いることにより、年 3m を超す生長量を得ることができる。

いくつかの産地品種は萌芽能力が高く、萌芽更新が容易である。6 年あるいはそれ以上の周期で更新され、適地では 7-10 年周期の萌芽更新で管理されている。シロアリ、アブラムシ及び齧歯類による被害を受けやすく、それらの害を制御するために物理的、化学的双方の対策が講じられている。

アグロフォレストリー

本種は、樹冠が粗であり被陰の悪影響が低いため、耕作地での育成にも適している。5 x 5m 間隔で植栽された本種にトウモロコシを間作した結果では十分なトウモロコシ収量が得られたことが報告されている。

用材生産の人工林管理

NAS (1980) は、ヘクタール当たりの材積の年増加量はアルゼンチンで 20-25m³、イスラエルで 30m³、トルコでは第 1 伐期に 17-20m³、それ以降の伐期で 25-30m³ あったことが報告している。生長量に乏しい乾燥地域では、14-15 年生で収量はわずかに 2-11m³/ha であった。カリフォルニア州の Calistoga では、4.3m³/ha/年が計上されており、その総熱量は 15,000 kcal/ha/年に相当することが報告されている。

地上部現存量（バイオマス）は、イスラエルの植林地の立木で約 110 トン/ha が得られている。落葉量はオーストラリアの Red-gum 沼で、約 3.6-5.8 トン/ha/年が記録されている。



写真 30: 萌芽が始まった様子



写真 31: 萌芽は 1, 2 本を残して切る



写真 32: 長年月、萌芽更新が繰り返された状況



写真 33: *E. camaldulensis* の幼苗



写真 34: 耕作地での作物との間作

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=760>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Eucalyptus_camaldulensis.pdf
- (2) James A. Duke. 1983. Handbook of Energy Crops (*Eucalyptus camaldulensis* Schlecht.).
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Eucalyptus_camaldulensis.html

9) *Eucalyptus saligna* Smith

(分 類) フトモモ科 (Myrtaceae)

(地方名) 英語: Sydney blue gum, Saligna gum, Blue gum

スワヒリ語: Muringamu, Mtimbao, Mkaratusi

形態と分布

樹高 30-50m, 胸高直径 2m に達する高木であり, 最大の個体は樹高 65m, 胸高直径 2.5m に達したことが記録されている(1)。主幹は通直で樹高の 1/2 から 2/3 までは無枝になるという優れた形態を示す。樹皮は粗く永続的で, 褐色あるいは灰色がかっている。

オーストラリアに自生し, 主に肥沃な谷や斜面に生育する。

生育環境条件

標 高: 0-1,100m (1)

年降水量: 800-1,800mm (1)

生育土壌 (自然分布): 林分は品質の良い沖積砂壤土において最も良く発達する。その他の土壌としては, ポドゾル土壌, 火山灰壤土が適している (1)。一般的に, 湿ってはいるが排水性の高い土壌が好まれる。粗粒の深い砂質土壌から乾性の岩石土, 弱酸性~適度にアルカリ性の土壌に生育する (1)。

水分条件: 短期的な乾燥に耐えるが, 年間を通して降雨量の多い場所で最大の成長を示す (1)。天然には夏に雨量が最大となる地域に出現するが, 逆のパターンでも良好な生長を示す。

植栽適地: 4 ヶ月間以上を超えない穏やかな乾季をもった温帯, 亜熱帯気候を好む。短期間の乾燥状態には耐えることができるが, 年間を通じて多雨が見込まれる地域で最大の生長量を示す。

開花結実・フェノロジー

開花と結実は年間を通じて見られる。樹齢 7-8 年から種子生産が始まる。本種は幼齢期と成熟期とでそれぞれ異なった葉の形を示す。

利用と生産物

精油: 精油の収率は 0.3-0.5%を示す。

養蜂: 本種は蜜源としての期待度は低いが, コロニーの形成を促すのに有効とされ, 女王蜂の育成や繁殖に役立つ可能性が指摘されている。蜜は風味が強く, やや暗色で濃度が低い。保存性は良くない。

植栽と下刈り

早生樹であり耐陰性は低い。初期の 1-2 年間は雑草との光の競合に敏感であり, 年数回の除草が不可欠となる。但し, そのステージを過ぎると急速な生長により他の植生を支配するようになる。

用材生産の人工林管理

熱帯季節林地域における短伐期施業に対する高い適応性が証明されている。心材は材密度 900 kg/m³を有し、加工及び磨き加工が容易である。オーストラリアでは重要な汎用堅木であり、建材、床材、化粧材、羽目板材として好まれている。幹材の生産のためには5-8年生の段階で間伐を行い、初期植栽密度の50%まで密度を低下させる。その後は追加的な間伐を8-10年毎に行う。35年伐期で施業をしている事例では、最終的な間伐は材が市場的価値を持った段階で行われ、密度は70-120本/haまで落とされる。薪やパルプ材の生産には6-10年伐期が用いられている。

ブラジルの4年生林分の樹体バイオマスは56トン/haであった（地上部38トン、落葉8トン、地下部10トン）。一方、年間のバイオマス生産量は15-17トン/ha、樹幹収量は19m³/ha/年と推計されている（Fenton et al. 1977）。



写真 35: *E. saligna* の樹形

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=812>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Eucalyptus_saligna.pdf
- (2) Kenya Forest Research Institute, Tree Seed Information Leaflet, Leaflet No. 10
(*Eucalyptus saligna*)
- (3) James A. Duke. 1983. Handbook of Energy Crops (*Eucalyptus saligna* Sm.)
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Eucalyptus_saligna.html

1 0) *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev.

(分 類) マメ科 (Fabaceae) ネムノキ亜科 (Mimosoideae)

(地方名) 英語: white-thorn, white acacia, apple ring acacia, winter thorn

アラビア語: Haraz

アフリカ地方: アフリカーンス語 Anaboom, ウォロフ語 Cad

スワヒリ語 Mkababu, Mgunga, ティグリニャ語 Garsha, Momona, Aqba

ツワナ語 Mokosho, シンデベレ語: Umpumbu, Umtungabayeni

ショナ語 Mmutsangu, ズールー語 Um Hlalankwazi

形態と分布

有枝植物の中では最大の部類に属し、単幹で胸高直径 1m、樹高 30m に達し、枝は広く伸張し、円形の樹冠を形成する(1,2)。西アフリカのサヘル地域では、砂質沖積土壌及び砂質粘土地に、東・南アフリカ地域では沖積土壌上に自生している(9)。

生育環境条件

標 高: 270–2,700m (1)

年降水量: 250-1,200mm (1)

生育土壌 (自然分布): 粗い組成を持つ水はけの良い沖積土壌を好む(1)。西アフリカのサヘル地域では、砂質沖積土壌及び砂質粘土地に、東・南アフリカ地域では沖積土壌上によく発達している (9)。

水分条件: 季節的な湛水状態や高塩分濃度に対する耐性を持つが、重粘土質土壌に生育することはできない (10)。

植栽適地: 季節性及び通年性の河川や小川のほとりの砂質沖積土壌あるいは熱帯黒色土壌 (Vertisols) が優占する平地に自生し、夏期あるいは乾季が長い気候条件下で繁茂する (1)。

根 系: 根系を風化した岩石の中を深さ 7m まで伸長させ、地下水が恒久的に得られる深度まで到達させることができる (4)。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

本種は、雨季に落葉し乾季に着葉するという、季節が逆転した生理特性を持っている。しかし、個々の個体の開花時期は多くの場合均一ではない。7 年生程度で開花が開始し、開花は乾季の開始から 1-2 ヶ月後に始まり、最大 5 ヶ月間継続するが、全ての個体が毎年着花するわけではない。一部の地域では年 2 回開花することがあることが知られている。熟した莢果は乾季の終わりにかけて地上に落下し、種子は莢果を摂食する動物によって拡散される。東アフリカでは、種子は 7 月から 10 月にかけて成熟する (2)。

莢果の生産量は、1 本あたり 6-135kg の範囲と報告されている (Felker 1978), (10)。

水利用の生理生態

直接的に土壌等の水分を保全するわけではないが、本種の特徴として、気温が高く湿度が低い

乾季において旺盛な生長を示し蒸発散を行うことは、微気象を緩和するために有効であることを十分に実証している。乾季における生長を確保するために、本種の直根は非常に急速に発達し、根系の伸長が可能な範囲内に地下水が存在すればそこに到達する。深度 40m に達した事例が記録されている (Lemaftre 1954)。生育に好ましい地域は、特に水との関係が高く、その根系の特性を容易に活用できる深い砂質土壌を好んで生育する (11)。

利用と生産物 (1,3)

飼料：葉及び莢果は家畜の嗜好性が高く、乾季におけるタンパク質の重要な供給源となる。

養蜂：本種の持つ雨季の終わりに開花するという特性は、サヘル地域の養蜂家にとって、他の植物が開花を開始する前の重要な蜜源としての優位性を持ち、その季節における蜜と花粉の重要な供給源となる。

燃料：幹は燃料として使用され、その発熱量は 19,741 キロジュール/kg と推計されている。幹材 1kg で約 20 リットルの水を沸騰させることができる計算となる。炭材としても利用されるが、収炭率は 17%以下と低い。

医薬品：樹皮と根は、呼吸器感染症や消化器疾患、マラリア、その他の発熱の治療薬（外用薬や内服薬）として広く使われている。樹皮は歯磨きにも使われ、その浸出液はヒトの歯痛及び家畜の眼疾（感染症）の治療に使用される。

緑陰及び防風：本種はコーヒー農園の緑陰木や乾季の家畜の緑陰木として管理・保護されている。

土地改良：本種の広く発達する根系は、水路の土手の保護に優れた効果を発揮する。

植栽と下刈り

本種は直播きにより繁殖させることが可能である (3)。発芽率を高めるための種子の調製は、一般的に、物理的に切断する方法が熱湯処理や未処理のものより良好な結果を示す。播種後に厚さ 15mm 土壌を被覆したものが 10mm のものよりもネズミやアリによる摂食を減少させる効果が高く、有意に良好な成果を示したことが報告されている (5)。直播きを行う場合は、雨季が始まり土壌が 50cm 深度程度まで湿った状態になった時点以降に播種することが推奨されている。

育苗にあたっては、底部が開放した育苗コンテナを使用することにより、発達した直根がコンテナ底部で空中切断され、通常の育苗方法と比較して植え付け後の活着率に良好な結果を示したことが報告されている (7)。

植栽後 2 年目に樹高の約半分の高さまで枝打ちすることが提唱されている。また、年間のバイオマス生産量が安定したステージに剪定を繰り返し行うことが、葉の生産を促すことが知られている。一つの個体で年 2 回、剪定を行うことが可能である。但し、剪定による枝の再生は 1 回目には特に活発であるが、剪定を繰り返すことにより減少し、6 年目の終わり頃には樹木はストレスを示し始める。飼料の生産には、3-4 年に一回、生長の開始時期（乾季の始まり）に通常の手法による剪定により、 $0.4-0.5\text{m}^3$ （あるいは全着葉量の 35%）の葉を除去することが推奨されている。

本種は萌芽更新も良好である (1)。条件の良いところでは、わずか 3-4 年生で樹高 2-5m に達する (10)。除草作業は不可欠であり、本種の直根の迅速な発達を促すために植栽地は適切に管理されなければならない (6)。

アグロフォレストリー

成熟した本種の樹冠下に育成した作物に対する収益効果を実証した試験が、CFUによってザンビアで4回の農業シーズンを通して実施され、4つの試験区全てにおいて、樹冠下で育成したトウモロコシの収量が樹冠区域外のそれよりも有意に高かったことが報告されている。本種の樹冠下でのトウモロコシの平均的な収量は約5トン/haに達し、対照区での平均値2トン/haよりも遙かに高かった。しかしながら、綿花、大豆及び落花生については有意差が観察されなかったという(9)。土壌窒素及び有機物が数倍増加したと相関し、土壌の保水能が改善されたことと相まって、本種の樹冠下での収量が増加したと考えられる(10)。

年降雨量が400-600mmの中湿性サヘル地域で、キビ(millet)、ピーナッツ及びモロコシ(sorghum)を本種の樹冠下で育成した例では、総体的な収量が約500kg/ha/年から900kg/ha/年に増加したと報告されている(Felker 1978), (10)。

分枝を促進し、葉の生産量を増加させるために、植栽後2年目に樹高の約半分の高さまで枝打ちすることが提唱されている。

剪定した枝は、住居地の周囲や家畜の囲い込み用の垣根用材として使用される(1)。

用材生産の人工林管理

条件の良いところでは、わずか3-4年生で樹高2-5mに達する(10)。

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=1>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Faidherbia_albida.pdf
- (2) Danida Forest Seed Centre (2000) Seed Leaflet No. 28 (*Faidherbia albida* (Del.) A. Chev.), DANIDA
- (3) P. Maundu and B. Tengnäs (2005) Useful Trees and Shrubs for Kenya, Technical Handbook No.35, p. 234, World Agroforestry Centre
- (4) O. Rouspard, A. Ferhi, A. Granier, F. Pallo, D. Depommier, B. Mallet, H. I. Joly and E. Dreyer (1999) Reverse phenology and dry-season water uptake by *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. in an agroforestry parkland of Sudanese west Africa, Functional Ecology 13, 460-472
- (5) P. Beckman (1992) Direct Seeding Experiments with *Faidherbia albida* in an Arid Environment, *Faidherbia albida* in the West African Semi -Arid Tropics, 137-138, ICRAF
- (6) S.A.N. Samba (1992) Regeneration of *Acacia albida* with Direct Seeding, *Faidherbia albida* in the West African Semi -Arid Tropics, 139-140, ICRAF
- (7) M.I Cisse and A.R. Kone (1992) The Fodder Role of *Acacia albida* Del: Extent of Knowledge and Prospects for Future Research, *Faidherbia albida* in the West African Semi -Arid Tropics, 29-37, ICRAF
- (8) D. Louppe and N'Klo Ouattara (1992) Growth of *Faidherbia albida* in Nurseries: Standard Production Techniques or Air Pruning?, *Faidherbia albida* in the West African Semi -Arid Tropics, 141-143, ICRAF

- (9) V. Shitumbanuma (2012) Analyses of Crop Trials under *Faidherbia albida* –Results of Crop Yields for the 2010/2011 Agricultural Season and Overall Summary of Yields and Yield Trends from 2008 to 2011-, University of Zambia
- (10) James A. Duke. 1983. Handbook of Energy Crops (*Acacia albida* Del.)
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Acacia_albida.html
- (11) P.J..Wood (1992) The Botany and Distribution of *Faidherbia albida*, *Faidherbia albida* in the West African Semi -Arid Tropics, 9-17, ICRAF

1 1) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.

(分類) マメ科 (Fabaceae) マメ亜科 (Papilionoideae)

(地方名) 英語: gliricidia, tree of iron, Mexican lilac

仏語: lilas étranger, madre de cacao, ポルトガル語: madre de cacao

スペイン語: bien vestida, desnudo florecido, piñón

クレオール語: piyon, フィリピン語: kakwate, インドネシア語: gamal

マレー語: bunga Jepun, タイ語: kha farang, ベトナム語: anh dào gisa

マメ科の小高木で、イピルイピル (*Leucaena leucocephala*) に次いで重要な多目的マメ科樹種といわれている。単に *Gliricidia* というと本種を指すことが多い。

形態と分布

樹高 2~15m の小高木で幹は単幹または複幹。樹皮は灰白色から暗赤褐色までさまざまであるが、主に灰褐色で、裂け目が入る。葉は複葉で互生し、長さ 30cm に達する。小葉は長さ 2-7cm, 幅 1-3cm, 楕円形で鋭端, 13-21 枚であるが先の小葉ほど大きい。花は枝の先端につき、白っぽいピンク色~青紫色で、通常基部が黄色味がかっている。莢果は扁平, 長さ 10-15cm で熟すと黄褐色になる。ひとつの莢には 4-10 の茶色の豆 (種子) が入っている。学名の属名, 種小名はそれぞれラテン語で「ネズミ殺し」, 「生垣」の意である。

エルサルバドル, グアテマラ, ホンジュラス, メキシコ, ニカラグア, パナマ, 米国南部など主に中央アメリカを原産とし, 中南米, アフリカ, インド, 東南アジア, マリ, モーリタニアなど全世界の亜熱帯~熱帯域に植栽される。海岸砂丘, 川岸, 氾濫原, 荒地など攪乱されたサイトの植生遷移初期~中期に出現する。深根性で勾配 40%以上の急な斜面にもよく定着する。低温に弱く, 気温 15℃未満で落葉や生育不良をもたらす。

生育環境条件

標高: 0-1,200 (1,600)m (1)

年降水量: 600-3,500mm (1)

年平均気温: 15-30℃ (1)

植栽適地: 自生地は火山性土壌が多く一般に酸性 (pH 4.5-6.2) であるが, 砂土や石灰土壌にも生育する。僅かに塩性の熱帯黒色土壌 (vertisol) で良い成長を示すといわれ, 強酸性土壌には耐えない。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

両生花で強い自家不和合性のメカニズムを持つ (他家受粉) 虫媒花で, black bee (*Xylocopa fimbriata*) が授粉者である。自然集団間での開花の同調性は無いものの, 集団内の開花・結実は同調し予測可能である。ただし, 原産地外の明かな雨季のない地域では一年を通して開花する。莢果は受精後, 3週間以内でフルサイズになり 35-60日 で成熟する。成熟した莢は勢いよく裂開し, その張力

で種子（豆）が飛散する距離は25mに達するので、攪乱された場所への迅速な定着を可能にしている。

重さ当たりの種子粒数は約8500粒/kgで、貯蔵方法は休眠タイプで、発芽力は外気でおよそ12ヶ月は維持する。

利用と生産物

生垣、飼料、被陰樹、薪炭材、緑肥や殺鼠剤 (5) など、さまざまな用途に利用される。生垣は僅か1ヶ月で1.5 - 2.0 mの高さになる (5)。萌芽力が強く断幹や強い刈り込みに耐えるので被陰樹に適し、アグロフォレストリーや茶、コーヒー、ココア園などで用いられる。また、攪乱地でも活着が良く成長が早いので、**土壌浸食防止**や迅速な土壌被覆に用いられる。また、緑肥や窒素固定作用による**土壌改良**効果もあるほか、乾季にほぼ完全に落葉するため水保全的な樹種とされている。また、**防虫剤**などの薬用にも利用され、ラテンアメリカの農家は本種の葉を砕いて作ったペーストで家畜を洗いヒトヒフバエの寄生を防いでいる。フィリピンでは外部寄生虫を除去するのにこの葉の抽出物が用いられる (2)。その他、以下のような用途がある。

食用（花）、**飼料**（葉は高タンパク、繊維とタンニン含量が少なく消化されやすい。本種を補助飼料として与えたときに乳と肉の生産量が改善されたことが大小の反芻動物で立証されている。本種を与えられた山羊は体重が増加し正の窒素収支を維持した。明かな毒性を示した反芻動物はないというが、インドとインドネシアでは家畜が食欲を示さず利用に限度がある報告されている。一方、コロンビアやスリランカなどの地域では、嗜好性の問題はなく乾季の重要な飼料となっている。）**農業利用**（ミツバチの養蜂）、**薪炭利用**（火持ちがよく煙が少ないので半湿潤熱帯の重要な薪炭材の一つである。5年生材の熱量は4550 kcal/kgである。）**木材**（辺材は明褐色、心材は褐色だが空気に晒されると赤褐色になる。材は堅く、肌理（きめ）は粗く、木目は不規則で耐久性があり、シロアリ耐性がある。用途は鉄道の枕木、農具、家具、建築、フェンスなど）、**毒物**（葉、種子、樹皮は米やトウモロコシと料理したり発酵したりすると人に害がある。毒性のメカニズムは未解明であるが、殺鼠剤や殺虫剤に適用可能なことが知られる）、**薬用**（抽出物は抗真菌性活性があり、去痰剤、鎮静剤、化膿抑止剤になることが報告されている。脱毛症、吹出物、あざ、火傷、風邪、咳、衰弱、丹毒、熱、骨折、壊疽、頭痛、かゆみ、あせも、リウマチ、皮膚腫瘍、潰瘍、蕁麻疹と傷の民間療法薬）。

植栽と下刈り

本種は軽度の被陰には耐えることができる。重度の被陰に対し苗木は生存することは可能であるが生長は望めない。しかし、3-4年被陰され生長が抑制された苗であっても、被圧している上木が除かれると、急速な生長を示す (2)。

アグロフォレストリー

早生の荒地植物であり自生地では焼畑にうまく適応しているが、ジャマイカではその旺盛な繁殖のために雑草とみなされている (3)。簡単に繁殖して急速に成長するので、成長の遅い樹種を裸地の再造林に導入する前のステップとして、表層土壌の流出防止のために植栽することが推奨さ

れてきた。World Agroforestry Centreによると、本種はアフリカ農業において重要な役割を果たすものになりつつある。アグロフォレストリーに向けた特性を合わせもち、例えば、土壌窒素を固定するので化学肥料の補給なく作物の収量を上げることができるうえにさらに、毎年作物の高さまで刈り払って何回も萌芽させることができる。刈り払うと休眠状態に入るので、作物との養分の直接的な競争がなくなり、作物は被陰から解放され十分な生育空間を得て育つことができる。そして作物が十分に背高く生長した後に、樹木は漸く休眠期を脱して成長を始めるという利点を持つ。

ケニアの半乾燥地でトウモロコシと混作した3-4年生の *Grevillea robusta* と *Gliricidia sepium* の細根量、土壌水分、作物収量を調べた結果、成長期の始めは樹木の根が優占するが作物の収穫期は樹木の根が枯死しトウモロコシの根が成長するので、樹木と作物の間には根の活動の時間的な棲み分けがあること、そして、*Gliricidia* は *Grevillea* より常に根の量が多く土壌水分が少ないこと、結果として、*Gliricidia* はトウモロコシの収量をおよそ50%、*Grevillea* はおよそ40%減らしたことが報告されている(4)。

一方、アグロフォレストリーに一般的な4種の樹木を対象に、樹木と作物の間のフェノロジーの違いが調べられている。樹種としては、*Melia volkensii* (自生種、年に2回落葉)、*Senna spectabilis* と *Gliricidia sepium* (外来種、年に1回落葉)、*Croton megalocarpus* (自生種、常緑)を対象とし、ケニアの雨季と乾季が年に2回ずつある地域でフェノロジーのパターンと気象条件の関係を調べた結果、中米産の樹種(*S. spectabilis* と *G. sepium*)は長い乾季に一度葉を落とすが、自生種(*M. volkensii* と *C. megalocarpus*)は2つの乾季でそれぞれ葉の被覆度を減じた。*G. sepium* は短い雨季の間も葉の被覆度を減じたままなので、作物との競合を減じているが、自身の成長量も減らしていると考えられる。これが、個別のアグロフォレストリーシステムで、有利であるか否かは、そのシステムにおける樹木と作物との相対的な経済価値に依存するだろう。

飼料や薪利用が目的として植林されることが多いので、枝打ちと頭木更新(Pollarding)が主な施業である。高さ0.3-1.5mの枝打ちが葉の生産量を促すことが知られ、頭木更新は、木質バイオマスの生産を高めるために高さ2mあるいはそれ以上の高さで断幹することが推奨されている。

木炭生産が目的の場合は、萌芽更新が用いられる。ルワンダでは低地における薪炭材の推奨樹種のひとつに掲げられ、樹高は低いが萌芽更新が旺盛であるとされている。

中央アメリカでは、薪生産のために1000-5000本/ha植栽し、5年間隔で収穫を行っている。アジアでの薪生産では、1 x 1mから2.5 x 2.5m間隔で植栽し、1~2年毎に剪定を行っている。

動物による枝葉の採餌(browsing)や幹枝の曲げ(looping)には強いとされる。

また本種は、コーヒー、紅茶、カカオ、コショウ、パッションフルーツやバニラ等作物の一般的な緑陰樹あるいは保護樹として用いられていて、様々な空間的配置が行われている。コーヒーやカカオの緑陰樹としては、一般的に10m x 10m間隔で植栽される。

用材生産の人工管理

材色は淡~濃いオリーブブラウンで、材は非常に堅く、重く、強靱で、不規則な木目を伴った粗い肌理(きめ)を持つ。乾燥が容易で、磨き加工にも優れている。耐久性が高く、住宅建築材やフェンスの支柱に利用可能である。現在、*Gliricidia sepium* は使用頻度の低い種(Lesser Used

Species) に位置づけられているが、市場価値の高い種の流通量の減少に伴い、それらのいくつかの種に置き換わる可能性を秘めている (6)。

病虫害

真菌類の *Cercosporidium gliricidiasis* が葉に黒縁で明褐色の小斑点を発生させることが広く報告されている。他の病害では、*Sirosporium gliricidiae* が痩せ地で落葉を引き起こすことや、コスタリカでは *Cladosporium* sp. が落葉を起こすことが報告されている。興味深いことには、イピルイピルに強い脱葉を起こすキジラミの一種 *Heteropsylla cubana* に対して本種が強い耐性を示すことがある。また、菌類の *Botryosphaeria*, *Nectria*, *Phomopsis* spp. が幹、枝の die-back を引き起こすことが中央アメリカ、アフリカ、アジアで報告されている。なお、自然分布域では、異常に小さな葉の出現に続いて先枯病が広く拡がったという報告がある (小葉病)。

虫害としては、鱗翅目の *Hylesia lineata*, *Erynnis* spp. 及び *Spodoptera* spp. のような食葉害虫が知られるが、中央アメリカでアブラムシによる大きな被害があった以外には新たな報告はない。

参考文献

- (1) Orwa C, A Mutua, Kindt R, Jamnadass R, S Anthony. 2009 Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0
<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>
- (2) Cook, B.G., Pengelly, B.C., Brown, S.D., Donnelly, J.L., Eagles, D.A., Franco, M.A., Hanson, J., Mullen, B.F., Partridge, I.J., Peters, M. and Schultze-Kraft, R. 2005. Tropical Forages: an interactive selection tool., CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia.
http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Gliricidia_sepium.htm
- (3) Elevitch, C.R., Francis, J.K. 2006. Species Profiles for Pacific Island Agroforestry., Permanent Agriculture Resources (PAR), USA, 18pp
- (4) Odhiambo, H.O., C.K. Ong, J.D. Deans, J. Wilson, A.A.H. Khan¹ & J.I. Sprent . 2001. Roots, soil water and crop yield: tree crop interactions in a semi-arid agroforestry system in Kenya. *Plant and Soil* 235: 221–233, 2001
- (5) Broadhead, J.S., C.K. Ong, C.R. Black. 2003. Tree phenology and water availability in semi-arid agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 180: 61–73
- (6) Oluwafemi, O.A. and Adegbeniga, S. O. 2007. Preliminary Report on Utilization Potential of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud for Timber. *Research Journal of Forestry*, 1: 80-85.

1 2) *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.

(分類) ヤマモガシ科 (Proteaceae)

(地方名) 英語: Silky oak, Silk oak, Grevillea, River oak, Silver oak

アフリカ地方: シンデベレ語 kangiyo, スワヒリ語 mgrivea, mukima

形態と分布

通常は樹高が 12-25m, 最大で 40m に達する中型木～大型木で, 樹冠は円錐形で, 密度が濃く, 枝が上向きに突出する。主幹は通直で, 枝のない状態が最大 15m まで続き, 胸高直径は 80cm, 最大で 120cm に達する。通常, 板根は発達しない (1)。

本種は 2 つの自然条件の異なった生息域を持っている。*Castanospermum australe* あるいはリバーオーク (*Casuarina cunninghamiana*) と共棲して河畔熱帯雨林を形成するか, フープパイン (*Araucaria cunninghamii*) が優占する vine forest の構成種の一員となるかである。

生育環境条件

標高: 0–2,300m (1)

年降水量: 600–1,700mm (1)

生育土壌 (自然分布): 河畔域の弱酸性から中性の浸水が発生しない沖積土壌において良好に成立する (1)。

水分条件: 乾季に葉の殆どを落とし蒸発散量の調整を行うことにより, 6 ヶ月間までの乾燥状態に耐える (1)。

植栽適地: 天然には, 夏に雨量が最大となる地域に分布するが, 冬に最大になる地域や年 2 回降雨の山がある地域でも生育は可能である (1)。陽樹 (光要求) であり, 壤土が好ましく, 水はけの良い弱酸性から中性の土壌を好む (7)。

根 系: 深根性であり, 浅根性の作物とほとんど競合しないため, バナナ, トマトなど農作物との混植が可能である (1)。

開花結実・植物季節 (フェノロジー)

開花は地域の気候条件に左右され, 乾季に見られる。年間を通して降雨が見込まれる地域では, 開花は常に行われる可能性を持ち, 例外的には年間を通して開花が見られることもある。しかし, その場合の着花量は開花期が限定されている場合に比して少なくなる。

開花と結実は, 早ければ最初の生長期の終わり頃に見られることがあるが, たいていの場合は樹齢が 5 年生になってから開始される。

利用と生産物 (1)

養蜂: 金色の花はミツバチの嗜好性が高く, 重要な蜜源植物となっている。本種の蜂蜜は濃い琥珀色で, 濃度が高く, 非常に強い風味を持っている。

燃料: 本種は薪炭原木として一般的に使用されている。また, 蒸気機関車や蒸気船や小規模工業の燃料源としても使用されてきた。辺材の発熱量は約 4800 kcal/kg, 心材のそれは 4950 kcal/kg

と、心材の方がやや高い発熱量を持つ。

繊維：材の平均的な繊維長は 1.5mm，太さは 26μm（マイクロメートル）で，パルプの生産に適している。

樹脂：その溶解度，粘度，加水分解に対する比較的高い抵抗性により，本種の樹脂はある種の工業的用途を有する可能性がある。

緑陰・防風：本種はコーヒー農園や茶畑の緑陰樹としてよく知られている。また，その樹形（密に葉を着けて広がった枝張り）により，本種は理想的な防風林用樹として機能する。しかしながら蒸発散量は高い。

植栽と下刈り

4-6 ヶ月間育苗し，苗高が 30cm に達したものを植栽する (8)。植え付けには，播種後 6-8 ヶ月を経て 20-30cm に達した苗を用いる。最初の 1，2 年間は除草が必要である (9)。

若い木は高い萌芽能力を有し，断幹，ひこばえ，挿し枝からも繁殖させることができる。

アグロフォレストリー

ケニアには当初，コーヒー園等の庇陰樹として導入された。

深根性であり，浅根性の作物には若干の影響しか及ぼさないため，バナナ，トマト等との相性は良く，それらの作物との間作は成功するとされている (1)。

ケニアにおいて 1996 年から 1997 年の大雨季に 3-4 年生の *Grevillea robusta* と *Gliricidia sepium* の植栽地にトウモロコシの間作を行い，土壤含水量，作物収量及び細根の発達状況を分析した結果では，*Gliricidia* は *Grevillea* と比較して常に細根を多く発達させていることが確認され，*Gliricidia* は *Grevillea* よりもトウモロコシとの競合割合が高かった。総体的には，*Gliricidia* の植栽は作物の収量を約 50%，*Grevillea* は約 40%減少させた。樹木の植栽を行った試験区は対照区に比して土壤水分が少なくなった。*Gliricidia* の植栽を行った試験区は *Grevillea* の植栽を行った試験区よりも土壤含水量が少なくなった。すなわち，*Grevillea* は *Gliricidia* に比して水分消費量が少ないことが証明された。

逆に，ケニアで *Paulownia fortunei*（桐の一種）との比較を行った事例では，作物の減収は *Paulownia* では無視できる程度であったのに対し，*Grevillea* はトウモロコシの収量を 36%減少させたとの報告もある (6)。*Grevillea* の植栽後 2 年間は，樹下に植栽した作物の収量に有意な影響を与えなかったが，その後は大幅な減収となり，トウモロコシの収量は単体で育成した場合の半分以下に落ち込んだことも報告されている (5)。

しかしながら，*G. robusta* は，木材を得るために剪定や頭木作業により繰り返し丸裸にされても再生できる性質を持っている。これらの施業により隣接する作物との光や水の競合を調整できることが期待できる (1)。

また，*Grevillea* の根切りを行うことにより，作物との水競合を低減できることがいくつかの研究成果で証明されている。ケニアの事例(7) では，いくつかの農家はその効果を確信していたことが報告されている。ただし，大半の農家は効果を疑問視したことと *Grevillea* の生長への悪影響を恐れ，根切りを行わなかったという。

作物の減収と *Grevillea* の育成による附加収益とのバランスを慎重に検討することが不可欠である (2)。

用材生産の人工林管理

ケニアでは、薪や支柱用材を生産するために、繰り返し剪定や頭木施業による更新が行われ、最終的には鋸材用に伐採される。*Grevillea* は材密度 $540\text{--}720\text{kg/m}^3$ 、含水率 15% の、中程度の重量の心材を産する。材は経済的な価値を有し、手工具や機械での加工が容易である。材は、鉄道の枕木、合板、パネル、貨物の枠材、家具、寄せ木細工、挽物、ボート用材、内装材、木工、フローリング、箱材、玩具、小物等、広い用途を持つ (1)。

成長は比較的早く、気候や土壌が適した土地で雑草との競合が厳しくない地域で、農地に列状植栽された場合には、初期の数年間の樹高及び直径生長は、それぞれ 2m、2cm/年に達する (1)。

植栽密度は 800-1,200 本/ha が推奨され、苗は通常、2.5-3 x 3-4m 間隔で植栽される (1)。

薪炭材の生産には、10-20 年伐期が適用され、年 $5\text{--}15\text{m}^3/\text{ha}$ の成長が見込まれる。20 年生を越すと生長量が衰えることが報告されている (1)。



写真 36: 総状花序を形成し、花色は日を追う毎に淡橙色から赤色に変化



写真 37: *Grevillea robusta* の幼苗



写真 38: 材木としての利用価値があり、学校林の植栽にも用いられる



写真 39: 農耕地での植栽事例(アロパシーのためか、作物の育成は断念されていた)



写真 40: 土地の境界を示すために植栽された事例(内側は農耕地)

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=921>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Grevillea_robusta.pdf
- (2) J.E. Lott, A.A.H. Khan, C.R. Black, C.K. Ong (2003) Water use in a *Grevillea robusta* –maize overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya, Forest Ecology and Management 180 (2003) 45–59
- (3) D.M. Smith, N.A. Jackson, J.M. Roberts¹ and C.K. Ong (1999) Root distributions in a *Grevillea robusta* -maize agroforestry system in semi-arid Kenya, Plant and Soil 211: 191–205
- (4) J.E. Lotta, S.B. Howarda, C.K. Ong, C.R. Blacka (2000) Long-term productivity of a *Grevillea robusta* -based overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya: I. Tree growth, Forest Ecology and Management 139: 175-186
- (5) J.E. Lott, S.B. Howard, C.K. Ong, C.R. Black (2000) Long-term productivity of a *Grevillea robusta* -based overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya: II. Crop growth and system performance, Forest Ecology and Management 139: 187-201
- (6) C.W. Muthuri, C.K. Ong, C.R. Black, V.W. Ngumi, B.M. Mati (2005) Tree and crop productivity in *Grevillea* , *Alnus* and *Paulownia* -based agroforestry systems in semi-arid Kenya, Forest Ecology and Management 212: 23–39
- (7) Anna Büchi (2007) Water competition in an agroforestry system of *Grevillea robusta* / live fences and maize in the semi-arid to semi-humid highlands of Mount Kenya, Thesis, Bern University
- (8) Kenya Forestry Research Institute, Tree Seed Information Leaflet, Leaflet No. 11 (*Grevillea robusta*)
- (9) Danida Forest Seed Centre (2000) Seed Leaflet No. 15. (*Grevillea robusta* Cunn. ex R. Br.)

1 3) *Melia volkensii* Guerke

(分類) センダン科 (Meliaceae)

(地方名) アフリカ地方 : Mukau

形態と分布

樹高は通常 6~25m, 最大胸高直径 25cm の落葉高木。幹は滑らかな灰色で、樹冠幅は広い。葉は明るい緑色で複葉。葉長は最大 35cm になる。

ケニア, エチオピア, ソマリア及びタンザニアの半乾燥地域に分布する。降水量 300mm~800mm, 標高 350m~1,680m の地域に自生する。根は水平に広がり、他の植物との水分競争に強い。砂地や粘土、薄い礫層がある土壌など、ほとんどの土壌で生育することができるが、水はけの良い土壌を好む。年中流れがある川の沿岸に生育した記録はないが、季節によって流量の変化する川の沿岸などに出現する。

生育環境条件

標高 : 350-1,680m (17)

年降水量 : 300-800mm (17)

生育土壌 (自然分布) : 砂質, 粘土質及び浅い礫質土壌で生育する (17)。

水分条件 : 一般的に排水性が高い土壌を好むが、ケニアの事例では排水不良として分類されている土地でも生育が可能だったことが報告されている (17)。

植栽適地 : 本種は砂質土壌にて良好な生長を示すが、排水性が良ければ砂壤土の方がむしろ好ましいとされる (18)。

根 系 : 深根性であるため、牛耕農法の影響は最小限に抑えられる (17)。根腐れを起こしやすいので、マイクロキャッチメント等で集水を行う場合は植栽位置を工夫する必要がある。

開花結実・フェノロジー

花は小さく白色、年に 2, 3 回開花するが、季節パターンはない。ケニア国キツイ県のティバ試験林での開花は、2010 年は 7 月, 2011 年は 2 月と 3 月, 6 月, 2012 年は 1 月と 2 月の 4 回あった。虫媒花で、自家受粉もするが、交配のメカニズムは必ずしも明らかではない。ケニア東部のキブウェジでは、年に 1 回、9 月から 11 月に開花した。果実は、長さ 3~4cm で卵型の核果である。1 つの果物に 1 つの種子を含む。通常、開花の 12~13 ヶ月後に熟すと言われているが、キブウェジでは、6~8 ヶ月で成熟し、開花した翌年の 3 月から 8 月には繁殖能力を持つ種子となる (Omondi et al, 2004)。ティバ試験林では 2010 年 7 月と 8 月, 2011 年 2 月, 2012 年 2 月の 3 回結実が認められた。種子は楕円形で、長さ 2cm, 幅 0.5cm。ティバ試験林では 6 月と 10 月 (2011 年) に多くの種子が落下した。

ティバ試験林では、乾季の訪れと共に速やかに落葉が起こり、ほとんどすべての葉が落葉している。1~2 月, 6~10 月の植被率は概ね 40~55% となり、1 年の半分は樹冠が 50% 程度開いている状態であった。雨季 (3~5 月, 10~12 月) の降雨が始まると、新しい葉を展開させ始め、植被率は概ね 60~80% となる。葉量は降雨量に依存する。肥大生長は、展葉が終わる 3 月と 10 月下

旬から旺盛になる。

水利用の生理生態

根が水平的に広がり、他の植物との水分競争に強い (Mulatya et al., 2002)。枝の比断面積水分通導度が高く、道管サイズも比較的大きいため耐乾性に優れ、成長速度も速い (Kondoh et al., 2006)。乾季に落葉するため、渇水期の水の使用量が少なく (Broadhead, 2000, Rumley et al; 2006)、水ストレスを受けにくい。さらに水ストレスは、膨圧を失うときの浸透ポテンシャルおよび相対含水率、さらには葉の最大量子収率にも影響せず (矢幡, 2001)、先枯れを起こさない (Kondoh et al, 2006)。

近縁樹種の *Melia azedarach* (和名:センダン)は、熱帯・亜熱帯地域の比較的湿潤な地域で生育しており、植栽樹種として有用な落葉広葉樹である。*M.volkensii* と *M.azedarach* の若木に乾燥ストレスをかけると、*M.volkensii* は *M.azedarach* より落葉が遅かった。両樹種とも、水ストレスに対して気孔閉鎖による蒸散抑制が認められたが、*M.azedarach* は葉の水ポテンシャルが大幅に低下したのに対し、*M.volkensii* は一定を保った (倉田, 2013)。ティバ試験林に造成された *M.volkensii* と、アフリカやアジアの乾燥・半乾燥地域に生育し、材として利用されている *Acacia senegal* の蒸散特性、葉の水ポテンシャルを比べると、*M.volkensii* は *A.senegal* よりも高い含水率で初発原形質分離を起こし、蒸散による失水は光合成活性に影響しやすいたことが示唆された。一方で、*A.senegal* よりアポプラスト*4) に多くの水分を有しているため、細胞の失水はアポプラストからの吸水で補え、日中に葉の水ポテンシャルが大きく減少することがなかった (溝淵, 2013)。

樹高 6.6m、幹直径 8.8cm の *M. volkensii* を標本木として幹部と根部の樹液流速度 (cm/hr) を測定した結果では、雨季には最大 12.4cm/hr、乾季にはほぼ 0.9 cm/hr を示し、根部では最大 17.7cm/hr、乾季にはほぼ 0.0 cm/hr であった。2012 年の雨季 (6 月～8 月) の樹液流速度は、2011 年 6 月～8 月よりも遅く、2011 年の乾季は非常に厳しく、2012 年よりも多くの落葉が起こっていたことが推測された。

*4) 植物体の内部で各細胞の細胞膜の外側の部分

利用と生産物

用材：生長が早く、材はシロアリ抵抗性に優れ、柔らかいため加工がしやすいことから材としての評価が高い。耐久性が高く、建築材や家具として用いられ、経済的価値は高い。

飼料：小枝、葉、果実は、エサが少ない乾季に貴重な家畜の飼料になる。落下した果実はヤギに摂食される。果肉は約 10%の粗脂肪と 12%の粗タンパク質を、成熟した葉は 5%の粗脂肪と 21%の粗タンパク質を含有することが報告されている (1)。

養蜂：花は良質の蜜源になるほか、本種の材が成形加工が容易であることから蜂の巣箱を作るのに使用される。

その他：果実を漬けた水は殺虫成分を含み、古くからノミやダニの防除に用いられる。サバクトビバッタや蚊の繁殖を抑制する効果も報告されている。

これらの効果により、アグロフォレストリーに用いられる樹種のうちでも農民が最も好む樹種の一つとなっている。

植栽と下刈り

（育苗）種子は常温保管とするが、発芽率が下がるので、入手後はなるべく早く蒔きつけるのが望ましい。種子は、沸騰させた熱湯に水を足して 30℃程度にした水につける。その前処理として、種子の端を折って水が浸透しやすいようにする。浸水時間は 12 時間程度なので、前日の夕方に浸水して、当日の午前中には蒔き付けまで完了させる。蒔き付けるために、浸水して水分を含んだ種子の外皮にカミソリやカッターナイフで切れ込みを入れる。発芽したらピンセット等で外皮を除去して、2～3 日生長させる。発芽して本葉が出たのち、深底ポットに移植する。幼苗時は毎日灌水を行う

（植栽）ケニアで行われた人工造成技術の改良では、雨水の有効利用のためのマイクロキャッチメント法や植栽木と雑草の水分を巡る競争を緩和するための技術（潔癖除草）などが導入された (KEFRI, 2003 ; 矢幡, 2001)。 (矢幡, 2008) によると、マイクロキャッチメントの設置によって雨水の地表流下水量が抑制され、土壌含水率が向上した。

用材生産の人工林管理

建築材として利用するためには、大きく太い樹幹の個体を早く生長させることが望まれる。ケニア国キツイ県ティバの植栽間隔の異なる林分の生長過程より、樹高は植栽密度の影響を受けず、どの密度区でもほぼ同じ平均樹高となった。植栽後 10 年目には、樹高と胸高直径の関係から推定した最大樹高に達し、樹高成長は頭打ちになった。樹高と同様に、胸高直径も植栽 2 年目から 3 年目の間で最も良く成長し、その後成長量は急速に減少した。その結果、植栽 2 年目までは植栽密度との関係はみられなかったが、植栽 3 年目には密度効果が認められるようになり、植栽密度が高いほど胸高直径が小さくなる傾向がみられた。植栽 10 年で、4.0m 区の 80%以上が樹高 12m 以上、胸高直径が 7cm 以上であり、他の区と比べて、長く太い原木を多く生産できることがわかった。



写真 41: ケニア国マクエニ県での植栽事例(植栽間隔は 5 x 5m)



写真 42: 花は白色で香りを持ち、円錐花序を形成する



写真 43: *Melia volkensii* の果実
多肉質の中果皮に包まれている



写真 44: 種子は硬厚質の内果皮に包まれる



写真 45: 内果皮は硬く、専用の Cutter で切断する



写真 46: 内部には通常 2-4 個, 最大 5 個の種子が内包されている



写真 47: 取り出した種子は浸水処理をし、その後種皮をナイフで傷付ける



写真 48: 浸水処理後 12 時間程度で育苗トレイへ播種する



写真 49: 育苗ポットに移植された苗発芽後直ちにポットに移植する



写真 50: 4-6 ヶ月養生し、苗高 30cm 程度になったものを植栽する

参考文献

- (1) Broadhead, J.S. (2000) Ecophysiology of indigenous trees in Agroforestry systems in the semi-arid tropics, Doctor thesis :University of Nottingham.
- (2) Dorthe Jøker, DFSC (2003) , *Melia volkensii* Guerke, SEED LEAFLET, SEED LEAFLET, No. 71.
- (3) KEFRI (2003) 技術開発成果集。TIVA PIROT FOREST- JICA-SOFEM プロジェクト, 32 頁。
- (4) Kondoh, S., Yahata, H., Nakashizuka, T. and Kondoh, M. (2006) Interspecific variation in vessel size, growth and drought tolerance of broad-leaved trees in semi-arid regions of Kenya. *Tree physiology*, 26:899-904.
- (5) 倉田彩子 (2013) 乾燥ストレスが *Melia volkensii* と *Melia azedarach* に与える影響. 岡山大学 卒業論文 (未公刊)
- (6) 溝渕俊彰 (2013) ケニア半乾燥地における主要造林樹種の成長と生態生理特性. 岡山大学修士論文 (未公刊)
- (7) Omondi, W., Maua, J.O and Gachathi, F.N. (2004) Tree seed hand book of Kenya (2nd Edition). Nairobi, Kenya. 284pp.
- (8) 藁科明日香 (2012) ケニア半乾燥地の植栽密度林の生態. 岡山大学修士論文 (未公刊)
- (9) 矢幡久 (2001) ケニア半乾燥地社会林業普及モデル開発計画。短期専門家報告書, 41 頁。
- (10) 矢幡久 (2008) 熱帯林の保全と造成—木作りは人作り・国作り—。熱帯農業研究 1 (1), 25 頁。

- (11) 大藪崇司・大久保智佳子・溝渕俊彰・吉川賢（2012）植栽密度の異なる *Melia*, *Acacia* 試験林におけるフェノロジーおよびリターフォール。「平成 24 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」（財団法人 国際緑化推進センター）
- (12) 大藪崇司・溝渕俊彰・吉川賢（2012）メリアの樹液流について。「平成 24 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」（財団法人 国際緑化推進センター）
- (13) 吉川 賢・藁科明日香・溝渕俊彰・大藪崇司（2010）ケニア国森林研究所(KEFRI)の Tiva 試験地（キツイ支所所管）における天然林および人工林（アカシア *Acacia senegal* とセンダン *Melia volkensii*）の林分構造と生育経過についての初年度調査結果。「平成 22 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」（財団法人 国際緑化推進センター）
- (14) 吉川 賢・藁科明日香・溝渕俊彰・大藪崇司（2011）ケニア半乾燥地の植栽密度試験の生態・生理調査結果。「平成 23 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」（財団法人 国際緑化推進センター）
- (15) 吉川 賢・溝渕俊彰（2012）ケニア半乾燥地域の密度試験地における生育木の生態・生理調査。「平成 23 年度 森林・水環境保全のための実証活動支援事業 報告書」（財団法人 国際緑化推進センター）
- (16) Rumley, R., Muthuri, C. and Ong, C. : More trees with less water. World Agroforestry Center (ICRAF) Synthesis Publications,
<http://www.worldagroforestry.org/water/downloads/Synthesis%20Publications/decidious%20tree%20leaflet%20compressed.pdf>, 2011/2/7
- (17) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=1142>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Melia_volkensii.pdf
- (18) Angaine, P. M. (2011) Tree Seed Information Leaflet, Leaflet No.42, *Melia volkensii*, Kenya Forestry Research Institute

1 4) *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

(分 類) マメ科 (Fabaceae) ネムノキ亜科 (Mimosoideae)

(地方名) Mesquiteメスキート, Velvet mesquite, Mathenge (ケニア)

形態と分布

樹高は時には 20m を超える場合もあるが、たいていは高さ 2-3m の灌木から 10m 前後の低木である。短く曲がった樹幹が叢生するため、樹冠が広く広がって傘状となり、しかもその枝先は地表に接する。枝はジグザグに伸び、各屈曲点には托葉が変形した一對の長い棘を有する。長さは 0.5-7cm ほどあるため、高密度の林分では林内に入ることができなくなる。葉は羽状複葉で、先端が丸く、無毛の 5-10cm の狭長な小葉を 10-15 対生する。

北米（コロンビア、ベネズエラ）、中米（グアテマラ、ホンジュラス、パナマ）、南部カリブ諸島（西インディー）に自生。降雨量 150-700mm、気温 50℃の高温乾燥の半砂漠に生育できる。標高 0-1500m に分布する。

標 高：0-1,500m

年降水量：150-700mm

生育土壌（自然分布）：砂質から重粘土質、さらには礫の多い土壌、アルカリ土壌、塩性土壌などほとんどの乾燥土壌で成育できる。

水分条件：根系が広く拡がり、広域から水分を集めることができるので、耐乾性に優れている。

植栽適地：ほとんどの乾燥土壌で成育できる。耐塩性が高く、インドの半乾燥地で、塩分が高く乾燥した状態での炭素固定量は 49t/ha で、ユーカリやアカシアより多い (Kumar et al., 2012)。地下 10-15cm のところに休眠芽を持っているので、火事や伐採で地上部が失われても容易に萌芽更新することができる。種子の生産量が多く、長く休眠することができるので、林床にシードバンクが形成される。ただし、塩ストレスで発芽率は低下する (Rafiq, A. et al. 1994)。

根 系：深根性で 20m を超える垂直根と樹冠の外まで伸びる水平根を持つ。

開花結実・フェノロジー

花は長い筒状花穂の中にあり、整形花で花冠は 5 弁。2-3 年生で開花を始め、受粉はハチなどの様々な昆虫によって行われる。果実生産量も多い。

長い莢果は裂開せず、多肉質で成熟すると黄色っぽくなる。長さは 10-15cm で、8-15 個の種子を含み、種子と種子の間はわずかに細くなる。

種子は硬く、長さ 2.5-7mm、幅 1.5-4mm の長楕円形。表面はなめらかで薄茶色。34-40g/1000 粒 (25000-30000 粒/kg)

その他の特記事項

・砂漠化対策のために導入される

本種は 1822 年にセネガルに導入され、次いで 1880 年に南アフリカ、1900 年にエジプト、さらに 1917 年にスーダンと続き、ケニアには 1973 年に導入された。1980 年代になって砂漠化対策の

切り札として FAO の後押しのもと、各地で大規模な植林が実施され、その分布域は急速に拡大した。しかし、1990 年代になると農地や牧草地への侵入が問題となり、スーダンでは 1995 年には侵略的移入種として完全に駆除することが決まった。ケニアでも導入から 20-30 年して駆除が課題となった (Jama & Zeila, 2005)。特に農業地帯では大きな問題となっており、本種の防除技術の開発は急を要する課題となっている。

一方で、砂漠化土地の拡大に直面している地域では、本種の植林停止、完全駆除は驚きを持って迎えられた。すなわち、砂漠化対策の植物として導入を決めたときの本種の持つ様々な利点を今も享受している地域があり、突然の方針転換は新しい環境問題を引き起こすことになる。FAO の推薦を全面的に受け入れて始まった大規模な植林が、現在各地で本種の跋扈を許すことになった。そこで今度はすべての本種の植林をやめ、林分の管理もせず、駆除に進もうとしている。これは糞に懲りて膾を吹くがごとき対応である。

・貧者の木（利用）

流砂地帯での砂丘固定や浸食防止、砂漠化土地では窒素固定や有機物供給による土壌改善や植生回復などの効果がある。材は硬く、重く、耐久性があり、腐朽耐性が高い。太い材とならないので、建築材としては限界があるが、薪炭材や家具材として優れている。杭にもなる。花から蜜が、樹皮からタンニンが、樹液からゴムがとれる。莢と葉は家畜の飼料となる。乾燥した莢を砕いた粉はアメリカインディアンの伝統的な食料である。有機肥料として施用するとソルガムなどの成長を促進する (Daldoum & Musa, 2012)。さらに、本種による河畔林の再生で、野生動物や鳥の生息域が確保される (Rorabaugh, 1995)。メキシコでは薪炭材の他に様々な用途に大量に利用されたために、本種の林が破壊され、資源が枯渇してきている (Almanza & Moya 1986)。

一方で、栄養価の高い実を家畜が食べ過ぎると死ぬこともある。成長が早く、高密度な林分を形成するので、在来の生態系を攪乱させ、生物多様性を減少させる。牧草地に侵入すると牧草が減るし、肥沃な農地に侵入して作物生産を阻害し、農業生産に脅威を与えるので、人々の生活に深刻な影響を与える手に負えない有害植物と見なされている。これらの被害対策として完全な駆除が求められている。

しかし、どこでも本種が問題になっているわけではない。場所によっては有用樹である。本種がなければ砂漠化は阻止できないし、家畜の飼料も不足する。土地を持たない貧しい人々にとって、炭や薪になる本種は現金収入の唯一の道であり、自分が使う薪や家畜の餌としても重要である。この「貧者の木」を農民も炭や薪として使っている。本種から受ける利益は、被る不利益よりも数段勝っているとの報告もある。

・原産地のシナリオ

本種は砂漠化対策として導入された多くの国や地域できわめて強い侵略性をしめしているが、その原産地においても草原への侵入が問題となっている。

南西アメリカのチワワ砂漠や北部メキシコでは、ここ 100 年の間に、長年の過放牧による水環境や土壌特性の変化が契機となって、至る所の草原に本種が侵入し、定着、優占し、大規模な繁茂が引き起こされている。

・侵入地のシナリオ

砂漠化対策として砂漠化した土地に導入された場合、競争相手はいないので、植栽後は急速に

成長し、数年で種子を生産するようになる。毎年生産される大量の種子が家畜によって広域に散布されて、新しい土地へ侵入していく。大型で根系が十分に発達した個体は高い耐乾性を示すが、発芽直後の個体は根系が未発達なために十分な水を確保することができないにもかかわらず、蒸散抑制の能力が低い。そのため、草原で発芽しても、周囲の植物との競争に負けて、容易に定着することができない。したがって、管理が行き届いている農地や草原には入り込めないが、放棄された農地などには容易に侵入して繁茂する。

・防除手段

小型の個体の場合には、除草剤を散布したり、火をかければ比較的簡単に駆除できる。発芽したての稚樹なら人力で除去することもできる。しかし、大型の個体の場合、地上部が伐採されたり、焼かれても、地下 15cm 辺りにある休眠芽から速やかに萌芽するので、効果は期待できず(Brock, 1985)、いったん成立してしまった本種を完全に駆除するのは難しいし、費用もかかる。

・対策のシナリオ

まだ侵入していない土地では、侵入直後は発芽したての稚樹の刈り取りなどの初期対策が有効である。管理の悪い草原や放棄された農地は侵入される危険が高いので、土地を荒廃程度によって分類し、侵入に対して早期に対処するための警戒システムの確立が急務である。同時に、広域での先行的な予防措置として、侵入の可能性のある草原、すなわち環境、立地の劣化が起こっている草原では、植生回復を図るなどの侵入防止対策が必要である。人海戦術で掘り取るのも有効であるが、実施できる範囲が限られている。

本種は定着すると、はじめは小型の個体で高密度な林分を形成する。その林分は棘があり、林内に入ることもできず、周りの生態系に大きな被害を与える。しかし、個体が成長してくると、樹冠の下では牧草もよく育つし、材も良質なものになる(Patch & Felker, 1997)。いったん侵入を許すと、駆除は難しくなるので、高密度小個体の林分はこれ以上広がらないようにするとともに、質の高い大型の個体からなる林分に誘導するのが効果的である。たとえば、幹を全部伐採すると、新しく萌芽が出てくるが、枝打ちをすると、残った幹が大きくなるので、枝がはびこる被害は軽減できるし、高品質の材を生産することができる。あるいは、全部を刈り取るのではなく、棘の小さい個体を残して、棘の大きな個体が侵入して大きくならないようにすることもできる。

引用文献

- Almanza SG, Moya EG (1986) The uses of Mesquite (*Prosopis* spp.) in the highlands of San Luis Potosi, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 16, 49-56
- Brock JH (1985) The growing need for integrated brush management. *Rangelands* 7(5), 212-214
- Daldoum DMA, Musa SM (2012) Effects of mesquite (*Prosopis juliflora*, Swartz, DC) namure and NPK fertilizer on growth and yield of forate sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Agricultural Reserch and Reviews* 1(5), 174-179
- Jama B, Zeila A (2005) Agroforestry in the drylands of eastern Africa: a call to action. ICRAF Working Paper – no. 1. Nairobi: World Agroforestry Centre, 29pp.
- Kumar, M., Dagar, J.C., Gupta, S.R., Khanna, M., Choudhri, S.K. and Lal, K.(2012)Salinity effects on

growth, biomass production and transpiration rate of selected tree species in a semi- arid region of southern Haryana, India. *Discovery Science*, 2, 6: 64-76.

- Patch NL, Felker P (1997) Silvicultural treatments for sapling mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*) to optimize timber production and minimize seedling encroachment. *Forest Ecology and Management* 96: 231-240
- Rafiq A, Ismail S, Moinuddin M, Shaheen T (1994) Screening of Mesquite (*Prosopis* spp.) for biomass production at barren sandy areas using highly saline water for irrigation. *Pak. J. Bot.*, 26(2): 265-282.
- Rorabaugh JC (1995) A superior accession of western honey mesquite (var. *torreyana*) for riparian restoration projects. *Desert Plants*. 11(4): 32-40

1 5) *Senna siamea* (Lamarck) Irwin et Barneby

(分 類) マメ科 (Fabaceae) ジャケツイバラ亜科 (Caesalpinioideae)

(地方名) 英語 : Iron wood, Siamese senna, Bombay blackwood, Black-wood cassia, etc.

タイ語 : Khilek, Khilek luang, Khilek-yai, Phak chili, Khilek ban

スワヒリ語 : Mjohoro

形態と分布

樹高 18m に達する中型の常緑樹で、通直に育つ幹は直径 30cm に達する。ただし主幹は短く樹冠は通常は密度濃く円形に発達し、後に不規則となり垂下枝を広げる。樹皮は灰色あるいは淡褐色で、平滑であるが、樹齢を増すと共にわずかな亀裂を生ずるようになる。本種は様々な条件下で生育可能であるが、季節性を持った低地熱帯地域が特に生育に適している。

生育環境条件

標 高 : 0–1,200m (1)

年降水量 : 400–2,800mm (1)

生育土壌 (自然分布) : pH が 5.5-7.5 の深く排水性の良い肥沃な土壌条件下で最も良好な生育を示すが、排水が不良でなければ劣化したラテライト土壌でも生育が可能である。アルカリ性土壌での育成は適さない (1)。

水分条件 : 地下水に根が到達可能な場合にのみ生育し、乾季の長さは最大でも 4-8 ヶ月を超えないことが必要である (1)。

植栽適地 : 様々な条件下で生育可能であるが、季節性を持った低地熱帯地域が特に生育に適している (1)。

根 系 : 根系は、かなりの深さまで伸張する少数の太い根と、地下 10-20cm の深度に密度濃くマット状に発達する細根によって構成される。細根の先端は成熟木では幹から 15m の位置にまで達する (1)。

開花結実・フェノロジー

多数の色鮮やかな黄色の花で構成され直立する花房は、小枝の先端に発達する。2-3 年生から開花と結実を開始する。ひとたび開花が開始すると年間を通して豊富に着花するようになる。

利用と生産物 (1,2)

燃材 : 本種の密度が高く、色の濃い材は、燃焼すると多少の煙を生じるが良質な燃材となる。材のエネルギー価は 22,400 キロジュール/kg で、材密度は 600-800kg/m³ である。1 キロジュールの熱量で、0℃、5g の水を 50℃ 上昇させることができることから、本種の材 1kg で 50 リットル以上の水を沸騰させることができる計算となる。材は、以前は蒸気機関車の燃料として使用された。また、炭の品質も優れている。

飼料 : 本種は飼料木として広く一般的に育成されている。しかし、本種の葉、花及び莢果が含有しているアルカロイド及び他の二次植物成分は、豚、家禽のような単胃動物にとって極めて有

毒であり，これらの動物は本種と隔離して飼育することが推奨されている。

タンニン：本種の全ての部位からタンニンを採取することができるが，その濃度は葉 17%，樹皮 9%，莢果 7%と若干異なっている。

土壌浸食防止：本種を生垣状に植栽することにより，表面流下水の表土への浸透が促され，流下量を低減し効果的に土壌浸食を防止することができる。

土壌改良：本種の葉は緑肥として使用可能であり，十分に成熟した木は 500kg/年/本の葉を生産することができる。外生菌根を形成することから，特に間作農業において非常に有用な腐葉土を提供する。

アグロフォレストリー

本種は窒素固定菌との共生は行わないが，その萌芽更新能力及びバイオマス生産量の高さが評価され，間作農業用の樹木として用いられる事例が増加してきている。本種は沿道やココア，コーヒー及び茶農園の緑陰樹としても育成される。また，密生させて防風林として造成されることもある。

剪定に対する耐性が高いことから農地の周囲の生垣として，剪定しながら使用される。

本種は防風林としての植栽には適しているが，アグロフォレストリーの緑陰樹としては，根の分布が作物と競合するために推奨できないとする文献もある。

用材生産の人工林管理

材の重量は，中庸～重く，その材密度は含水率 15%の状態で $600\text{--}1010\text{kg/m}^3$ である。また硬度は堅い～非常に堅いで，シロアリ耐性があり，強靱で，耐久性に富む。心材は暗色で，概して成形が容易で，建具，飾り棚，象嵌，取っ手，杖や装飾用材料として使用される。材はまた，ポール，支柱，橋梁，坑木及び梁の材料としても使用される。

本種の植栽密度はその用途によって様々である。薪の生産には $1\text{m} \times 1\text{m}$ から $1\text{m} \times 3\text{m}$ の間隔が用いられる。間作農業における生垣状植栽あるいは防風林用の植栽には，各列に 25-50cm の間隔で植栽する必要がある。薪炭原木の生産には，剪定あるいは萌芽更新が用いられ，更新した枝は 1 年後に 2，3 本を残して切り取る。

本種はサヘル地域における植林には殆ど使用されていない。しかし，Sudanian ecozone では，本種は比較的成長の早い木としてポール用材や燃材として積極的に再生産されており，ポール生産のためには 4-7 年の間隔で萌芽更新が行われている。家具，挽物，飾り棚，ポール，支柱とその用途は広く，それぞれに適したサイズに育成される。



写真 51: *S. siamea* の幼苗



写真 52: 近縁種 *S. spectabilis* の概観樹形(こちらは葉の先端が尖る)

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=461>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Senna_siamea.pdf
- (2) CIAT/FAO, Grassland species profiles (Cassia siamea Lam.)
<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/data/pf000378.htm>

1 6) *Tamarindus indica* L.

(分 類) マメ科 (Fabaceae) ジャケツイバラ亜科 (Caesalpinioideae)

(地方名) 英語: Tamarind tree, Madeira mahogany, Indian date

ヒンディー語: tentul, chinta, anbli, tamrulhindi, amli, imli

アラビア語: ardeib, aradeib

アフリカ地方: アフリカーンス語 tamarinde, スワヒリ語 msisi, mkwaju

形態と分布

樹高 30m に達する常緑樹であり、主幹は通常直径 1-2m に成長する。1 属 1 種の樹木である。広い範囲の土壌・気候条件下で良好な成長を示し、低地林、サバンナ、灌木林の構成種となっている。熱帯雨林地域には分布しない。半乾燥地域や樹木が茂った草地を好むが、小川や河川沿いにも生育している。しばしばシロアリ塚上に生育しているのが見られる。

生育環境条件

標 高: 0–1,500m (1)

年降水量: 350–2,700mm (1)

生育土壌 (自然分布): 中性～アルカリ性の広範な土壌に生育し、浅い、礫質、砂質の土壌や、表層近くに固い石灰質や粘土層がある土壌で他の多くの樹種よりも良い成長をする。pH 6.2-7 の土壌でもっとも良好な生育をする (1)。

水分条件: 冠水には弱く、過湿土壌ではすぐに枯死する (1)。冠水する場所、湿地、しばしば洪水する地域は避けるべきである (5)。また、根が水に浸るような低地には植栽するべきではない (4)。

植栽適地: 広い範囲の土壌・気候条件下で良好な成長を示し、低地林、サバンナ、灌木林の構成種となっている。熱帯雨林地域には分布しない。半乾燥地域や樹木が茂った草地を好むが、小川や河川に沿いにも生育している (1)。排水性の良い深い沖積土壌で最も良好な生育を示す。湛水する地域や湿地、頻繁に浸水する地域での植栽は避けた方が良い。

根 系: 根系が豊富に発達し、本種の耐乾性や耐風性に寄与している。

開花結実・フェノロジー

開花は一般的に殆どの地域において春から夏にかけて新葉の展開と同時期に行われる。

花は両性花で雌雄同株である。通常 7-10 年生で着果を開始し、約 15 年間、安定した豆果の収量が得られる。堅く、栄養価に富んだ豆果は、地上に落下するまで裂開することはない。種子は表面が堅く滑らかで、かみ砕くことは困難である。結実には、長く明瞭な乾季の存在が不可欠である。

利用と生産物 (1,2)

食用: 果実は甘みの高い種類と酸味の高い種類の双方があり、甘みの高い種類は通常は生食され、酸味の高い種類はジュースやジャム、キャンディーに加工される。果実はソース、シロップや加工食品として国際的に取引されている。果汁はビタミン B の含有量が高く、ウスターソース

の原料となる。花や葉、種子も食用とすることができ、様々な料理に供されている。種子の粉末はケーキやパンの材料となる。果実は菓子やカレー、漬け物の調味料として珍重される酸性の繊維を含んでいる。

飼料：果実の生産量に影響を及ぼすことを避けるため、飼料採取を目的とした剪定は減多に行われないが、葉は飼料としての高い価値を持っている。

養蜂：花は蜂蜜生産のための良好な蜜源であることが報告されている。

燃材：発熱量 4850 kcal/kg の良好な薪を提供し、それはまた良質炭の原料ともなる。

タンニン：葉、樹皮共にタンニン含有量が多く、樹皮から採取されたタンニンは染料の固定剤として使用される。

医薬品：樹皮は収斂効果を有する。また、樹皮や葉は湿布に混入することにより、ただれ、潰瘍、火傷、発疹の治療に用いることができる。葉の抽出物は、心臓病や高血圧症の抑制に一般的に用いられている。葉を煎じて加糖したものは、のどの感染症や咳、発熱の治療、さらには腸内寄生虫の駆除に効果がある。

植栽と下刈り

直播きによる植栽も可能であり、ライン状に地拵えして播種する。萌芽更新も良好である。また、挿し木繁殖も容易であり、芽接ぎや取り木により容易に繁殖させることができる。植栽間隔は土壌の肥沃度に応じて 10-20m 開ける。

生長は一般的に遅く、幼齢期は 4-5 年あるいはそれ以上持続する。十分な水分を供給し適切な除草を行うことにより、樹高は 1 年目に 60cm、2 年目には 120cm に達する。1 年目は苗木が完全に根付くまでの期間、木の周囲の雑草を除草器で掘り起こすことにより除去する。結実を活性化させるため、植栽間隔の調整（約 500 本/ha）や剪定により木のサイズの調整を行う。本種は萌芽更新や剪定施業が可能である。

本種の最も深刻な害虫は、カイガラムシ、コナカイガラムシ及び穿孔虫である。

アグロフォレストリー

果実の生産力は老齢になるまで維持され、通常は年間 150kg/本、2 ton/ha にまで増加する。成熟した木の収量は年 150-225kg/本に達することもある。

本種は葉が密生し樹冠が広がるとともにアレロパシー作用を有することから、他の作物との混植は困難である。道路沿いや土地の境界線上の植栽に使用される。また、前述の作用により樹冠下の雑草の繁殖が抑えられ、燃料木の生産を兼ねた防火帯の造成に適している。この目的には植栽間隔 2.5 x 2.5m あるいは 3 x 3m が取られる。

用材生産の人工林管理

材は堅く非常に重く、心材は紫褐色で家具材に使用される。若木の段階で、枝を 3-5 本毎に残すよう剪定する。それらが将来の樹形の主骨格を形成する。本種は長命であり、時には 200 年以上生きることがある。但し、木材生産のためには 50-60 年伐期が推奨されている。

いくつかの国では 5 x 5m 間隔で植栽され、成熟期に 10m x 10m 間隔になるよう間伐が行われる。

あるいは、植栽間隔を 13m x 13m とするような方法もとられている。列状植栽を行う場合は 10-15m 間隔が取られる。



写真 53: マルチパーパスツリーの一つであり乾燥地でも好んで植栽される



写真 54: *T. indica* の花序
(花は両性花で雌雄同株である)



写真 55: 葉の密生とアレロパシーにより林床に植物が生育しにくい

参考文献

- (1) Orwa et al. (2009) Agroforestry Database 4.0, World Agroforestry Centre
<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=1589>
http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Tamarindus_indica.pdf
- (2) Danida Forest Seed Centre (2000) Seed leaflet No. 45 (*Tamarindus indica* L.)
- (3) Royal Botanic Gardens, Kew. *Tamarindus indica*
<http://www.kew.org/plants-fungi/Tamarindus-indica.htm>
- (4) D. A. Hines and K. Eckman (1993) Indigenous multipurpose trees of Tanzania : Uses and economic benefits for people
[http://www.fao.org/docrep/x5327e/x5327e1m.htm#tamarindus indica*](http://www.fao.org/docrep/x5327e/x5327e1m.htm#tamarindus%20indica*)
- (5) CIAT/FAO, Grassland species profiles (*Tamarindus indica* L.)
<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/data/pf000172.htm>
- (6) J. Morton (1987) Fruits of warm climates, p. 115-121 (Tamarind)
<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/tamarind.html>

第3節 植栽対象地

1. マクロな視点での生育適地

① はじめに

水資源の有効利用と保全に配慮した持続可能な植林を行うには、地域在来の樹種を選定することを優先すべきである一方、有用な外来樹種の導入が必要な場合には、その水利用特性に基づいた適切な管理下で植林を実施していくことが必要である。これら樹種の植栽適地を判定する際には、これまで農民が蓄積してきた経験や研究機関等の職員の知見によるところが大きく、広域を対象として戦略的かつ効率的に植林活動を進めて行くためには、潜在的な植栽可能域を抽出・提示するためのツールの開発が望まれる。そこで、本項では既存の気象要因情報と各樹種について記録された分布データに基づいて潜在的な植栽可能域を抽出する解析の一例を紹介し、19 樹種についてケニアにおける潜在適地抽出を試行的に実施し、その結果を紹介した。

② 解析を行った樹種

乾燥地・半乾燥地で地域住民に好まれて植栽され、文献情報の入手が可能な樹種として下記の 19 樹種を抽出し、解析対象とした。*Acacia senegal*, *A. tortilis*, *A. xanthophroea*, *Azadirachta indica*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum acleatum*, *C. collinum*, *C. molle*, *C. shumannii*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus*, *E. saligna*, *Faidherbia albida*, *Melia volkensii*, *Prosopis chilensis*, *Senna siamea*, *S. singueneana*, *S. spectabilis*, *Tamarindus indica*

③ 解析に用いたデータと手法

解析は、World Agroforestry Centre 発行の Useful Trees and Shrubs for Kenya に掲載されている各樹種の分布図ならびに WORLDCLIM の BIOCLIM 気候要因データを用い、両者の間の関連について分類樹モデルを用いて解析し、潜在的植栽適地の抽出を行った。また、モデルの予測精度は ROC (Receiver Operating Characteristic) 解析により判定した。

④ 解析の手順

まず、ケニアの国土を 20km 四方のグリッドで分割した結果、地図上に 1,440 個のメッシュが得られた。次に、Useful Trees and Shrubs for Kenya に掲載されている各樹種の分布図に基づいて前述の各メッシュに対し該当樹種の在不在データを落とし込み、現存地図 (presence) として図化した。これと同じ精度のメッシュで区分された BIOCLIM の 19 の気象要因と対比してデータ解析・統計解析ソフトウェアである S-Plus (TIBCO Software Inc.) により解析し、その相関度を算出して分類樹モデルを作成した。

次に ROC 解析 (Receiver Operating Characteristic analysis) を行い、分布の有無を決定する cut-off point ($((1-\text{感度})^2 + (1-\text{特異度})^2)$ が最少になる点) を基準点として分布確率を求め、それ以上の分布確率の地域を「分布適域」、それ以下の分布確率 (但し 0.01 以上) の地域を「分布辺縁域」と判別して図化した (P103 図2)。なお、分布確率が 0.01 未満のメッシュは、統計的な観点から、ほぼ分布する可能性が無いと判断して「潜在非分布域」として位置づけた。

⑤ データの解釈の仕方

「分布適域」と「分布辺縁域」を併せた地域を、「潜在分布域 (potentially distribution range)」として、各樹種の植栽の可能性がある地域として示した。

その内、「分布適域 (suitable habitat)」は、各樹種の分布確率が高く生存に適した環境であると考えられる地域であり、土壌条件等の気象条件以外に生存を規定する特殊な条件がある場合を除いて、通常の植栽が可能と考えられる地域である。次に、「分布辺縁域 (marginal habitat)」は、各樹種の分布確率が低く生存には何らかの付加的な要件が必要であると考えられる地域であり、植栽にあたっては土壌条件等の他の要因の影響も考慮に入れながら、生存を限定する要因(雨量等)を克服するための植栽管理対策(マイクロキャッチメントの導入等)を講じていく必要があると考えられる地域である。

⑥ 本手法の特徴(優位性)

a. 汎用性・応用性の高さ

本手法は、樹木の分布を限定する大きな要因である気象要因と、樹木の現存分布データを基に、各樹種の潜在植栽可能域を判定・抽出するものであり、他の環境要因や樹木の遺伝的変異の影響を除いて、どのような地域(国)での判定にも活用でき、かつ、例えばケニアで行われた分析成果を他の国での判定に応用できるという優位性を持っている。

b. 情報の入手し易さ

本手法に用いた情報は、気象要因についてはインターネット上で公開されているものであり、樹木分布データについても公開された情報を基に現地調査の成果を加えたものである。大規模な現地調査をすることは必ずしも必要でなく、限られた予算の範囲内で取り組んでいくことが可能である。

c. 数値情報により潜在分布可能域の提示が可能

本手法では、潜在分布可能域が図化されるため、視覚的・感覚的にその範囲を把握できるとともに、分布を限定している気象要因とその値を数値情報^{*5)}により提示することが可能なため、容易に正確な判定を行うことが可能である。

^{*5)} 例えば、「最も乾燥した月の降雨量が〇〇mm以上の地域」、等

d. 「分布適域」と「辺在分布域」を分けて提示することが可能

「分布適域」とは、気象要因以外の環境要因(土壌条件等)が特殊な地域でない限り通常の植栽が可能な地域であり、「辺在分布域」とは、植栽を行うにあたっては(例えば乾燥・半乾燥地域であれば)集水技術等の投入を検討する必要がある地域となる。これらを分けて示すことにより、必要な技術を適切に投入することが可能となり植林の失敗を低減することができる。

⑦ 本手法適用の留意点

樹種の分布と気象要因との相関関係をより詳細に把握し「潜在分布域」判定の精度を上げるには、より多くの現存分布データを用い、メッシュを細かくするのが有効である。

今回は、基データとした Useful Trees and Shrubs for Kenya のプロットが 20km 四方程度のメッシュに対応していたため、このサイズを適用したが、豊富なデータが存在しさらに詳細な解析を行

う必要がある場合は 1km 四方のメッシュが適用されることもある。

また、分布の有無について各グリッドにおける観測点が多いほど理想的であるが、市場的にマイナーな樹種や外来樹種については十分な調査が行われておらず存在していても確認されていない場合も考えられる。

これらの必要条件に対し、今回の解析は、分布が確認されているプロット数が樹種により最少で 14 個、最大でも 100 個程度という制約の下で試行的に実施した例である。

⑧ 試行解析の結果

今回の試行解析における前述の制限要因があることを前提とした上で、各樹種の分布を限定している要因について読み取りを行った結果を紹介する。なお、詳細な解析は分類樹に示された分布確率の高いものを順に抽出し、その数値に至った気象要因とその数値を拾い上げて行うが、今回は作成された図面を分離貢献度の高い気象要因の図と照らし合わせて読み取ることを試みた。その結果は以下の通りである。

- *Eucalyptus* は 3 種とも年降雨量の多寡が限定要因となっていること、*E. saligna* が最も乾燥に強く、年降雨量が 401mm 以上で「潜在分布域」、801mm 以上で「分布適域」となり、次いで *E. camaldulensis* が 801mm 以上で「分布適域」となり、*E. globulus* は「分布適域」としては 1,000mm 程度以上が必要なことが読み取れた。

- *Acacia senegal* は、年降雨量は 400mm 以上かつ最も雨が多い四半期の平均気温が 27.5℃以下が「潜在分布域」となり、「分布適域」としては前出の平均気温が 17.6-27.5℃の間が適していることが読み取れた。

- *Melia volkensii* は、最も寒い四半期の平均気温が 17.6-22.5℃で「潜在分布域」となり、「分布適域」としては 20.1-22.5℃の間が適していることが読み取れた。

- *Acacia tortilis* と *Balanites aegyptiaca* は気温の高さが主な限定要因となり、*A. tortilis* は最も暖かい四半期の平均気温が 25.0℃以下が「潜在分布域」となり、「分布適域」としては 20.0℃以下になることが必要なこと、*B. aegyptiaca* では平均気温が 22.5℃以下になることに加え、最も寒い月の最低気温が 15.0℃以下になることが「分布適域」としての要件であることが読み取れた。

- *Acacia xanthophloea* も同様に、最暖月の最高気温が 35℃以下であること、最少雨四半期の平均気温が 20℃以下かつ年降水量が 800mm 程度以上であることが「分布適域」として必要なことが読み取れた。

- *Combretum schumannii* は、年平均気温が 22.5-30.0℃の範囲内でかつ、最も雨が多い四半期の降雨量が 300mm 以上の地域が「潜在分布域」となることが読み取れた。

⑨ 今後の課題

「本アプローチの留意点」の項でも述べたが、基データのメッシュが粗く在不在データ数が少ない条件の中で解析を行っている。そのことが起因して、現存分布図にはプロットされているにも関わらず解析の結果では「植栽適地」ではなく「潜在分布域」と判定された地域もあった。また本解析は、現存分布データを基礎としているが、植栽すれば生育は可能であるが実際には植栽されていない地域や、かつては分布したが何らかの原因で現在は分布しない地域が存在する可能

性は否定できず、本試行によって作成された適地地図は「この地域にしか生育できない」ことを示すものではないことに、注意する必要がある。そのため、本試行で「潜在非分布域」と判定された地域でも、特に実際に分布の確認されているグリッドの周囲地域については生育できる可能性の存在を否定するものではない。

今回の結果を基に具体例を挙げると、試行を行った *Eucalyptus* 3 種の内、今回は *E.saligna*, *E.camaldulensis*, *E.globulus* の順に乾燥環境に強いという結果が出ているが、実際には *E.camaldulensis* の乾燥耐性が最も高い。それぞれの種が対象地域を選んで植栽されているために、*E.camaldulensis* の潜在分布域が過小に評価されたものと考えられる。

今後、潜在分布域と考えられる地域の周辺地域において、各樹種の植栽を試行して、その結果をデータとして蓄積していくことでより精度の高い予測が可能となるものと考えられる。また「分布辺縁域」については、どのような条件下で各樹種の育成が可能であったのかについての情報を蓄積していくことも、より詳細な判定を行う上で重要である。

2. ミクロな視点で考慮すべき事項

① 自然的要因

一定の範囲の中でも、地形や基岩の微妙な違いにより土壌の水分保持能力は異なり、育成可能な樹種や本数が限定されてくる。一般的に樹木の生育に適した土地は作物の育成にとっても適しており、農業生産活動が優先されることが普通である。

生産性の高い農耕地と同様な気象・土壌条件を持った土地に余裕があれば、そこが最適な植林対象地となり得る。また、気象・土壌条件が同じでも土地の傾斜度等の条件により農耕が困難な土地は積極的に植林に活用されることが望まれる。

乾燥状態等により農業生産性が低い土地においては、マイクロキャッチメント等の導入により環境改善が可能か否か、導入を行うだけの労働力や資材・資金の投入が可能か否かも判断の基準になる。保水性に乏しい土壌でも有機物資材等の混入により土壌の水分保持能の改善はある程度可能であるが、投資効果に見合った収益を上げ得るか否かを検討することが肝要である。

乾燥地・半乾燥地においてもマンゴー等の果樹が育成可能であるが、降雨量の年変動への対応や収量の安定確保を考慮すると、小河川等の水源が近くにあって灌水が可能な土地で育成する方が有利である。

また、対象とする樹種によっては、シロアリ被害の発生が少ない地域を選定することが肝要である。一般的に乾燥が厳しくなるほど被害の発生率は高くなる。

② 社会的要因

個々の農家が行う植栽の対象地としては、保育等の管理作業が行いやすい、目の届きやすい距離にあることが一般的に望まれる。盗伐等のリスクが少ないことも重要要件である。

また、植栽木の育成に灌水が必要な場合には、水使用权に関してコミュニティの理解が得られることも必要な要件となる。

土地の境界を明示すること、家畜等の侵入を防止することも、住民にとって樹木の植栽を行うことの強い動機となり得る。

また、コミュニティー等が共同で取り組むものとしては、農地の土壌浸食防止を目的とした山の尾根部への植林、護岸保護のための植林、公共施設や学校等の環境保全や施設の維持管理費の創出を目的とした植林が考えられる。この場合は、共有地であること、共通認識が形成されていること、労働力の提供や利益分配に不公平が生じない等の体制整備ができていること等が必要な要件となる。

第4節 *Acacia senegal* と *Melia volkensii* の比較

KEFRI-Kitui Regional Research Centre の Tiva Pilot Forest には、JICA の支援により、各種の植林試験が行われている。このなかで、*Acacia senegal* と *Melia volkensii* の密度試験地についての植物生理調査及び林分調査の結果は次のとおりである。

（植物生理調査による耐乾性の比較）

①葉の気孔からの水分の消失の程度を示す日中最大蒸散速度について、*Acacia senegal* は、*Melia volkensii* の 1/2 以下であった。このことから、*Acacia senegal* は、他の植物との水分競争にも強い (Mulatya et al., 2002) とされている *Melia volkensii* よりもさらに耐乾性が高いと思われる。

②葉の吸水能力等については、両樹種に差はないが、*Acacia senegal* のほうがより少ない水分で光合成をおこない得ると判断される (溝淵, 2013)。

③水条件の悪化する乾季には両樹種とも落葉し、葉からの水分の消失を防止している。(Broadhead, 2000)

④土壌のどれくらいの深さから水を吸収しているかは、耐乾性を判断するのに重要な要素となるが、11年生の *A. senegal* と 15年生の *M. volkensii* を対象に安定同位体を使用してどの深さの水を吸収しているかを調査した結果、かなり深い土壌層からのもので、少なくとも 1m より浅い部分の水ではないことが推定された。このことから、両樹種とも、乾季に生じる長期の無降雨期間においても、必要な水を土壌深部から確保できるような根系をもっていることが示唆された。

（林分調査による成長経過）

① *Melia volkensii*

密度試験区は、2.5 x 2.5m, 3.0 x 3.0m, 3.5 x 3.5m, 4.0 x 4.0m の 4 つの試験地が設定された。植栽年月は 2002 年 11 月。2012 年 11 月で 11 年生。生存率の推移は図5のとおりで、2007 年から 2010 年の間にどの密度区でも低下しているが、2010 年以降は密度変化がない。また、2012 年現在で、樹高はどの密度区でも 8m 前後であるが、胸高直径は密度区ごとに違いがあり、密度が低くなるに従って、11cm, 12.4cm, 12.8cm, 13.6cm と大きな値を示している。樹高、胸高直径のいずれも植栽後 3-4 年の間で最もよく成長しその後成長量は急に減少している。

② *Acacia senegal*

密度試験区は、1.0x1.0m, 3.5 x 3.5m, 4.0 x 4.0m, 5.0 x 5.0m の 4 つの試験地が設定された。植栽年月は 1998 年 11 月。2012 年 11 月で 15 年生。生存率の推移は図6のとおりで、1.0m 区では、2010 年に 84% まで減少し、さらに 2011 年、2012 年で 72%, 68% と減少しているのに対し、その

他の密度区では、2010 年に 90%前後まで減少し、その後はこの密度を維持している。2012 年現在で、樹高はどの密度区でも 6m 前後であり、年平均で 30-40cm の成長を続けてきたが、一部では樹高の低下も認められ、樹高成長はほぼ停止している。胸高直径は、密度が低くなるに従って、4.2cm, 9.1cm, 9.3cm, 10.9cm と大きな値を示している。3.5m 区と 4.0m 区では密度推移、樹高、胸高直径について大きな違いは認められないが、5.0m 区では胸高直径が大きく樹幹は旺盛に成長を継続している。

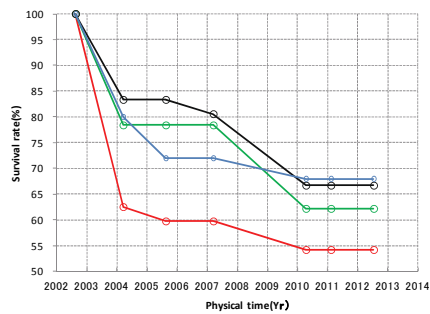


図 5: *M. volkensii* の生存率の推移

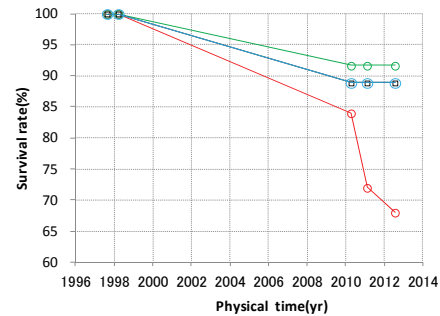


図 6: *A. senegal* の生存率の推移

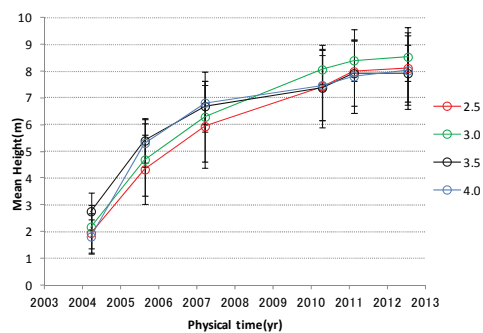


図 7: *M. volkensii* の平均樹高の推移

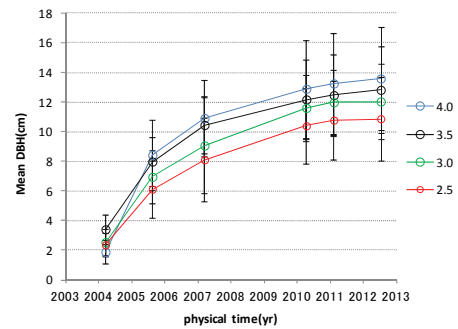


図 8: *M. volkensii* の平均胸高直径の推移

表 1: *M. volkensii* の各植栽密度区における生存率及び樹高と胸高直径の生長量

Measurement Year, month	Spacing (m)	Plot size	Number of planted	Number of trees	Number of trees	Height(m)			DBH(cm)			Basal area
						mean±S.D	max	min	mean±S.D	Max	min	
2004, Jun	2.5	23x20	1636	45	978	1.9 ± 0.7 a	3.2	0.2	2.4 ± 0.8 a	3.9	0.9	0.4
	3.0	19x17	1120	29	898	2.2 ± 0.8 a	3.5	0.2	2.5 ± 0.9 a	4.1	1.0	0.4
	3.5	22x22	784	30	620	2.8 ± 0.7 b	3.8	0.9	3.4 ± 1.0 b	5.1	1.2	0.6
	4.0	21x18	667	20	529	1.8 ± 0.6 a	3.1	0.7	1.9 ± 0.8 a	3.4	1.0	0.1
2005, Nov	2.5	23x20	1636	43	935	4.3 ± 1.3 a	6.5	0.3	6.1 ± 1.9 a	9.4	1.6	2.9
	3.0	19x17	1120	29	898	4.7 ± 1.3 ab	6.2	1.2	7.0 ± 1.8 ab	9.5	1.9	3.4
	3.5	22x22	784	30	620	5.4 ± 0.8 b	6.8	3.0	8.0 ± 1.6 c	9.8	2.6	3.2
	4.0	21x18	667	18	476	5.3 ± 0.9 b	6.3	3.0	8.4 ± 2.4 bc	11.5	2.9	2.9
2007, Jul	2.5	23x20	1636	43	935	5.9 ± 1.5 a	8.7	1.6	8.1 ± 2.8 a	12.4	0.4	5.4
	3.0	19x17	1120	29	898	6.3 ± 1.7 a	7.9	1.4	9.1 ± 3.2 ab	12.8	0.6	6.6
	3.5	22x22	784	29	599	6.7 ± 0.9 a	8.1	4.0	10.4 ± 1.9 b	13.1	3.8	5.3
	4.0	21x18	667	18	476	6.8 ± 0.8 a	8.2	5.1	10.9 ± 2.6 b	14.3	4.4	4.7
2010, Jun	2.5	23x20	1636	39	848	7.4 ± 1.5 a	10.0	2.4	10.4 ± 2.5 a	14.6	3.5	7.6
	3.0	19x17	1120	23	712	8.1 ± 0.8 a	9.2	5.9	11.6 ± 2.2 ab	15.2	6.1	8.2
	3.5	22x22	784	24	496	7.4 ± 1.2 a	9.2	4.2	12.2 ± 2.7 b	15.5	3.8	6.0
	4.0	21x18	667	17	450	7.5 ± 1.3 a	9.2	3.1	12.9 ± 3.3 b	17.6	5.1	6.2
2011, May	2.5	23x20	1636	39	848	8.0 ± 1.6 a	10.7	3.1	10.8 ± 2.6 a	15.1	3.6	8.2
	3.0	19x17	1120	23	712	8.4 ± 0.8 a	9.4	6.3	12.0 ± 2.2 ab	15.6	6.8	8.7
	3.5	22x22	784	24	496	7.9 ± 1.2 a	9.6	4.6	12.5 ± 2.8 b	16.3	3.8	6.3
	4.0	21x18	667	17	450	7.8 ± 1.4 a	9.4	3.3	13.3 ± 3.4 b	18.0	5.2	6.6

Measurement Year, month	Spacing (m)	Plot size	Number of planted	Number of trees	Number of trees	Height(m)			DBH(cm)			Basal area
						mean±S.D	max	min	mean±S.D	Max	min	
2012, Oct	2.5	23x20	1636	39	848	8.2 ± 1.5 a	10.7	3.4	11.0 ± 2.8 a	15.6	3.6	8.6
	3.0	19x17	1120	23	712	8.6 ± 0.8 a	9.8	6.4	12.4 ± 2.3 ab	16.1	7.2	9.2
	3.5	22x22	784	24	496	7.9 ± 1.0 a	9.2	5.8	12.8 ± 2.9 b	17.0	3.8	6.7
	4.0	21x18	667	17	450	8.0 ± 1.3 a	9.8	4	13.6 ± 3.5 b	18.6	5.2	6.9

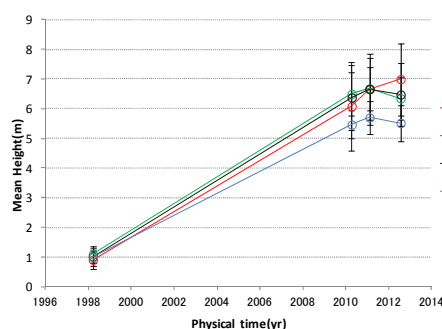


図 9: *A. senegal* の平均樹高の推移

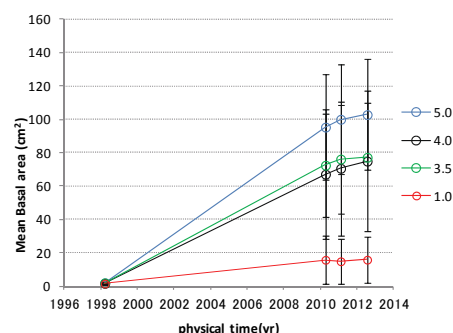


図 10: *A. senegal* の胸高断面積合計の推移

表 2: *A. senegal* の各植栽密度区における生存率及び樹高と胸高直径の生長量

Measurement Year, month	Spacing (m)	Plot size (m)	Number of planted trees(N/ha)	Number of trees (N)	Number of trees (N/ha)	Height(m)			Basal area(cm²)				DBH(cm)			Basal area (m²/ha)
						mean ± S.D	max	min	mean ± S.D	Max	min		mean±S.D	Max	min	
1998, Jul	1.0	5x5	10000	25	10000	0.9 ± 0.3 a	1.7	0.5	1.5 ± 0.6 a	3.1	0.4		1.4 ± 0.3 a	2.0	0.7	1.5
	3.5	11x8	1364	12	1364	1.1 ± 0.3 a	1.6	0.6	2.0 ± 0.6 a	3.1	0.8		1.6 ± 0.2 a	2.0	1.0	0.3
	4.0	9x10	1000	9	1000	1.0 ± 0.3 a	1.6	0.5	1.7 ± 0.7 a	3.1	0.8		1.4 ± 0.3 a	2.0	1.0	0.2
	5.0	11x11	744	9	744	1.0 ± 0.2 a	1.3	0.7	2.0 ± 0.8 a	3.1	0.8		1.6 ± 0.3 a	2.0	1.0	0.1
2010, Jun	1.0	5x5	10000	21(0)	8400	6.1 ± 1.5 ab	7.8	2.5	15.8 ± 14.5 a	51.7	2.5		4.1 ± 1.8 a	8.1	1.8	13.3
	3.5	11x8	1364	11(2)	1250	6.5 ± 0.7 a	7.6	5.1	72.4 ± 30.7 b	127.0	19.1		8.8 ± 1.8 b	11.0	4.9	9.1
	4.0	9x10	1000	8(1)	889	6.4 ± 1.1 ab	7.7	4.8	67.1 ± 38.9 b	133.1	21.2		8.7 ± 3.0 b	13.0	4.0	6.0
	5.0	11x11	744	8(2)	661	5.5 ± 0.5 b	6.3	4.7	95.3 ± 31.7 b	133.8	40.1		10.5 ± 2.4 b	13.1	6.4	6.3
2011, May	1.0	5x5	10000	18(0)	7200	6.7 ± 1.2 a	8.1	3.9	14.9 ± 13.5 a	52.8	2.0		4.1 ± 1.6 a	8.2	1.6	10.7
	3.5	11x8	1364	11(2)	1250	6.7 ± 0.7 a	7.8	5.3	76.1 ± 32.6 b	133.2	18.9		9.0 ± 1.9 b	11.5	4.9	9.5
	4.0	9x10	1000	8(1)	889	6.7 ± 1.1 a	8.1	5.4	70.6 ± 40.0 b	138.9	22.4		9.0 ± 3.0 b	13.3	4.2	6.3
	5.0	11x11	744	8(2)	661	5.7 ± 0.6 a	6.5	4.8	100.0 ± 32.6 b	147.4	51.5		10.8 ± 2.3 b	13.7	7.1	6.6
2012, Nov	1.0	5x5	10000	17(0)	6800	7.0 ± 1.2 a	8.5	4.0	15.9 ± 14.1 a	54.1	1.8		4.2 ± 1.7 a	8.3	1.5	10.8
	3.5	11x8	1364	11(2)	1250	6.3 ± 0.7 ab	7.2	5.1	77.2 ± 32.7 b	134.7	19.6		9.1 ± 1.9 b	11.5	5.0	9.6
	4.0	9x10	1000	8(1)	889	6.5 ± 1.0 ab	7.8	5.2	74.9 ± 42.1 b	149.6	27.2		9.3 ± 3.0 b	13.8	4.5	6.7
	5.0	11x11	744	8(2)	661	5.5 ± 0.6 b	6.5	4.9	102.8 ± 33.3 b	153.9	56.9		10.9 ± 2.3 b	14.0	7.4	6.8

第5節 植栽地の水管理

1. 植栽地の土壌水分環境

降雨量から蒸発散量を引いた値は水資源賦存量と呼ばれ、その地域で利用可能な水資源の理論上の上限値とされるが、植栽地の水分環境という意味では土壌水分が重要である。土壌水分は降水や蒸発散の変化にともない増減し、乾燥の程度や期間によっては植物の生育に重大な影響を及ぼす。一方、森林は裸地や草地に比べ降水に占める蒸発散の割合が相対的に高いことや根系が吸い上げる水の深さは樹種によって異なることが知られているように、植物の状態もまた土壌水分に影響を及ぼす。

半乾燥地域における植栽地の水管理という視点では、限られた降水をいかに効率的に樹木の成長に利用するかが目標になる。それは決して容易な目標ではないが、ここでは樹木と水分環境の相互関係を考察する際の参考情報として、ケニアの半乾燥地域における森林と水環境の関係を調べた事例を紹介する。

この調査では、2010年6月より、KEFRI-Kitui Regional Research Centre の Tiva Pilot Forest 内の天

然林, *Melia volkensii* 密度試験林および *Acacia senegal* 密度試験林に設定した各調査プロットならびに苗畑内の露場(草地)において土壌水分を ADR 法^{*6)}により測定した。さらに 2011 年 11 月から, 同センターの Matinyani experimental station にある 3 樹種 (*Melia volkensii*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea*) の林分でも, 同様の方法と頻度で土壌水分を測定した。

^{*6)} 堆積含水率を求める誘電率測定法の一つ

土壌水分の鉛直分布の測定は, 測定装置の故障により欠測となった期間もあるが, 原則として月 1 回の頻度で行った。*Acacia* 密度試験区と *Melia* 密度試験区の含水率(深さ 10, 20, 30, 40, 60, 100 cm の平均値)の変化を図 10 と図 11 示す。植栽密度と平均含水率の関係は単純ではないが, どちらの樹種でも植栽間隔が最も短いプロット (*Acacia* では 1m×1m, *Melia* では 2.5m×2.5m) の平均含水率が最小で, その値は苗畑の草地や天然林の平均値よりも小さかった。

図 12 は Matinyani experimental station の 3 樹種の林分の測定結果(平均含水率)を示している。三つの樹種は同じ時期(2007 年 12 月)に同じ密度(4m×4m)で植えられているが, 調査期間中はほぼ一貫して, *Eucalyptus* 林分の方が *Melia* 林分より乾燥していた。写真 56 のように, 2007 年 12 月植栽から 5 年余りしか経っていない状況でも, *Eucalyptus* と *Melia* の樹高の差は見た目にも明らかで, このような成長速度の違いも土壌水分に影響していると考えられた。

土壌水分は地形(例えば, 尾根筋か谷筋か)や土壌の性質(例えば, 砂質か粘土質か)によっても変わるので, 以上の結果を不用意に敷衍することはできないが, このデータは, 同じ密度でも樹種によって土壌水分が変わることや, *Eucalyptus* に比べれば土壌を乾燥させにくい *Melia* でも, 密に植えすぎると乾燥を招く可能性があることを示している。

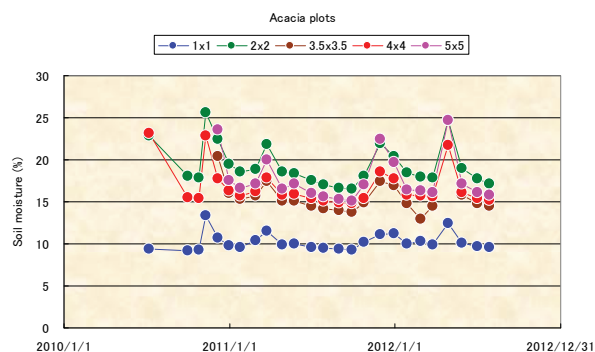


図 10: 平均含水率(10~100cm 間)の経時変化 (*Acacia* 密度試験区, 2010 年 7 月~2012 年 7 月)

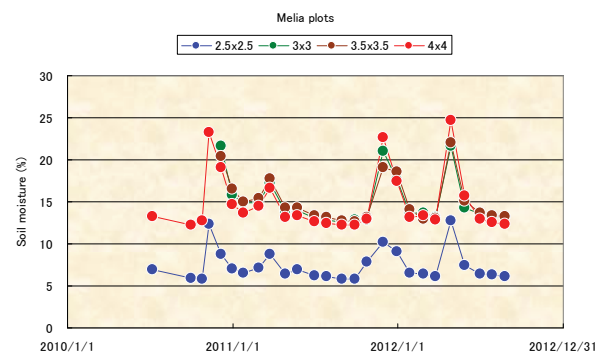


図 11: 平均含水率(10~100cm 間)の経時変化 (*Melia* 密度試験区, 2010 年 7 月~2012 年 8 月)

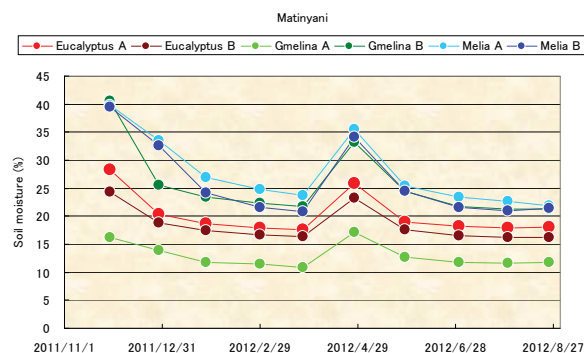


図 12: 平均含水率(10~100cm 間)の経時変化 (Matinyani experimental site, 2011 年 11 月~2012 年 8 月)



写真 56: Matinyani experimental site の *Eucalyptus* 林分(左)と *Melia* 林分(右)(2013年2月撮影)

2. 植栽地における集水・節水の方法

特に乾燥・半乾燥地域のような植物の生育のみならず人間の日常生活にも水の不足をきたす地域では、樹木の植栽は慎重に行われなければならない。成林時の水消費量を基準として植栽規模と本数を決めることが基本であるが、降雨によってもたらされた水を有効活用し成林可能なバイオマスを高める工夫をすることも重要である。また、植栽樹木の活着を確実にするためには、根系の発達が不十分な期間、生育に適した状態に土壤水分環境を維持することが重要である。

そのための方法として、集水と節水の2つの方向性が考えられる。

①集水技術

集水技術とは、表流水や氾濫水を捕集し土壤に浸透させ、植物の有効利用水分量を増加させる技術である。集水のみならず表土の流亡を防止する効果を併せ持っている。

様々な集水技術が開発されているが、本ガイドラインでは主に樹木の育成に適用されているものについて紹介する。なお、大規模なものとしては地下ダムを建設して地域的に土壤水分を増加させる方法もあるが、投資が大きく地域規模で取り組む課題となるため本ガイドラインでは取り扱わなかった。

集水技術の選択・適用は、地形、降雨量、土質、植林の規模、投入可能な労働力、資材の調達可能性等を考慮に入れて行う。

表3に各種集水技術の特徴と適用可能地域についてとりまとめた。4, 5, 6は農耕も合わせた広い面積を対象として実施されるもので、他は基本的に植栽木毎に設置する。

表3：各種集水技術の特徴と適用可能地域

	集水方式の種類	傾斜	年降水量	アグロフォレストリー適性	労働力の要求度	備考（特徴）
1.	半月型マイクロキャッチメント					
1)	W-shape MC	緩傾斜	200-750mm	可能	比較的大きい	半月型3タイプの内、最も乾燥した地域に適する
2)	V-shape MC	緩傾斜	200-750mm	可能	小さい	土壌表流水を1点に集めることが可能
3)	U-shape MC	緩傾斜	200-750mm	可能	小さい	上の2種に比して、より広範囲な土壌水分の改善に効果あり
2.	Negarim 方式	平坦 - 緩傾斜	150mm 以下の地域でも可能	困難	比較的大	乾燥度合いが非常に厳しい地域でも適用が可能
3.	Contour ridge 方式	緩傾斜	(200) 350-700mm	適する	大きい	主にアグロフォレストリーに適用
4.	ベンチテラス方式	緩傾斜-急傾斜 (20-50%)	100-600mm	適する	非常に大きい	主にアグロフォレストリーに適用 急傾斜地でも適用が可能
5.	Fanya juu 方式	緩傾斜 (5-20%)	700mm 又はそれ以上	適する	大きい	主にアグロフォレストリーに適用
6.	円周型 MC	基本的に平坦地	一般的に灌水が行われる	可能	小さい	定期的な灌水が基本的に求められる
7.	大規模植え穴	平坦 - 緩傾斜	500-600mm (Myanmar)	可能	比較的大きい	土壌水分の保持のみならず、根系の発達促進に効果がある

a. 半月型マイクロキャッチメント

半円形の土手を造成しその内部に地表流下水（runoff）を捕集する技術である。中国では、魚鱗抗と呼ばれている。半円の開放部を斜面の上部に向けて設置する。土手の内部に当たる部分の土壌を掘り取り、土手部分に積み上げる。土手の規模やデザインは傾斜や降雨量、対象植物の違いにより適する形態を検討するが、樹木の植栽では一般的に直径 3m 程度の規模のものが適用され

ている。土手の高さは 15-20cm が一般的であるが、これも傾斜度により調整を行う。

降雨量が 200-750mm の地域で適用可能である。集水効率としては傾斜 2%未満が適しているが、土手の構造を工夫し高さを増すことにより 5%以上の地域でも適用可能である。比較的少ない労力で適用可能な技術である。

半円形として一括しているが、U-shape、V-shape、W-shape 等、降雨量や傾斜に応じて様々な形態が工夫されている。U-shape は広範囲の土壌への水の浸透を促すことから、植栽した樹木以外の植物体にも恩恵を与える効果が期待できる。V-shape は一点に水を集める点では効果的であり、雨量の極度に少ない地域での樹木の育成に適している。W-shape は V-shape 型を等高線沿いに連続して設置し区域内の表流水全てを捕集するもので、より乾燥した地域で用いられる。但し、他の型に比べより広範囲の表流水を一点に集中させるため構造的に弱く、1 回当たりの降雨量が多い地域では他の型を適用することが望ましい。

一般的には土壌を積み上げて土手を造成するが、毎雨季の補修が必要となる。小石等を素材に用いることにより耐用年数を長くすることは可能である。植栽した樹木が地下水域の土壌水分を利用できるようになるまで、最低 2、3 年間は構造を維持する必要がある。

一般的に樹木は土手内下部の水の集まった箇所に植栽する。しかし、*Melia volkensii* 等の根腐れを起こしやすい樹種は土手の外側に植栽する。樹種の特性或土質の状態により植栽箇所を検討することが肝要である。

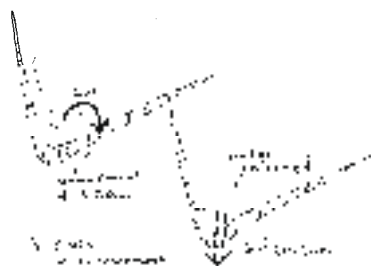


図 13: マイクロキャッチメントの構造と作成方法



図 14: 苗木の植栽位置



図 15: U-shape マイクロキャッチメントの配置方法

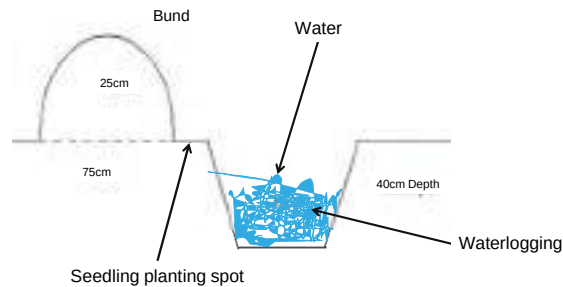


図 16: W-shape マイクロキャッチメントの配置方法

b. Negarim 方式

正方形または菱形に土手を造成し、その内部の一区画（斜面であれば最下部）を深く掘り下げ水を溜める技術である。一定の範囲に連続した形で造成される。各区画の面積は育成可能な樹木の本数により決定され、降雨量との関連性が高い。10-100m² が一般的なサイズとされるが、乾燥

が厳しくなるほど大型のものが必要となる。貯水区域は 1m 四方、深さ 50cm 程度掘り下げられ、掘り取った土壌は土手部分に使用される。貯水区域の一边に傾斜を設け、その部分に樹木を植栽する。年降雨量が 150mm 以下の地域でも適用可能な技術であり、平坦地から 5%程度の傾斜地まで適用される。区画内の降雨を一カ所に集めてしまうため農耕を同時に行うのには適さない。



Negarim 方式

左上:Negarim 方式の作成方法(写真 57)

右上:Negarim 方式の構造(図 17)

左:Negarim 方式の配置方法(写真 58)



c. Contour ridge 方式

斜面の等高線沿いに溝を掘削して水を溜め、掘り取った土壌を溝の斜面下部にマウンドとして盛り上げ樹木を植栽する技術である。溝は深さ 30-45cm 程度、溝と溝の間隔は 10-15m 程度離すのが一般的である。主に農耕地内における樹木の植栽に適用され、作物への水供給を同時に目的としている。

年降雨量が 350-700mm の地域において有効な技術であり、樹木の植栽を主体とした場合には 200mm 程度の地域でも適用される。溝の間隔は傾斜と降雨量によって決定される。降雨量が少なく樹木の植栽が主体となる場合には、樹木は溝の上方に植栽される。横方向への水の流動が生じる場合は、溝内をいくつかの区画に区分する。



図 18: Contour ridge 方式の概念



写真 59: Contour ridge 方式の一例

d. ベンチテラス方式

傾斜のきつい地形において、土地をテラス状に改変し、地表流下水の土壌浸透を促す技術である。年降雨量が 100-600mm の地域で、斜面の傾斜角が 20-50%の区域を対象として適用されている。農耕が主目的となり、樹木はテラスの縁の保護も目的として植栽される。土工量が大きく、多くの労働力と資金の投入が必要であるが、恒久的な構造体として造成されるので長期的に収支が合うか否かが導入にあたっての判断基準となる。

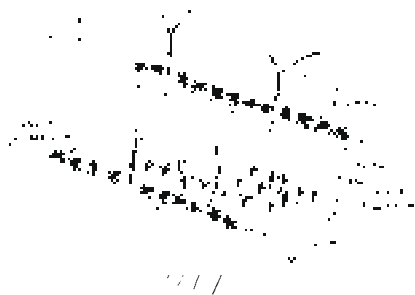


図 19: ベンチテラス方式の概念



写真 60: ベンチテラス方式の一例

e. Fanya-juu 方式

Fanya-juu とは、スワヒリ語で土を投げ上げることを意味する。ベンチテラスの改良型であり、等高線沿いに溝を掘削し掘り取った土は斜面上部に積み上げる。溝の幅は 50-60cm、深さは斜面上側で 60-100cm、下側で 50-60cm 程度、マウンドは幅 1m、高さ 50cm 程度に積み上げる。テラス状の部分に等高線沿いに畝を作り地表流下水の土壌浸透を促進するとともに、溝へ貯水することにより長期間土壌水分を保持する。年降雨量が 700mm かそれ以上の地域で、傾斜 5-20%の区域において適応が可能である。



写真 61: Fanya-juu 方式の一例



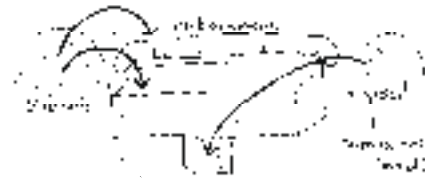
写真 62: 改良型 Fanya-juu 方式の一例

f. 円周型マイクロキャッチメント

植栽した樹木の周囲を円形の土手で囲い、その内部に水を溜める技術である。主に平坦地の、灌水が可能な区域における果樹の生産に適用されている。土手の直径は一般的に樹木の樹冠サイズに合わせて設定される。マイクロキャッチメント内にマルチングを合わせて行うことが推奨されている。

g. 大規模植え穴

植穴を大きくすることにより土壌の水分保持量を増加させることが可能である。ミャンマーの半乾燥地では、90 x 30cm の範囲を 30cm 深さに掘り、中央部の 30 x 30cm 範囲を更に 30cm 掘り下げた植え穴を使用している。雨季に得られた水分の長期保持のみならず、根系の地下水域への早期発達促進に有効である。1m 弱程度の大苗が植栽される。



大規模植え穴による植栽

左上: 大規模植え穴の導入方法 (図 20)

右上: 土壌の埋め戻し方法 (図 21)

左: 大規模植え穴への集水機能の強化 (図 22)

②節水技術

a. 土壌耕起

耕耘することで土壌物理性の改善や雑草発生の抑制、そして毛細管現象による土壌水分蒸発の抑止を目的として実施される。また、地表流下水の土壌浸透を助長することから、集水方式の一つとしても位置づけられる。

但し、有機質養分の欠乏を引き起こす可能性があること、傾斜地においては土壌浸食を助長する危険性があることから、地形に応じて適用範囲を検討するとともに、有機質肥料の施用を合わせて行うことが肝要である。

樹木に対しては、樹冠の範囲内の土壌を深さ 30cm 程度耕起するのが一般的である。



写真 63: 土壌耕起の一例 (植栽樹木用)



写真 64: 土壌耕起の一例 (アグロフォレストリーへの適用例)

b. マルチング

樹木の枝条や草本等により土壌表面を覆い、土壌表面からの水分蒸散を抑制する手法である。土壌内の温度変化を調整する役割も果たし植物の生育に適した環境を提供する。有機質養分を補填する役割も果たす。

単体の樹木に対しては、樹冠の範囲内に適用するのが一般的であり、特に樹冠の発達の未熟なステージにおいて有効な手法である。

但し、シロアリの温床となる可能性があることから、シロアリ害の多発地帯での耐性の低い樹種への適用は避けることが望ましい。

c. カバープランツ

植物体が土壌表面を被陰することにより土壌表面からの水分蒸散を抑制する効果が期待できる。しかし同時に、樹木との水の競合を引き起こす危険性もはらんでいる。そのため、creeping beans やクズのように広い葉を土壌表面に対して水平方向に広がる特性を持った植物をカバープランツとして用いることが望まれる。



写真 65, 66: マルチングの例(左:鋸屑マルチ, 右:枝条マルチ)



写真 67: リョクトウ (Green gram)
(カバープランツに適した形態)

d. 潔癖除草

JICA がケニアで実施した技術協力プロジェクトで開発された手法である。雑草を根本から除去し、樹木との水の競合を緩和するとともに、毛細管現象による土壌水分の蒸散を抑止する。前述のプロジェクトでは、潔癖除草区の1年生の *Azadirachta indica* が刈り払い除草区に比して4倍の生長量を示し成長差が拡大傾向で推移した試験区も見られたことが報告されている。

しかし、林床植物の存在は土壌表面の被陰効果を持つとともに、潔癖除草は土壌耕起と同じく土壌浸食や養分消失を助長する危険性をはらんでいる。特に傾斜地においては適用範囲を樹木周辺に限定する等検討することが賢明である。

e. 直播き、直挿し

育苗は、特に乾季において大量の水の消費を伴う。そのため、直播きや直挿しが可能な樹種についてはそれら手法の適用を検討することが肝要である。これは労働力や育苗資材（土壌等）の節約にも有効である。

直播きについては、西アフリカの事例として、*Acacia nilotica* や *A. senegal* 等の *Acacia* 類、*Senna siamea*, *Azadirachta indica*, *Balanites aegyptiaca*, *Moringa oreifera*, *Prosopis juliflora*, *Ziziphus mauritaniana* 等が可能性のある樹種として報告されている。事前に発芽処理を行い適切な時期に播種することが必要である。雑草との水や光競合を回避するための除草や家畜等の食害を防止する策を講じる必要がある。

直挿しについては、*Euphorbia tirucalli* や *Gliricidia sepium* 等による生垣の造成等に既に用いられている技術である。太く長い枝を用いて早期に生垣としての機能を発揮できるようにしている事例もよく見られる。但し、一般的に、挿し木繁殖した木は主根が伸びにくく浅根性となるため、作物との水の競合を避けるためには根切り等の必要性が通常の植栽に比して高くなる可能性がある。

③その他

a. 灌水

果樹の育成に円周型マイクロキャッチメントを設置して灌水する事例が見られる。初期投資やランニングコストに見合う収益を上げ得る樹木に適用される。一定量の水を消費することから適用にあたっては地域的な合意形成が必要である。

小規模なものでは、PVC チューブやペットボトルを用いた灌水が行われる。定期的な管理が必要なことから目の届く範囲で適用可能となる。集約的な管理に見合う収益を上げ得る樹木に適用される。

b. 灌漑

下流域も含めた地域的な合意形成が不可欠であり、行政が施策として行う以外はあまり現実的な手段ではない。長期的には塩類の土壌表面への集積も懸念される。



写真 68: 円周型マイクロキャッチメント 写真 69: PVC チューブを用いた灌水

3. 乾燥環境に適した造林・管理手法

この項においては、熱帯地域の乾燥地域・半乾燥地域における造林・管理手法について説明する。

①健全な苗木の育成

乾燥地域においても、苗木はポット苗で育成される場合が多く、苗畑で十分な灌水と被陰が行われ恵まれた条件で育成される。これを乾燥条件に耐性をもった苗木に仕上げるためには、山出しの前に、強い光と乾燥に順化させる処理を行うことが必要である。

乾燥耐性を高めるためには、山出しの最低2週間前には、給水制限（最終的に通常の1/2～1/3）、全光下（被陰した場合は順次日射量を上げる）の処理（ハードニング）を開始することが不可欠であり、これらの処理によりポット内の根系の発達を促し地上部と地下部のバランス（T/R率）が望ましい割合に改善されるとともに、茎葉の強化やクチクラ層の発達が促され、それらをもって乾燥耐性が高められる。また同時に、病害虫に対する抵抗性も高められる。この処理は手間がかかるため、実際にはあまり行われていない場合もあるが、不可欠の作業である。

また、乾燥地域での育苗は水分保持のために半地下式の苗床を設定する例が多いが、ポット間に溜まった土壤に根が伸張して太く根を張らせることがある。活着率を確保するためには太根の根切りをしなければいけない状況は可能な限り避けなければならない。そのためには定期的にポットの位置を移動するとともに、ポットの外に張りだした根が細いうちに適宜根切りを行うことが重要である。

また、各樹種に適したサイズのポットを使用することが必要である。樹種特性の項に登場したいくつかの樹種（特に *Acacia* 類）は、直根の発達が著しく、細く深いポットが健全な苗を育成する上で必要となる。また、適したサイズのポットを使用することにより、余分な土壤の使用が抑えられコスト削減に寄与することも期待できる。



写真 70: 乾燥・半乾燥地での典型的な苗畑（半地下型苗床）

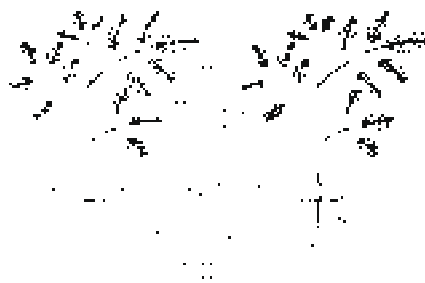


図 23: ハードニングの効果

②植栽方法

(植栽密度)

植栽木は、雑草等の他の植生との間で水資源に関して競合するばかりでなく、植栽後数年を経過すれば、植栽木相互でも競合を開始するようになる。乾燥地域・半乾燥地域では、もともと林冠が閉鎖した林の造成は困難な場合が多く、当初から疎植として間隔を広げて植栽する必要がある。

しかし、樹種ごとの水消費量の違い、植栽対象地の年間降雨量や土壤の水分保持能力の違いがあり、これらを把握したうえで植栽間隔を決定することは現実的には難しい面が多い。

例えば、*Melia volkensii* については、5m x 5mの植栽間隔がよいとされており（2010, KEFRI

Information Bulletin No.3), ティバ試験林における測定でも最も肥大生長が大きかった。これはヘクタール当たり換算すると 400 本となるが、乾燥環境耐性が劣ると考えられる *Grevillea robusta* や *Senna siamea* はこれと同等か少な目がよいと考えられ、また、乾燥環境耐性が高い *Acacia* 類についてはこれよりもやや多めでも育成は可能であり、実際にティバ試験林でも 1x1m の植栽密度でも、1992 年の干ばつの年を乗り越えてきている。

また、インドにおけるアグロフォレストリー方式での *Prosopis* 類の試験栽培の結果では、2-3 年生で 833 本/ha に、12 年生で 208 本/ha まで減少させる密度管理が最適で、農作物の収量にも大きな減収はないとの報告もある。

(植え穴)

植穴は、通常、径 30cm x 深さ 30cm から 45cm x 45cm の大きさであり、ケニアのキツイ地方でも概ねこの大きさである。本事業で行った植林経験のある農民へのアンケート調査においても、活着率を左右する大きな要因とは考えられていない。

しかしながら、ミャンマーの中央乾燥地帯（年雨量 800mm、乾季の長さ 7 か月）では、植え付け後の苗木が速やかに根系を発達させることを目的として、縦 90cm x 横 30cm x 深さ 30cm の穴の中央部にさらに 30cmx30cmx30cm の穴（植栽箇所の穴の深さは計 60cm）を掘っている例があり、この場合の活着率は 100%に近いと報告されている。植林対象地域が重粘な土壌で、乾季には固結するような場合には植穴が小さいと植栽木の根系が周囲の土に張り出せず、十分な生育が期待できないため、植穴を大きくすることも検討する必要がある。

また、植穴を掘る時期については、乾季の終わりに植穴堀を終わらせておくのが望ましい。雨季が始まった時に植穴の底にも十分に水が浸透するようにするためであり、また植栽本数が多い場合は植え穴堀に時間がかかり、植え付けの時期が遅れてしまうことが懸念されるためである。

(植付け)

植栽された苗木の生育期間をできるだけ長く確保して根の発達を十分に促し活着させるため、一般的に雨季の開始後の一定の積算降雨量があったときに植え付けを行う。積算降雨量 100mm というのが一つの目安となる。しかしながら乾燥地域・半乾燥地域においては、降雨が不規則なことが多く、植え付けの時期を判断することは難しい面もある。

また、乾燥地域・半乾燥地域の土壌は一般的に粒子が細かく保水性に乏しい。このため、植え穴の下部に、表土や腐葉土などの有機物を入れ、保水性を高めることが有効である。

なお、植え付け時には細根が多少なりとも損傷を受け、特に乾燥地においては活着率を低下させる大きな要因となる。活着率を高めるため、広葉樹であれば頭頂部から数えて 2, 3 の枝を残して切り落とし、蒸散量と吸水量とのバランスを取ることが有効である。

(植栽木への灌水)

乾燥地域・半乾燥地域ではもともと水資源に乏しく、生活用水や農業用水の確保が優先し、乾季に植栽木にまわす余裕はない。また、樹木の植栽地は通常水源から遠隔地にあるが、用水路の整備あるいは水の運搬を行うことは現実的には困難である。

乾燥耐性のある樹種を選択し、健全な苗木を育成し、雨季の始めを外すことなく植栽し雨季の間に十分な生育期間を確保することにより、乾季を灌水なしに乗り切れるようにすることが重要である。

植栽木が灌水されるケースとしては、植栽の時期が遅れ植栽木に十分な生育期間が取れなかった場合、あるいは住民の自宅周辺の植栽木へ生活排水を灌水する場合などが考えられるが、少量の水を毎日やるよりも一定の期間をあけて灌水したほうが根の発達を促進することから好ましいとされている。

③植林木の維持管理

乾燥地域・半乾燥地域においては、降雨量が少ないこと、長い乾季が存在することから森林・樹林地の造成は造林技術的にも難しいが、造成後の森林・樹林地は山火事、家畜の食害などの被害にあう危険に常にさらされている。植林木の適正な維持管理がなされないことが乾燥地域・半乾燥地域における成林率の低さにつながっている。

山火事については、その原因には焼畑や牧草再生・更新、狩猟のための火入れ、失火などがあげられるが、乾季には枯れた下草や下枝があるため容易に燃え広がりやすい。この対策としては、燃料となる下草等を整理集積する必要があるほか、防火のための尾根筋などに防火線または防火(樹)帯を作設することなどがあげられるが、出火の原因は殆どが人為的な要因であり、地域住民に対する普及啓もう活動を徹底し、山火事の発生防止、監視体制、消火体制について、地域住民の理解と協力を得られるようにしていくことが重要である。

家畜の食害については、牛やヤギなどの放牧によるものであるが、従来から慣行的に行われており、放牧を法的に禁止することは困難である。乾燥地域・半乾燥地域においては、植林地の維持管理上、深刻な問題となっている。フェンス等で植林地を囲い込む対策を講じることが最も確実であるがコストがかかるため、現実的ではない。山火事と同様に地域住民の理解と協力を得て、放牧のルール作り、家畜飼料の確保策（飼料木の植栽等）を協議していく必要がある。

植林地の維持管理をより確実なものとしていくためには、上記のとおり地域住民の話し合いによるルール作りを行っていくことが重要であるが、山火事の原因となる火入れ、家畜の放牧ともに、地域住民が生活の一部としてこれまで実施してきたものであり、その合意形成には時間がかかるとされる。乾燥地・半乾燥地における植林の担い手はケニアが政策的に推進しているように農民とし、比較的維持管理の届きやすい農地内でのアグロフォレストリーや農地境界線上の植林を推進することが当面の対策となる。

④伐採周期・伐採時期

（伐採周期）

各地域での需要や商品規格を把握して計画を立てることが重要である。ケニア国キツイ県における *Eucalyptus* の萌芽更新の事例では、直径が 8cm に達すると市場価値が生じ、3 年サイクルで伐採を行っている。

（伐採時期）

その時々市場価値や需要の変動も時期決定の大きな要素であるが、農耕地内に植栽した場合には作物との水の競合にも着目することが賢明である。Pollarding（頭木作業）や pruning（剪定）を行うことにより、樹木の総根量が減少し伸張範囲も抑制されることが知られている。乾季に先駆けて枝打ちを行うことにより、乾季における作物との水の競合を軽減する効果が期待できる。

また一般的に間伐は、効率的にバイオマス量を増加させることを目的として実施されるが、乾燥地の特にアグロフォレストリーにおいては、作物との水の競合を軽減させるための技術として位置づけることができる。実施にあたっては土壌表面からの水分蒸散量が増加するというマイナス要素も勘案しながら伐採量を決定することが望まれる。

さらに、間伐は生長休止期に行われるのが一般的であり、乾燥地では乾季の終了時に行うことが推奨されているが、作物との水の競合を軽減するという観点からは、乾季に先駆けて実施することも、乾季における作物種との水の競合を避ける上で有効な手法の一つとなると考えられる。特に、半落葉性樹種や常緑樹については効果が高いと考えられる。

第6節 アグロフォレストリー手法による樹木の植栽

1. アグロフォレストリー と水環境

乾燥・半乾燥地域に限らず、植林地の確保は住民にとって大きな課題であり、自然条件に恵まれた区域は農耕地に優先的に割り当てられるのが一般的である。また、家畜等による食害や違法伐採の危険性が高い地域では、日常的に目の届きやすい範囲で樹木を育成・管理することを住民は望んでおり、農耕地とその周辺が樹木植栽の対象地として選ばれることが多い。樹木と作物との混作をいかにバランス良く成立させるかの技術が求められる。

① アグロフォレストリー の特徴

アグロフォレストリーに関して様々な定義がなされているが、「Agro-forestry is an integrated system of rural land resource management based on combining shrubs and trees with crops and/or livestock, whose interactions generate economic, environmental and social benefits.」というのが簡潔かつ正確な説明とされている (N. De Baets, 2007, Portrait of Agroforestry in Quebec)。

すなわち、単に異なった生産活動の組み合わせではなく、それぞれの生産活動を単体で実施した場合よりも総合的に何らかの便益を生み出すことを目的として実施されるものである。特定の形式は存在せず、その目的や自然・社会・経済条件に即して様々な形態が取られている。

② 農地等への樹木植栽のプラス面とマイナス面

何らかの便益をもたらすために適用されるアグロフォレストリーであるが、目的の異なる生産活動の組み合わせは、時として負の影響をもたらすことも考えられる。

プラスの要素として、農耕との組み合わせでは、緑陰、光の効率的利用、微気象の改善、土壌浸食防止、土壌改良、成立バイオマスの増加、空間の有効利用、雑草の抑制等の効果が期待され、畜産との組み合わせでは、緑陰の提供、肥料の提供等の効果が期待できる。

また、マイナスの要素としては、農耕との組み合わせでは、水・光・養分の競合、アレロパシーの危険性が、畜産との組み合わせでは、植物毒素の含有、家畜による食害・踏圧、病害虫の宿主としての危険性が憂慮される。

特に作物との水の競合は、乾燥・半乾燥地域でのアグロフォレストリーにとって大きな課題であり、それを回避・軽減するための工夫が求められる。

2. アグロフォレストリーが行われる場所

ケニア国でアンケート調査を実施した結果では、土地所有面積が限られているため植林地を設定して樹木を植栽している例は少なく、住民は居住区域内や、家畜侵入防止のための生垣として、土地の境界線明示のため、そして農耕地内や放牧地内で樹木の植栽を行っていた。アグロフォレストリーとは農耕地を対象として行われるものを取り扱うのが一般的であるが、本項では広義のアグロフォレストリーとして捉え、農地や住民の居住区域周辺で行われる樹木の植栽活動についても「6）農耕地以外での植栽」として取り扱った。

3. 農耕地内での植栽

限られた土地所有面積の中で、可能な限り多くの収益を創出することを目的として実施されるものであり、一般的にこの形態がアグロフォレストリーと位置づけられている。

樹木と作物の配置については様々な形式が取られており一定のものは存在しないが、①土壤浸食防止のための等高線沿いの植栽、②緑陰による微環境改善のための一定間隔の植栽、③間作として樹木と作物を列状に配置する植栽（緑陰、土壤改良効果）、④一定区域に樹木を集中させる植栽に分類することができる。

農耕地内での植栽は、樹木と作物の競合による水不足のための作物の減収が一番の課題となる。しかし同時に土壤浸食防止や表流水の土壤浸透性の改善、緑被による微気象の改善により作物の生育に対しプラスの側面も持っている。目的の効果を満度に発揮させるための適切な配植デザイン（土壤浸食の防止等）、植栽間隔、樹種選択、混植による空間や土壤水分の有効活用、あるいは密度管理（間伐等）、枝打ち、root pruning のような管理を適切に行うことが、期待した成果をあげる上で重要な鍵となる。

作物と異なる土壤深度から主に水を吸収する種類であること、根粒菌の共生などにより土壤改良効果が期待できること、有機養分の供給源としての能力が高いことが植栽木に求められる要素であり、地表流下水の土壤浸透の促進や土壤浸食防止を目的とした垣根（Hedge-row）として植栽する場合には、植栽・管理が容易なこと、生長が早いこと、飼料木としても有用なことも樹種選択の基準の一つとなる。

植栽間隔、植栽可能本数は降雨量により限定され、ケニアの事例では *Melia volkensii* を一定間隔で植栽するにあたり、年降雨量が 900mm 程度以下の地域（Agro-climatic Zone V-2, 平均気温の年平均値 21~23℃）では縦横 5m 間隔、450mm 程度の地域（Agro-climatic Zone V-1, 23~29℃）では 15-20m の間隔が取られていた。前者については当初 3m 間隔で植栽したが、作物収量を確保するために植栽間隔を変更したとのことであった。微妙な地形や気象条件の違い、土壤条件の違いにより育成可能な樹木の本数は異なるものであり、これら経験に基づいた手法に学ぶことも植栽間隔を決定する上で有効な手段の一つとなる。

植栽にあたっては、マイクロキャッチメント等の集水技術を導入して表流水の捕集・土壤浸透を促進させる工夫を行うこと、根系の発達深度（水の利用深度）の異なる植物体を組み合わせることも水分の有効利用を行う上で重要である。マイクロキャッチメント等の設置は、表土の流失防止にも有効である。



写真 71: 典型的なアグロフォレストリーの形態
(緩傾斜地; 自生種 + 生垣植栽 + 作物)



写真 72: 区画を設定しての樹木の植栽
(ユーカリ + トウモロコシ + 他の作物)



写真 73: アグロフォレストリーの典型
(平坦地; 樹木 + リョクトウ)



写真 74: *Grevillea robusta* 植栽によるベンチテラスの構造の強化



写真 75: ユーカリ林内での作物の間作事例



写真 76: *Melia volkensii* の植栽事例(5x5m)
(年降水量 900mm 以下, 平均気温の年平均値 21-23 °Cの地域)



写真 77: *Melia volkensii* の植栽事例(15-20 x 15-20m)
(年降水量 450mm 程度, 平均気温の年平均値 23-29°Cの地域)

4. 作物と樹木による水などの資源を巡る競合

① 競合の実際

乾燥地・半乾燥地域においては、被陰よりも水の競合の方が作物の収量に与える影響が遥かに高いとされる。ケニアにおいて *Grevillea robusta* を植栽してから4年半(9回の雨季)作物の間作を行った結果では、最初の2年間は作物の収量に対する植栽木の影響は見られなかったが、その後は有意に収量が減少し、異常な多雨を記録したシーズンでもトウモロコシの収量は単体で育成した場合の半分に留まったことが報告されている。また、*Melia volkensii* の植栽がトウモロコシ

の生育に及ぼす影響調査では、耕作地内のトウモロコシの収量が 50%以下にまで低下したこと、樹幹から 13m 以内は収量に負の影響を及ぼしたことが報告されている。

また、ケニアにおいて JICA の技術協力プロジェクトが、4m 間隔で植栽された *Senna siamea* の樹間にトウモロコシと豆類を帯状に作付けし、その帯の幅を 1m (作付面積 25 %), 2m (50%), 3m (75%) にして試験した結果では (それぞれの帯にトウモロコシを 33cm 間隔で格子状に植栽し、その中間に列状に豆類を 16cm 間隔で作付けた), 作付面積 25%に対し 50%では作物の収量が倍増したものの、75%の場合の収量は 50%の場合と大差なく、*Senna siamea* の樹高生長にも負の影響を及ぼしたことが報告されている。この場合も 4m の植栽間隔では作物の間作は 2 年間で限度と推定されている。

② 競合を回避、緩和するための方法

a. 間伐 (Thinning), 萌芽更新 (Coppicing), 剪定 (Pruning), 頭木更新 (Pollarding)

樹体量を調整することにより、水消費量を制御することが可能である。葉からの蒸散による水消費を低下させること、根系の伸張範囲を抑制することにより、他の植物体との水の競合を軽減できる。これらの作業は、通常は薪炭材やポール、飼料の採取を目的として実施されている。それらの収益性を考慮に入れ、植栽密度、伐採サイクル、伐採量等を決定する。

季節的には乾季に先駆けてこれらの作業を行うことにより、育成期間が乾季にもかかる作物との水の競合を抑制する効果が期待できる。特に、半落葉性樹種や常緑樹については効果が高いと考えられる。

Coppicing については、樹種によって萌芽能力が著しく異なる。*Acacia* 類は一般的に萌芽能力が低いとされるが、可能であるとする文献もあり、薪炭材として有用な樹種が多いことから、今後どのような条件で可能なのかを試行し要因を解析していく必要がある。

なお、Coppicing が可能な種でも、枝・幹は太くなるほど萌芽能力が減衰するが、太さが 10cm 程度の部位であれば高い萌芽能力を維持しているという。最初の伐採は地上高 20-30cm の部位で行う。ケニアの半乾燥地における *Eucalyptus camaldulensis* の萌芽更新事例では、ポール生産を目的として 3 年周期で 8cm 以上に育った萌芽枝を採取していた。

Pruning については、付加価値の高い材木の生産を目的とする場合には、枝の細い早いステージで行う。樹高の 2/3 程度まで切り落とすことが推奨されている。

Pollarding については、主幹部を将来材木として利用するため、萌芽枝を家畜の食害から避けるため、1.5-2m の高さで伐採するのが一般的である。萌芽枝は萌芽更新と同様にポールや薪炭原料として、樹種によっては葉を家畜の飼料に活用する。

b. 根切り (Root pruning)

根切りを行うことによっても作物との水の競合を緩和することが可能である。

根切りは樹幹から 30~50cm 離れた箇所を 30~50cm 程度の深さで切断するか、あるいはトレンチを掘削することにより行われる。トレンチは埋め戻される場合もあるが、集水溝としてそのまま活用されることもある。

根切りによって通常植栽木の生長は抑制される。作物の収量の確保と樹木生長量の低下を天秤

にかけて経済的効果を判断した上で実施することが望ましい。しかし根切りを行うことにより生垣との水の競合が回避され垂直根の発達が促進されたことにより、根切りを行わなかった個体よりも生長量が増加した事例も報告されている。

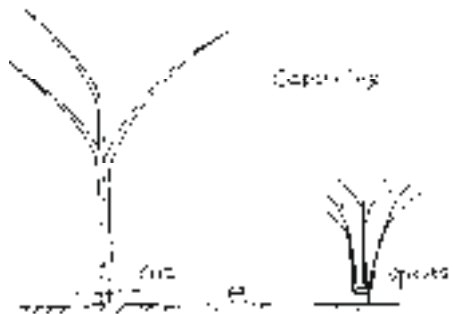


図 24: Coppicing の作業手順

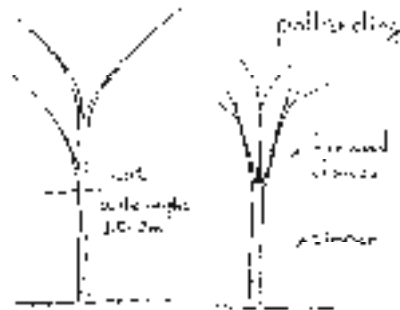


図 25: Pollarding の作業手順

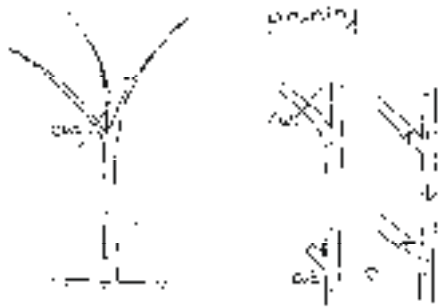


図 26: Pruning の作業手順



図 27: 根切り(Root pruning)の作業手順



写真 78: Pollarding の一例
(樹種: *Lannea* 類)



写真 79: Coppicing の一例
(樹種: *E. camaldulensis*)



図 80: Pollarding の一例
(樹種: マンゴー)

c. 耕種的手法

- 植物体の空間的配置（地下部）の工夫

本ガイドラインの前段に述べられているが、自然状態では植物は異なった植物ごとに異なった深さの水を利用することにより棲み分けを行っている。育成する植物の根系の伸張特性を把握し空間的に上手く配置することにより、限られた土壌水分の有効活用を行い、結果として単位面

積当たりの収益を増進できる可能性がある。

作物では、pigeon pea（キマメ）は深さ 2m 以上、Sorgham は 90cm 程度、pearl millet（トウジンビエ）は地表近くに豊富に、maize（トウモロコシ）は地表近くから 75cm 近くまで、green gram（リョクトウ）や cowpea（ササゲ）は縦に深く横に広く根系を発達するとされ、樹木では、*Acacia nilotica* は深根性で、*Eucalyptus* 類は一般的に強靱な主根に合わせて水平方向にも根系を発達させることが知られている。乾燥地に生育可能な樹種は一般的に深根性とされるが、一部の樹種を除き詳細な調査は行われていない。作物との水の競合に関しては、*Eucalyptus* 類のように根を水平方向にも積極的に伸張する樹種は要注意であり、根切り等を適宜行う必要が生じる。

- 育成期間の配分の工夫

作物によって必要とする育成期間が異なる。Green gram 等は 3 ヶ月程度、Pigeon pea は 10 ヶ月程度を収穫までの育成期間として要する。乾季の水の乏しい状態を基準として長期間育成を要する作物の作付け量を決定し、雨季はそれに加えて早生作物を植栽する工夫をすることにより、土壤水分の季節的变化に応じた有効利用が可能である。

5. アグロフォレストリーに適した樹種

限定された土地所有面積の中で、生活に必要な様々な林産物を供給する場としての機能もアグロフォレストリーに求められることが多く、いわゆるマルチパーパスツリーが植栽樹種として選定される。材木として以外に、薪炭材、食糧、薬用、飼料の供給源や蜜源としての機能の他、環境改善（緑陰、土壌保全）等の機能を併せ持った樹木が珍重される。また、単一の樹種ではなく、多様性を持った植栽が行われるのが一般的である。

それらの樹種については自生していたものを意図的に切り残している事例が多い。地域の自然環境に適した樹木であり、住民のニーズが高いことは確実で、作物との水の競合を差し引いても残す価値のある植物であり、樹種選択に当たっての重要な情報源となる。

ケニアの半乾燥地域（年降雨量 450mm 程度、平均気温の年平均値 23～29℃の地域）で *Melia volkensii*（木材）を主に植栽していた農家も、他に *Azadirachta indica*（木材、薬用）や、*Tamarindus indica*（木材、果実）、*Mangifera indica*（果実他）、*Annona senegalensis*（果樹）も植栽し多様化を図っていた。また、*Acacia tortilis*（飼料、蜜源他）、*Sterculia* spp.（木材、繊維）、*Adansonia digitata*（果実、繊維他）、*Commiphora* spp.（木材）、*Berchemia discolor*（果実他）等の有用樹種も自生していたものが切らずに残され、その有用性を物語っていた（各樹種の写真は第3章第1節の図 10～18 を参照）。

6. 農耕地以外の場所での植栽

① 生垣植栽

農耕地等への家畜や人間の侵入防止を目的として周囲を植栽木で囲うための植栽であり、有刺植物や毒性のある樹木が密に植栽される。アフリカでは繁殖が容易なために以前は *Euphorbia tirucalli* が多く用いられたが、毒性のある樹液を子供が誤飲する危険性や、用途が限定されることから、利用されなくなっている。有刺植物としては *Dovyalis caffra* や *Acacia* 類がアフリカ地域でよく利用されている。

挿し木等による繁殖が可能で、枝打ち等に対する耐性が高いこと、密植に対する適応性が高いこと、管理が容易なことが基本的に求められる。薪炭原木や飼料木として生垣以外の用途を併せ持つ樹種を積極的に採択することも生計向上の点から有効である。

密植を行うことから、周囲の水環境に与える影響は高い。枝条を隣接する樹木のそれと編み合わせることで可能な樹種を活用すれば植栽本数を低減することも可能である。また、pruning（剪定）やpollarding（頭木作業）が可能な樹種を採用し、水分消費量を制御しながら収益を得られる方法を検討することが賢明である。また、生垣の内側が農耕地である場合には、農耕地側の根切りを行う等により作物収量の低下を軽減する工夫が必要である。

② 土地の境界線への植栽

土地の登録・管理制度が未整備な地域において、境界線を第三者に明示することは土地所有者にとって重大関心事であり、明示のための手段として樹木が植栽されることが多い。この場合は、生垣のように密植を行う必要はなく、降雨量や投資能力に応じて植栽間隔を調整することが可能である、既存の有用樹を切り残して活用する場合もある。

新たに植栽する場合には、材木採取や薪炭材の採取も念頭に置いて樹種選択がなされる。

生垣と同様に、内側が農耕地である場合には根切りや枝打ちを行うことにより作物との水の競合を低減する工夫が必要となる。



写真 81: 生垣植栽の一例
(樹種: *Euphorbia tirucalli*)



写真 82: 直挿しによる生垣造成
(樹種: *Euphorbia tirucalli*)



写真 83: 有刺植物の枯れ枝による
土地境界線の明示・保護



写真 84: 土地境界線への植栽 (樹種: *Grevillea robusta*)



写真 85: *Commiphora* 類の大枝の直挿しによる植栽

③ 居住地の敷地内での植栽

敷地内での植栽は日常的に管理が可能のため、投入に見合った付加価値の高い樹種が選択されることが多い。居住環境の改善（緑陰等）や修景に役立つことも選択基準となる。材価の高い樹種、果樹、花木等の園芸植物が多く用いられている。降雨量に応じてマイクロキャッチメントによる水の捕集やPVCチューブを用いた灌水が行われる。

④ 放牧地での植栽

放牧地内の植栽では他の植物体との水の競合についてさほど重視する必要はなく、植栽樹木が育成可能な降雨量が得られる環境であるか否かが重要となる。マイクロキャッチメントは家畜の踏圧を受けることにより構造を維持し得ることが期待できない。一般的に居住区域から離れた区域に放牧地が設定されることから、粗放な管理に耐えられる樹種選択が必要となる。

一般的に家畜の飼料として役立つ樹木の植栽が求められ、栄養価が高いこと、家畜の嗜好性が高いこと、毒性がないこと、萌芽性が高いことが樹種選択の基準となる。

植栽後、定着して家畜等の食餌木として耐えられるようになるまでは、防護柵による保護が必要となる。



図 86: 家畜等の食害からの保護

第4章 水環境を考慮した森林造成に向けて

(正しい知見に基づいた啓蒙活動)

住民の大部分は樹木が集水域に対し何らかの影響を有していると理解しているが、その内容は森林造成によって降雨量が増加するとか、地下水位が上昇するといった間違ったものである。さらに、7割の農家は農地に高木 (*Melia volkensii*) を植栽しても、農作物と競合しない、あるいは枝打ちさえしていれば、樹木は農作物の生産に影響を与えないと考えている。このように農民がアグロフォレストリーにおける樹木の作物への影響について正確な知識を持たず、楽観的に考えており、それらの情報不足が、適切なアグロフォレストリーの設計を行う上での課題となっている。

そこで、樹木や森林が地域の水収支に与える影響(森林の造成によって雨水の土壌浸透量が増加したり、地表面蒸発量が抑制されて、裸地よりも雨水の利用効率が高くなる)について正確な情報を普及させていく必要がある。現場で活動している者たちが現地で情報を収集・蓄積するとともに、それらの情報を共有していくような体制(ネットワーク、プラットフォーム)を整備することが重要である。

(森林造成によって利用できる水資源は減少する)

森林は緑のダムとしての貯水効果は高いが、降雨量を増やす効果は期待できない(日野, 2005)。そればかりか、蒸散に大量の水を消費するので、上流で森林を造成すると、下流で利用できる水の量は必ず減少する。黄土高原の裸地に造林をした場合、その面積が10%増えると、河川流量は9%減少すると予想されている(Zhang et al., 2008)。実際、中国北部で行われた大規模な森林造成のほとんどは、地域の水収支を十分に考慮していなかったために河川への流入量が減少し、黄河の断流などの弊害が生じている。

緑を造成することは水資源を緑地に奪われる、あるいは緑地の維持のために使用しなければならないことを、住民をはじめ、地域の緑化に関わる人々に徹底しておかなければならない。

(水源の保全)

植栽当初は小型で、水消費量も少ない樹木も、成長が進むと、徐々に蒸発散量が増加し、収穫期まで、長期にわたって大量の水を消費し、利用できる水量が徐々に減少していくようになる。

このように、森林を作ることで貴重な水が使われてしまうから、水が大事に使われるように、あるいは使われた水が有効に機能するように森林を造成しなければならない。水は様々な方面で使われ、人々の生活に欠かせない資源であるので、水源に近い森林地帯ではできるだけ水消費を抑え、水源を保全するような森林の造成技術が必要である。そのためには、収穫時の水消費量を予測し、収穫時においても地域の水収支に影響を与えないような森林の造成、管理をしなければならない。

(生産目標に合致した森林造成が必要)

さて森林を造成するに当たっては、まず最初にその森林の生産目標をはっきりさせる必要があ

る。ケニアの山間部では人口増加により乾燥地への移住が進んでいるが、移住者は入植した乾燥地でも、それまでと同じように水を大量に消費する樹木を植栽し、乏しい水資源に一層の圧力を加え、農作物の作付に失敗している(Rumley et al. 2006)。

木材生産物の利用目的を明確にし、目標とする材のサイズや利用したい木質資源の形態や量を把握した上で、森林の造成を始めなければならない。つまり、住民のニーズと地域の水資源量と植栽可能な樹種の生理生態的特性を総合的に考慮した上で、造成すべき森林の構造やその造成法と管理方法が提案されなければならない。

(低密度な森林を持続させるための適正な密度管理技術)

森林は、乾燥地域・半乾燥地に居住する住民の薪炭材の供給や木材販売による生活水準の向上の面で大きな役割を果たしているほか、土壌改良等の環境保全の面でも貢献している。木材生産を目指して高木の森林を育てると、乾燥地では林冠の閉鎖しない疎林となるので、人工的な疎林の造成・管理技術が求められる。

しかし、乾燥地での適性な立木密度管理はまだ十分に解明されていないので、植栽密度や干ばつの時機、その強度などはほとんど経験に頼っているのが現状であり、今後様々な研究を重ねて、立木密度管理による水資源保全の方法を確立しなければならない。

一方、乾燥しているからと言って、立木密度が低ければ良いというものではない。低密度の林分では林床に陽が当たることで蒸発量が増加する場合がある。林分内の水環境を保全するためには林床を保護する薪用の灌木林がいいのか、林床を裸地化して蒸発を抑制しながら木材を生産する疎林がよいのか。時には木材生産を抑えつつ、生産目的に合致した適正な密度管理を考えなければならない。

(立地の微環境を考慮した施業)

日本の中でも、斜面の上と下、あるいは日本海側と太平洋側で立地条件は大きく異なるので、植栽する樹種やその管理方法も全く違ったものになっている。同じように乾燥地の中も細かい地形や斜面方位などによって立地条件は異なっているので、ミクロな視点に立って、立地環境の僅かな違いがその後の植物の生長に大きく影響するので、微環境の変化を十分に考慮し、植栽樹種やその管理方法を考えなければならない。

乾燥地、半乾燥地と言っても、年降雨量が数 10 mm の所から 800mm に達する場所まで様々である(吉川ら, 2004)。降雨量の違いは植林後の土壌水分の変化に大きく影響する。たとえば、ニセアカシアを年平均降水量 600mm 以上の十分な降雨量のある土地に植林した場合、植栽木の成長とともに土壌の水分保持能力は増加するが、干ばつが頻発するような乾燥地では、植林後の樹木の生長は土壌の乾燥化を引き起こす。そういう土地には水消費量の少ない樹種を選ぶ必要がある。ただし、もっと乾燥していて樹木が生長できないところでは、当然植林は土壌水分に影響しない(Jin et al. 2011)。

(適地適木)

そこで、植林の目的や土地の条件に合わせて、適地適木を目指して、樹種選択に多様なオプシ

ョンを担保するには、できるだけ多くの樹種の特徴の解明を進めなければならない。

利用する植物の種類を選択できるように、できるだけ多くの植物種について、その生育特性を明らかにしておかなければならない。絶対量は不足しているといえども、様々な形態の利用できる水源が乾燥地にはあり、その水を利用するための様々な生活史戦略を有する乾燥地植物たちが生育している。したがって、乾燥地といえども利用できる樹種は少なくないはずであるが、まだ造林に使える樹種は多くない。

樹木は生育期間が長いし、その間の管理方法の違いによって様々な樹形や林分が生まれるので、長期展望を持った樹種選定が必要である。

(大規模で一律な森林造成は避けなければならない)

残存する天然林への利用圧力を軽減する上からも、積極的に植林を展開していく必要がある。しかし、微環境の違いに適切に対応することが難しい大規模で一律な森林造成は大面積の造林不成績地を生み出す恐れがあり、乾燥地ではできるだけ避けなければならない。したがって、温室効果ガスの吸収を目的とするような、大型の森林造成では、住民の生活への配慮が少なくなりがちで、水源を枯渇させる危険が大きくなる(Cao et al. 2010)。単なる森林のバイオマス増大を目的とした森林造成は乾燥地には適さない。

悪いことに、いくつかの大規模な緑化プロジェクトでは、一部の小規模の範囲でしかも短期的なものではあるが、立派な森林造成に成功しており、適正な管理が行われれば、荒廃地の緑化が可能であるような印象を与えている。しかし、そうした短期的な結果は乾燥・半乾燥地での大規模で長期的な緑化政策を支持するものではない(Cao et al. 2010)。

(乾燥した厳しい環境に耐える頑健性が求められている)

乾燥地は降雨量の年変動が大きいので、森林、樹木が長期にわたって維持されるためには、干ばつ時に生き残れる植生でなければならない。そのために森林のサイズ(=水使用量)を干ばつ時の最低降雨量を基準にして管理するか、あるいは干ばつ時には樹木自身が葉量を調整する(先枯れ)ことのできる特性などを持った樹木を選択しなければならない。

乾燥地の厳しい環境に耐える持続的な森林の造成を目指した管理手法が求められている。そのためには、降雨量の変動に対して、如何にして土壤水分を安定に保つか、あるいは限界以下に土壤が乾燥しないようにするかが、乾燥・半乾燥地で森林を維持するために考えなければならない重要な要因の一つである。乾燥地の微環境の違いを考慮し、立地条件によって用いる樹種を変更するようなきめ細かい森林造成が必要である。

(森林造成とアグロフォレストリーの違い)

樹林や緑地の造成を進めるにあたって、住民生活との関係を忘れてはならない。したがって、住民の居住域に近いところで実施されるアグロフォレストリーとしての森林管理と集落から離れたところで行われる森林造成・管理は全く別の視点を持って対処しなければならない。

森林造成においては育成した樹木からいかに収益を上げるかが主題となり、地域の水資源に悪影響を与えないように実施規模や植栽密度、管理方法を検討する必要がある。一方、アグロフォ

レストリーにおいては作物への直接的な効果以外に、農地の環境改良効果が期待されている。従って、作物の収量にできるだけ影響しないような樹種選択、生育管理が必要となる。

また、アグロフォレストリーは居住地に近い区域で実施されることが多いため、住民の目が行き届き、また頻繁に手をかけることが可能である。それが盗伐や家畜食害の防止や植栽木の生育環境の維持に役立っている。それに対し集落から離れた区域で行われる森林造成では、盗伐等の危険性が無いこと、省力的な森林管理が可能なが前提条件として求められ、粗放な管理に適した樹種選択や家畜侵入防止柵等の施設の投入の検討も必要な要件となってくる。

期待された効果を発揮するためには樹種選択や植栽間隔、植栽デザインの検討・工夫が必要となってくる。

(アグロフォレストリーの課題)

アグロフォレストリーは、樹木と作物の間での水を巡る競争と棲み分けの産物であり、林業と作物栽培の妥協の結果である。アグロフォレストリーにおいては、木材生産を目的とした植林とは異なり、生活に密着した多彩な樹種が植栽の対象となる。そのように住民の生活に重要であっても、商業的にマイナーな樹種についての育成手法の研究も遅れている。しかも、水資源の有効利用を目指す上で当該の樹種の生育特性やその管理手法に関する住民の知識が絶対的に不足していることが目標達成のネックとなっている。

森林は生長すると土壤水分を減少させるので、作物は必ず影響を受ける。そのことを承知の上で、アグロフォレストリーにおける樹木の管理をしなければならない。

(まとめ)

森林を造成すると利用できる水が減るという正確な情報をもとに、地域の環境保全と住民の生活向上を目指して、森林の造成を行わなければならない。

作物栽培をサポートするアグロフォレストリーと水源涵養と木質資源の生産を目的とする森林造成では自ずと対象とする樹種も、その施業・管理方法も違ってくる。

不案内な環境に対しては、単純化して物事を見やすいため、我々は日本のようにきめ細かい造林手法の適用、例えば適地適木等が、乾燥地でも必要性であることを理解しにくいし、現地住民もそうした情報や知見がないために、単純な森林造成をしてしまいがちである。

樹種選択において多様なオプションを担保するためには、できるだけ多くの樹種について種特性を明らかにし、育苗、植栽技術の開発を進めなければならない。

乾燥地では水はすべてを司る通貨である。適正な水利用のもとで所期の目的に合致する木質資源の生産を行うためには、地域の水収支を常に念頭に置いた林分管理が欠かせない。特に、適正な密度管理による疎林の造成技術の開発が待たれている。そのためには樹木の生長経過を様々な環境条件下で比較しなければならないため、履歴のはっきりした森林を様々な地域で数多く造成・確保することが必要であり、長い年月を必要とする。早急に着手しなければならない課題である。

引用文献

- Cao, S., Tian, T., Chen, L., Dong, X., Yu, X. and Wang, G.(2010)Damage caused to the environment by reforestation policies in arid and semi-arid areas of China. *AMBIO*, 39, : 279–283.
- Jin, T.T.,Fu, B.J., Liu, G.H. and Wang, Z.(2011)Hydrologic feasibility of artificial forestation in the semi-arid Loess. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, : 2519-2530.
- Rumley, R, Muthuri, C. and Ong, C.(2006)More trees with less water. World Agroforestry Centre ICRAF, Nairobi, Kenya, 4pp.,
- Zhang, X.P., Zhang, L., McVicar, T.R.,Van Niel, T.G., Li, L.T., Li, L., Yang, Q.K. and Wei, L.(2008)Modelling the impact of afforestation on average annual streamflow in the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*, 22, : 1996–2004.
- 日野幹雄(2005)植物の気孔蒸散と流体力学. *ながれ*, 24, : 473-481.
- 吉川 賢・山中典和・大手信人編(2004)：乾燥地の自然と緑化，共立出版，235 頁

ROC 解析による植栽可能域の選定

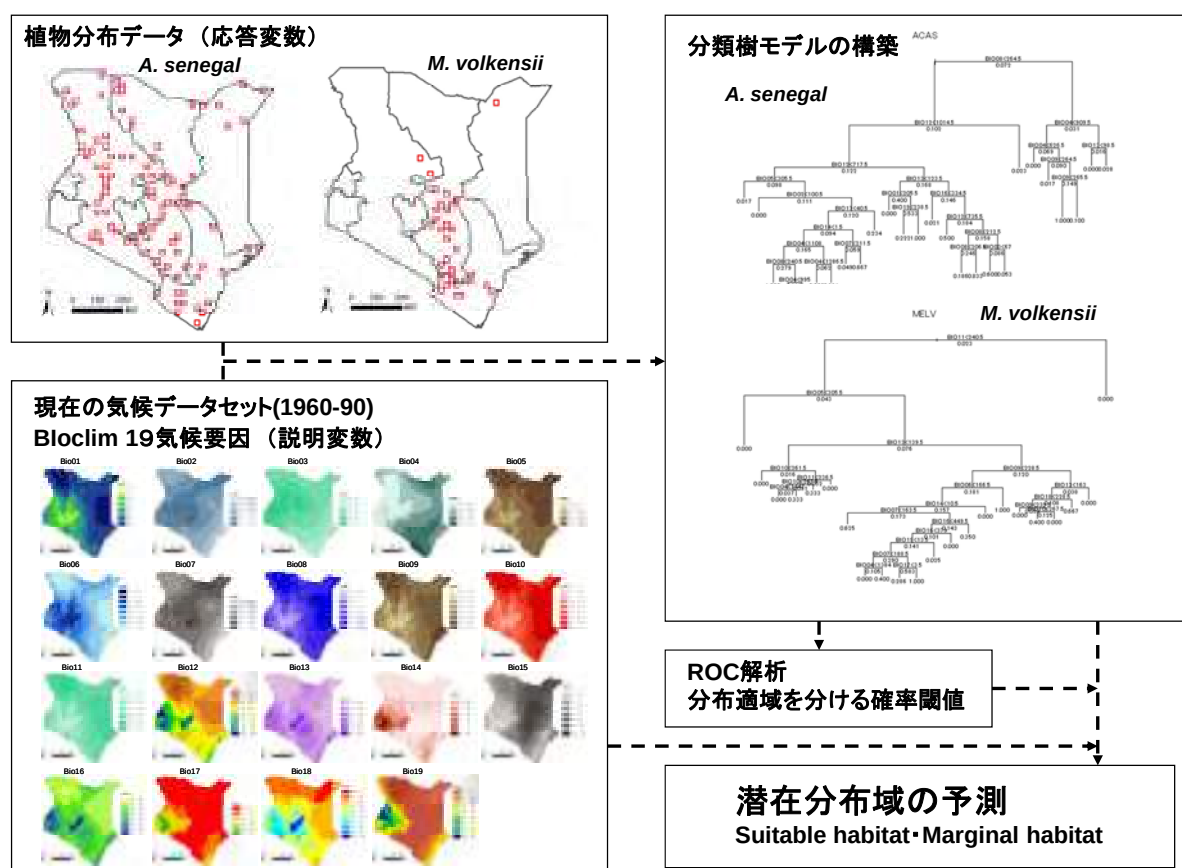


図1：解析フローチャート

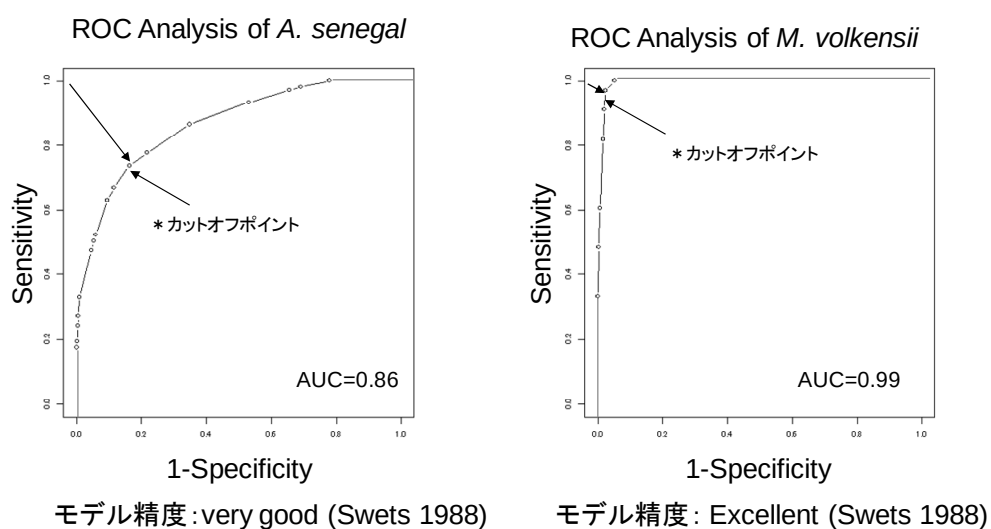
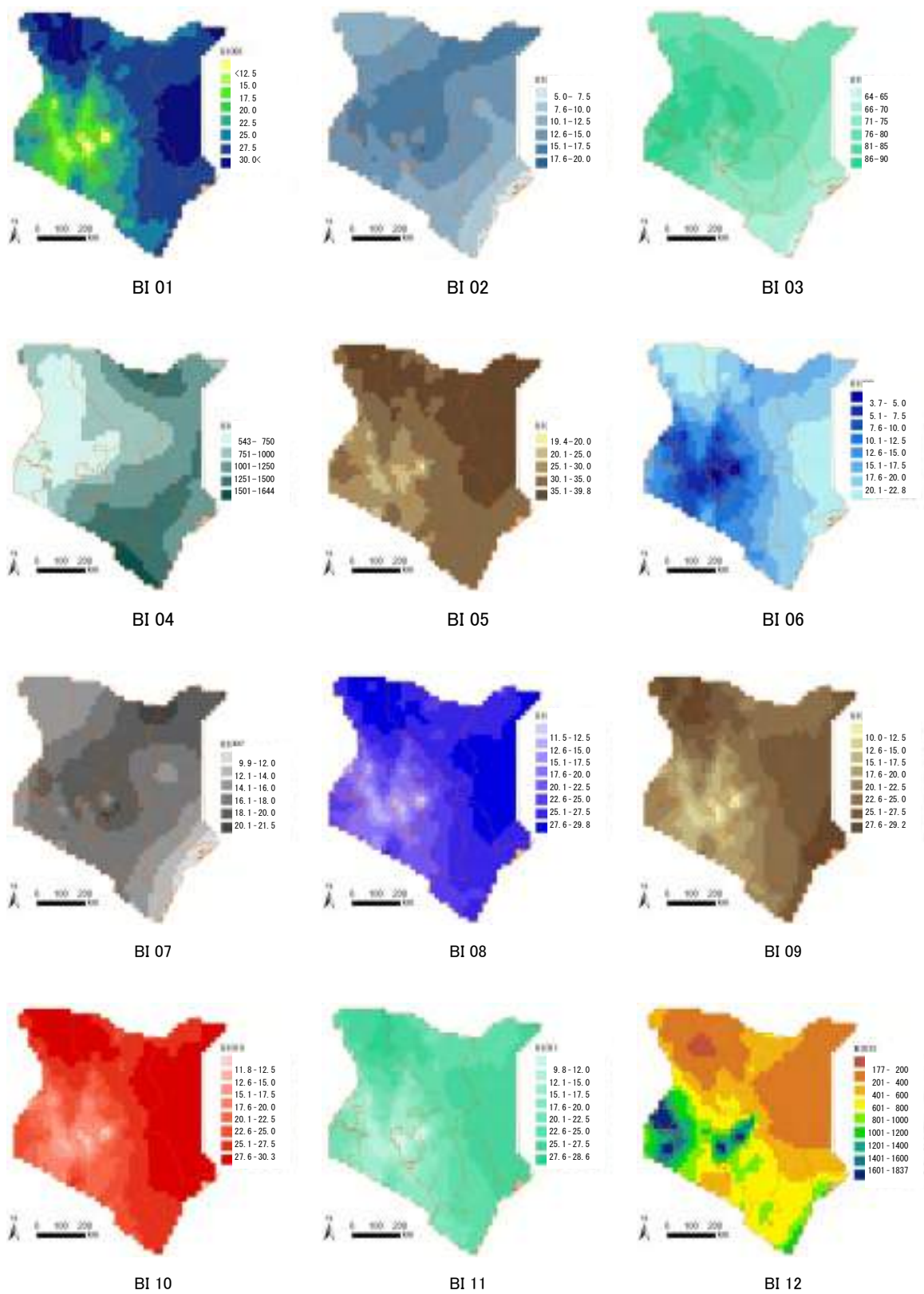


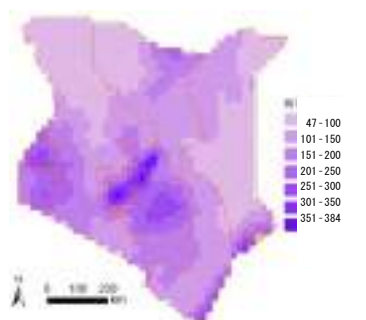
図2: *A. senegal*, *M. volkensii* の分類樹モデルの精度検証と確率閾値

Suitable Habitat: カットオフポイント以上の分布確率条件をもつ場所

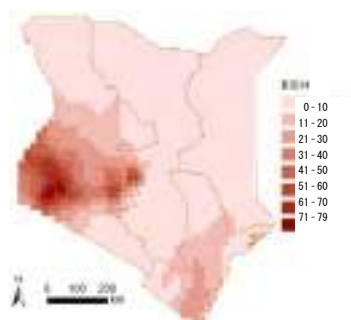
Marginal Habitat: カットオフポイント未満かつ 0.01 以上の分布確率条件をもつ場所

図3: BIOCLIM の 19 の気象要因と標高

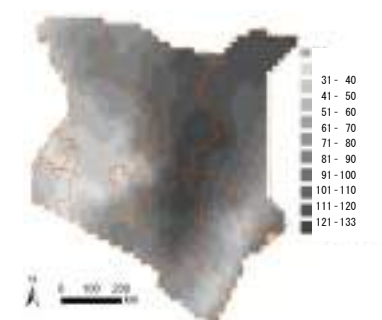




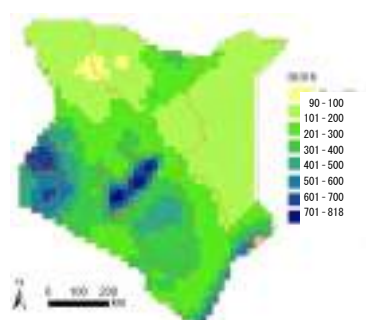
BI 13



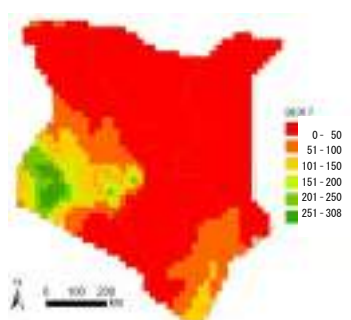
BI 14



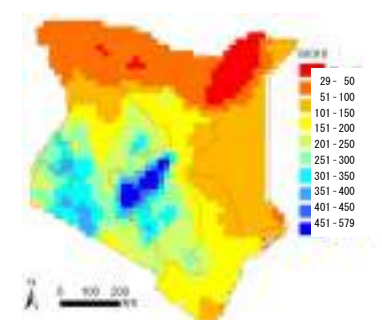
BI 15



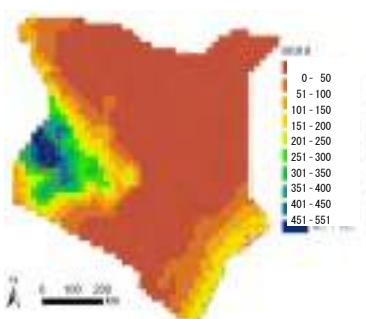
BI 16



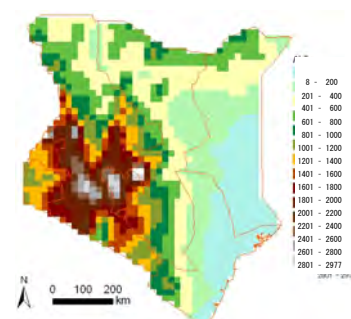
BI 17



BI 18



BI 19



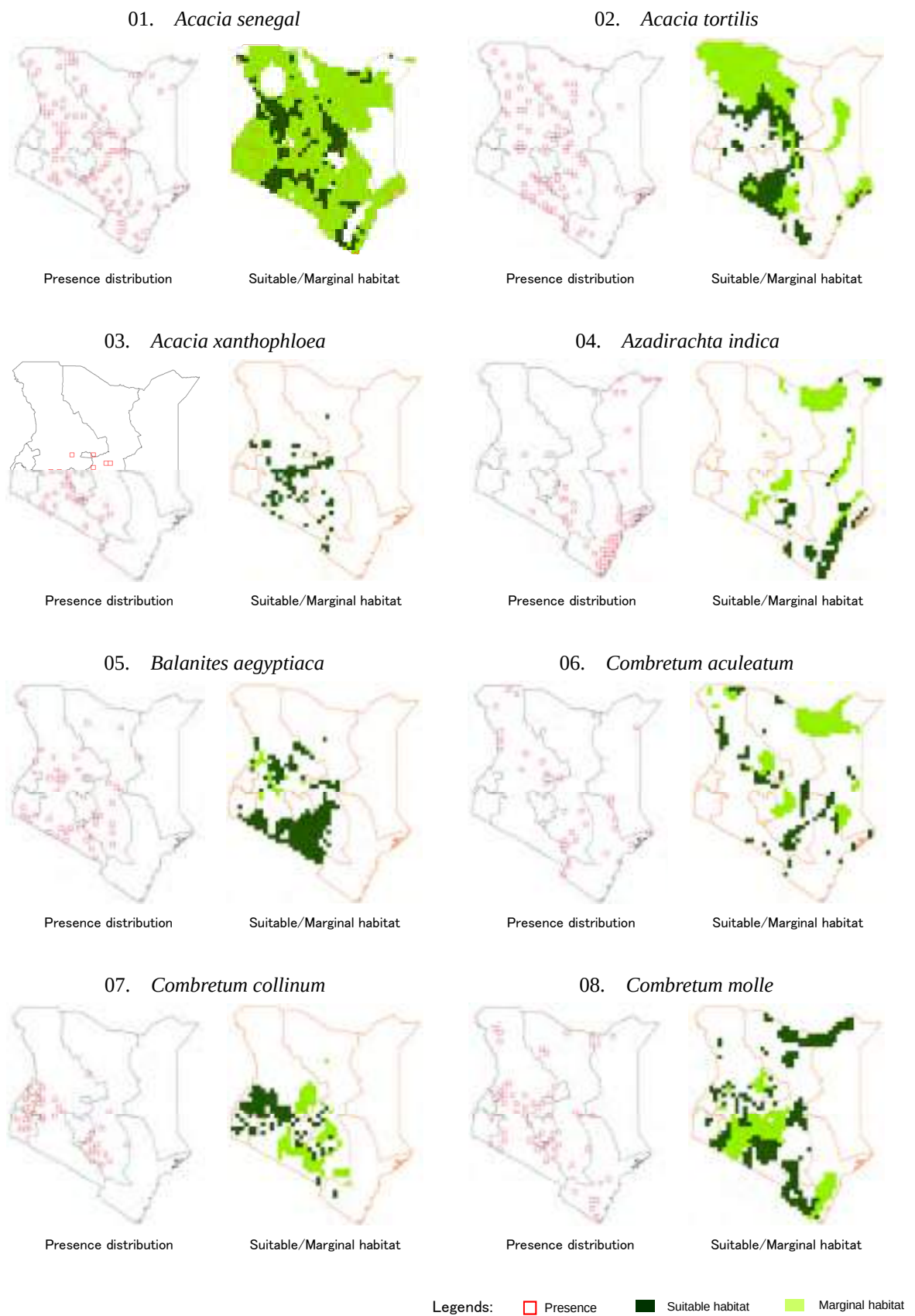
Altitude

表1: BIOCLIM の19の気象要因

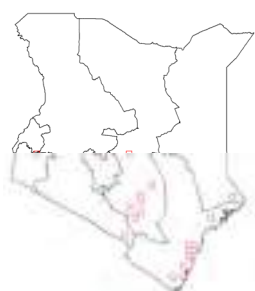
	Climatic Factor
BI01	Annual Mean Temperature
BI02	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max. temp. - min. temp.))
BI03	Isothermality (BI02 / BI07) (* 100)
BI04	Temperature Seasonality (standard deviation * 100)
BI05	Max. Temperature of Warmest Month
BI06	Min. Temperature of Coldest Month
BI07	Temperature Annual Range (BI05 - BI06)
BI08	Mean Temperature of Wettest Quarter
BI09	Mean Temperature of Driest Quarter
BI10	Mean Temperature of Warmest Quarter

	Climatic Factor
BI11	Mean Temperature of Coldest Quarter
BI12	Annual Precipitation
BI13	Precipitation of Wettest Month
BI14	Precipitation of Driest Month
BI15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BI16	Precipitation of Wettest Quarter
BI17	Precipitation of Driest Quarter
BI18	Precipitation of Warmest Quarter
BI19	Precipitation of Coldest Quarter

図4： 解析を行った 19 樹種の現存分布図及び分布適域・分布辺縁域図



09. *Combretum shumannii*



Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

10. *Eucalyptus camaldulensis*

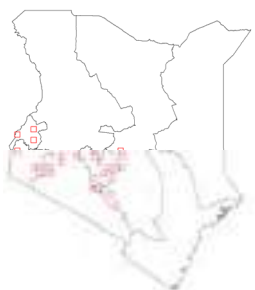


Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

11. *Eucalyptus globulus*



Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

12. *Eucalyptus saligna*

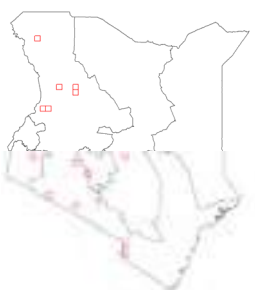


Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

13. *Faidherbia albida*

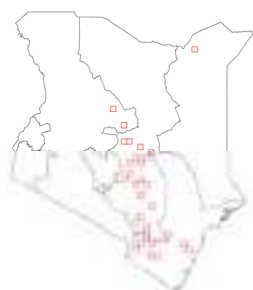


Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

14. *Melia volkensii*



Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

15. *Senna siamea*

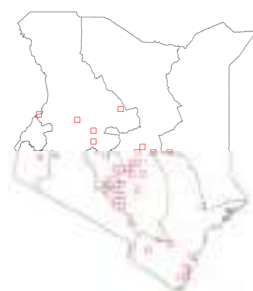


Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

16. *Senna singueneana*



Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

Legends: ■ Presence ■ Suitable habitat ■ Marginal habitat

17. *Senna spectabilis*

Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

18. *Tamarindus indica*

Presence distribution



Suitable/Marginal habitat

Legends: ■ Presence ■ Suitable habitat ■ Marginal habitat

表2: 各樹種の分布可能域の決定に及ぼす各気候要因の分離貢献度 (Deviance Weighted Score: DWS)

DWS (%)	Bioclim parameters																		
	BI 01	BI 02	BI 03	BI 04	BI 05	BI 06	BI 07	BI 08	BI 09	BI 10	BI 11	BI 12	BI 13	BI 14	BI 15	BI 16	BI 17	BI 18	BI 19
<i>Acacia senegal</i>	2.7	2.8	4.2	14.5	3.2	0.0	3.6	20.2	10.9	0.0	0.0	14.2	3.0	3.3	0.0	9.0	3.7	0.0	4.9
<i>Melia volkensii</i>	0.0	0.0	0.0	4.7	16.5	6.2	7.4	0.0	7.1	7.0	20.0	0.0	12.2	2.0	0.0	5.0	3.4	2.7	4.8
<i>Acacia nilotica</i>	2.0	0.0	0.0	9.2	29.4	0.0	4.0	0.0	2.7	7.3	0.0	20.5	2.4	0.0	13.1	3.0	3.1	0.0	3.3
<i>Acacia tortilis</i>	0.0	3.3	0.0	15.9	0.0	7.7	10.1	0.0	3.5	19.7	0.0	0.0	5.8	14.6	6.0	2.7	5.5	5.2	0.0
<i>Acacia xanthophloea</i>	0.0	0.0	0.0	3.0	12.5	2.6	3.1	0.0	31.0	0.0	0.0	27.1	0.0	2.3	0.0	3.7	5.5	9.3	0.0
<i>Azadirachta indica</i>	1.9	36.1	3.9	14.1	5.8	3.3	6.2	4.0	0.0	1.1	0.0	5.4	0.0	3.6	9.8	0.0	5.0	0.0	0.0
<i>Balanites aegyptiaca</i>	6.1	10.1	0.0	7.6	8.5	38.9	3.1	0.0	0.0	7.5	0.0	3.4	0.0	2.9	0.0	5.4	2.8	3.9	0.0
<i>Combretum aculeatum</i>	7.6	3.7	4.2	9.1	0.0	4.1	9.4	4.0	3.6	0.0	3.5	8.2	0.0	13.8	3.7	4.5	0.0	16.0	4.5
<i>Combretum collinum</i>	0.0	4.7	0.0	9.4	3.7	2.7	0.0	3.3	5.3	3.4	0.0	3.6	9.0	0.0	0.0	3.3	0.0	40.5	11.1
<i>Combretum molle</i>	12.1	4.3	8.1	15.9	0.0	28.8	3.0	0.0	2.2	0.0	0.0	11.2	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Combretum schumannii</i>	33.4	8.7	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	2.4	0.0	2.3	0.0	4.8	9.4	0.0	5.5	23.2	3.1	0.0	0.0
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4.1	3.0	0.0	10.1	3.3	0.0	2.6	0.0	3.5	10.1	3.4	49.7	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
<i>Eucalyptus globulus</i>	0.0	3.0	4.3	4.2	0.0	0.0	7.3	0.0	4.5	0.0	0.0	48.9	0.0	0.0	0.0	17.3	7.7	2.8	0.0
<i>Eucalyptus saligna</i>	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	4.9	7.3	45.8	4.8	2.0	0.0	8.5	0.0	13.9	2.8
<i>Faidherbia albida</i>	0.0	0.0	0.0	28.2	0.0	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	9.2	0.0	0.0	0.0	8.8	8.6	14.9
<i>Prosopis chilensis</i>	5.2	13.7	0.0	20.3	3.8	6.4	14.7	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	4.1	0.0	3.0	0.0
<i>Senna siamea</i>	3.4	0.0	0.0	13.1	33.7	2.3	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	3.0	7.0	0.0	5.6	8.4	3.6	3.7	10.4
<i>Senna singuana</i>	10.6	3.9	0.0	12.1	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	18.1	27.8	0.0	0.0	9.5	0.0	3.8	0.0
<i>Senna spectabilis</i>	6.1	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.6	13.9	8.8	0.0	14.0	0.0	12.5	10.5
<i>Tamarindus indica</i>	7.4	3.4	0.0	6.8	27.6	2.5	4.9	0.0	0.0	0.0	7.8	4.6	3.9	0.0	9.2	11.1	4.7	0.0	6.2

BI 01 Annual Mean Temperature
 BI 02 Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
 BI 03 Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
 BI 04 Temperature Seasonality (standard deviation *100)
 BI 05 Max Temperature of Warmest Month
 BI 06 Min Temperature of Coldest Month
 BI 07 Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
 BI 08 Mean Temperature of Wettest Quarter
 BI 09 Mean Temperature of Driest Quarter
 BI 10 Mean Temperature of Warmest Quarter

BI 11 Mean Temperature of Coldest Quarter
 BI 12 Annual Precipitation
 BI 13 Precipitation of Wettest Month
 BI 14 Precipitation of Driest Month
 BI 15 Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
 BI 16 Precipitation of Wettest Quarter
 BI 17 Precipitation of Driest Quarter
 BI 18 Precipitation of Warmest Quarter
 BI 19 Precipitation of Coldest Quarter

ケニアに分布する乾燥適応性の高い樹種リスト

ケニアに分布する乾燥耐性の高い樹種

No.	学 名	Family	生態			形態		材利用			食用			飼料			環境改善効果			その他 *7	生垣, dead fence	KEFRIによる種子提供 *8	DANIDA 種子及び育苗につ いての情報 *9	KEFRI 試験地での分布 *10	原産	(原産地、異名(ペノム等) 備考
			Agro-climatic Zone	気温(℃)	年降水量(mm)	樹高(m)	形態 *1	形態 *2	葉	果実、ナツ、種子	葉	根	茎	葉	根	葉	土壌改良	防風・遮光	その他 *6							
1	<i>Acacia brevispica</i>	Fabaceae (M) *12	II - VI			0-2,100		Sh - St			x	x	x	x	x	x				x	x	○		I		
2	<i>Acacia drepanolobium</i>	Fabaceae (M)	II - V		500-1,300	1,300-2,400		Sh - St			x	x	x	x	x	x				x	x			I		
3	<i>Acacia elatior</i>	Fabaceae (M)	IV - VII			0-1,750		Tt			x	x	x	x	x	x			x					I		
4	<i>Acacia gerrardii</i>	Fabaceae (M)	III - V			1,300-2,200		Mt			x	x	x	x	x	x			x					I		
5	<i>Acacia mellifera</i>	Fabaceae (M)	I - VI		400-900	0-1,800		Sh - St			x	x	x	x	x	x			x	x	x	○	○	I		ゾーンVIIでは河畔に分布
6	<i>Acacia nilotica</i>	Fabaceae (M)	III - VI	4-47	500-1,000	0-2,500		St			x	x	x	x	x	x			x	x	x	○		I		
7	<i>Acacia paolii</i>	Fabaceae (M)	VI - VII			100-1,250	D	Sh - St			x	x	x	x	x	x				x				I		
8	<i>Acacia polyacantha</i>	Fabaceae (M)	III - IV		200-800	0-1,900		Mt			x	x	x	x	x	x			x		○			I		
9	<i>Acacia senegal</i>	Fabaceae (M)	III - VII	-4-48	300-450	200-2,200		Sh - St			x	x	x	x	x	x			x	x	○			I		
10	<i>Acacia seyal</i>	Fabaceae (M)	III - V	18-28	150-900	0-1,650		Mt			x	x	x	x	x	x			x	x	○			I		
11	<i>Acacia tortilis</i>	Fabaceae (M)	IV - VII	23.4-31.3	100-1,000	600-2,300		St			x	x	x	x	x	x			x	x	○			I		
12	<i>Acacia xanthophloea</i>	Fabaceae (M)	III - V		—	600-2,100		Tt			x	x	x	x	x	x			x	x	○			I		
13	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	Fabaceae (C) *11	II - V			1,900	D - SD	Sh - St			x			x	x	x			x					I		
14	<i>Adansonia digitata</i>	Bombacaceae	II - VI		300-900	0-1,300	D	Tt			x	x	x	x	x	x			x	x	○			I		
15	<i>Adenium obesum</i>	Apocynaceae	III - VI			0-1,500	D	Sh			x	x	x	x	x	x			x	x				I		
16	<i>Albizia amara</i>	Fabaceae (M)	IV - VII	10-47	400-1,000	500-2,000	D	Mt			x	x	x	x	x	x			x	x				I		
17	<i>Albizia anthelmintica</i>	Fabaceae (M)	III - VI	> 40	400-1,000	0-1,350	D	Sh - St			x	x	x	x	x	x			x	x			○	I		
18	<i>Albizia glaberrima</i>	Fabaceae (M)	III - IV			0-900	E	Mt - Tt			x		x	x	x	x			x					I		
19	<i>Albizia gummifera</i>	Fabaceae (M)	II - IV		—	0-2,400	D	Tt													○			I		
20	<i>Allophylus africanus</i>	Sapindaceae	III - IV				E	Sh - St																I		
21	<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	I - IV					Mt																E		ブラジル、カリブ海の沿岸部
22	<i>Annona senegalensis</i>	Annonaceae	I - III	17-30	700-2,500	0-2,400		Sh - St																I		
23	<i>Antidesma venosum</i>	Euphorbiaceae	III - IV		850-1,000	0-1,900		Sh - St			x	x	x	x	x	x			x	x				I		
24	<i>Areca catechu</i>	Areaceae	III - V			1,500-5,000		Palm			x								x					E		東南アジア
25	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	I - VI	> 40	400-1,200	0-1,500	E	Mt			x	x	x	x	x	x			x	x	△	○	○	E		インド
26	<i>Balanites aegyptiaca</i>	Balanitaceae	IV - VII	20-30	200-800	250-2,000	E	Mt			x	x	x	x	x	x			x	x	○	○	○	I		
27	<i>Balanites glabra</i>	Balanitaceae	IV - VI			1,400-1,800	E	Sh - St			x	x	x	x	x	x			x	x				I		
28	<i>Balanites rotundifolia</i>	Balanitaceae	VI - VII		150-400	50-1,350		Sh - St			x	x	x	x	x	x			x	x				I		
29	<i>Balanites wilsoniana</i>	Balanitaceae	II - IV			0-1,200		St			x	x	x	x	x	x								I		
30	<i>Bauhinia variegata</i>	Fabaceae (C)	II - IV			-2,200	SD	St			x			x	x	x			x	x				E		インド、熱帯アジア、中国
31	<i>Berchemia discolor</i>	Rhamnaceae	V - VII	14-30	250-1,200	0-1,600	SD	Sh - Tt			x	x	x	x	x	x			x	x	○			I		
32	<i>Bombax rhodographalon</i>	Bombacaceae	II - IV			0-350		Tt			x	x	x	x	x	x			x	x				I		沿岸部
33	<i>Borassus aethiopum</i>	Areaceae	III - IV			0-1,400		Palm			x	x	x	x	x	x			x	x				I		沿岸部
34	<i>Boscia angustifolia</i>	Capparidaceae			200-800	up to 2,100															△		○			
35	<i>Boscia coriacea</i>	Capparidaceae	VI		300-500	100-1,500	E	Sh - St			x	x	x	x	x	x				x				I		

No.	学 名	Family	生態			形態		材利用			食用			飼料			環境改善効果			その他 *	生垣, dead fence	KEFRIによる種子提供 *	DANIDA 種子及び育苗につ いての情報 *	KEFRI の分布 *	テン試験地での分布 *10	原産	(原産地, 異名(ノム)等)
			Agro-climatic Zone	気温(°C)	年降水量(mm)	樹高(m)	形態 *1	形態 *2	葉 面	材木, 建築用材	その他 *	果実, ナツ, 種子	葉 柄	葉 肉	その他 *	薪, 炭材 *	材木, 建築用材	ポール	その他 *	土壌改良	土壌保全	修景・観賞 街路樹	その他 *				
36	<i>Boswellia microphylla</i>	Burseraceae	VI - VII			250-400	D	Sh - St	5m	F																I	
37	<i>Boswellia neglecta</i> (B. hildebrandtii)	Burseraceae	VI - VII		250-600	200-1,350		Sh - St	5m	F	x															I	
38	<i>Brachystegia spiciformis</i>	Asteraceae	III - IV			0-350	D	Mt - Tt	8-25m	B	x															I	
39	<i>Buddleja polystachya</i>	Longaniaceae	II - IV			1,000-3,000		Sh - St	4-5m	B	x															I	
40	<i>Cadaba farinosa</i>	Capparidaceae	IV - VI	29	200-500	0-1,900	E	Sh - St	5m	F																I	
41	<i>Cajanus cajan</i>	Fabaceae (P) *13	III - V	18-38	600-1,000	0-1,800		Sh	2-3m	F																E	東南アジア
42	<i>Calliandra calothyrsus</i>	Fabaceae (M)	IV - VI			0-1,900		Sh	4-6m	F																E	中央アメリカ
43	<i>Callistemon citrinus</i>	Myrtaceae	I - IV				E	St	6m	B																E	オーストラリア, ニュージーランド
44	<i>Capparis tomentosa</i>	Capparidaceae	III - VI		—	0-2,100		Sh	3m	F																I	
45	<i>Carissa edulis</i> (C. spinarum)	Apocynaceae	II - V		500-1,800	0-2,500	E	Sh	5m	F																I	
46	<i>Casimiroa edulis</i>	Rutaceae	II - IV	18	—	1,200-2,400	E	Mt	12m	F																E	中央アメリカ
47	<i>Cassia abbreviata</i>	Fabaceae (C)	V - VII	27	1,400	0-100	D	Sh - St	10m	F	x															I	
48	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarinaceae	I - IV	13-29	500-1,500	0-2,200	E	Tt	30m	B	x															E	オーストラリア
49	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarinaceae	I - IV	10-35	200-3,500	0-1,400	E	Tt	20m	B	x															E	東南アジア, オーストラリア
50	<i>Celtis africana</i>	Ulmaceae	I - VI			1,150-2,400	D	Mt	12m	B	x															I	
51	<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	I - IV					Palm	20m	B	x															E	世界各地に帰化
52	<i>Combretum aculeatum</i>	Combretaceae	V - VI		—	0-1,350	D	Sh	4m	F																I	
53	<i>Combretum collinum</i>	Combretaceae	II - V		—			Sh - Mt	10m	B	x															I	
54	<i>Combretum molle</i>	Combretaceae	II - V		—	150-2,300	D	St	5-7m	B	x															I	
55	<i>Combretum schumannii</i>	Combretaceae	III - V			0-1,200		Tt	20m	B	x															I	
56	<i>Commiphora africana</i>	Burseraceae	IV - VII		400-1,000	300-800	D	Sh - St	10m	F																I	
57	<i>Commiphora anini</i> subsp. <i>zimmermannii</i>	Burseraceae	II - IV		600-1,000	0-1,750		Mt	5-18m	F	x															I	C. zimmermannii
58	<i>Commiphora myrrha</i> (C. coriacea)	Burseraceae	VI - VII		230-400	220-800		Sh - St	5m	F																I	
59	<i>Commiphora rostrata</i>	Burseraceae	V - VII		200-400	80-1,050	D	Sh - St	4m																	I	
60	<i>Conocarpus lancifolius</i>	Combretaceae	V - VI				E	Tt	20m	B	x															E	ソマリアの沿岸部
61	<i>Cordia alliodora</i>	Fabaceae (C)	V - VII		—400	300-1,000		Sh	3-4m	F																E	エチオピア, ソマリアの沿岸部
62	<i>Cordia monnina</i> (C. ovalis)	Boraginaceae	II - IV					Sh - St	6m	B	x															I	
63	<i>Cordia sinensis</i> (C. gharaf, C. rothii)	Boraginaceae	III - VII			0-1,400	D	Sh - St	3-12m	F	x															I	
64	<i>Cordia africana</i>	Fabaceae (P)	III - V				D	Tt	9-25m																	I	沿岸部
65	<i>Cratogeomys adansonii</i>	Capparidaceae	III - V			550-1,500	D	St	3-10m	B																I	
66	<i>Croton megalocarpus</i>	Euphorbiaceae	III - IV	11-26	800-1,900	1,200-2,450	D	Tt	35m	B	x															I	
67	<i>Cupressus lusitanica</i>	Cupressaceae	II - III	12-30	800-1,500	1,000-4,000	E	Tt	35m	F	x															E	メキシコ, グアテマラ
68	<i>Cussonia holstii</i>	Araliaceae	III - IV			1,500-2,500		Mt	15m																	I	
69	<i>Dalbergia melanoxylon</i>	Fabaceae (P)	II - VI	18-35	700-1,200	0-1,350		Sh - St	7m	B	x															I	
70	<i>Delonix elata</i>	Fabaceae (C)	V - VII	27	580	100-1,200	D	Sh - Mt	15m																	I	

No.	学 名	Family	生態			形態		材利用			食用			飼料			環境改善効果			その他 *7	生垣, dead fence	KEFRIによる種子提供 *8	DANIDA 種子及び育苗につ いての情報 *8	KEFRI試験地での分布 *10	原産	備考 (原産地, 異名(ノム)等)
			Agro-climatic Zone	温度 (°C)	年降水量(mm)	樹高(m)	形態 *1	形態 *2	薪, 炭材 *3	材木, 家具, 建築用材	その他 *4	果実, ナッツ, 種子	葉	樹皮	緑陰樹	土壌保全	修景・観賞 街路樹	その他 *6								
71	<i>Delonix regia</i>	Fabaceae (C)	II - IV	14-26	> 700	0-1,600	D - SD	Mt	15m	F						x	x	x			○			E	マダガスカル	
72	<i>Dierostachys cinerea</i>	Fabaceae (M)	II - VI					Sh - St	8m	F		x				x	x							I		
73	<i>Diospyros mespiliformis</i>	Ebenaceae	IV - VI			20-1,100		Mt - Tt	25m	B	x	x	x			x								I		
74	<i>Diospyros scabra</i>	Ebenaceae	V - VI			900		Sh - St	7m	F	x	x	x			x	x							I		
75	<i>Dobera glabra</i>	Salvadoraceae	IV - VII		100-600	0-1,500	E	St	4-7m	F	x	x	x			x	x			○				I		
76	<i>Dodonaea angustifolia</i>	Sapindaceae	II - IV		450	0-2,800		Sh - St	2-8m	F	x	x	x			x	x			○				I		
77	<i>Dombeya rotundifolia</i>	Sterculiaceae	II - IV			900-2,200	D	Sh - St	8m	F	x	x	x			x	x							I		
78	<i>Dovyalis caffra</i>	Flacourtiaceae	II - IV		—	1,200-2,000	E	Sh	3-5m			x				x				○	○			E	アフリカ南部	
79	<i>Elaeodendron buchananii</i>	Celastraceae	III - IV					Tt	20m	B	x					x	x							I		
80	<i>Erythrina abyssinica</i>	Fabaceae (P)	II - V			900-2,250	D	St - Mt	6-12m	F	x	x	x			x	x							I		
81	<i>Erythrina burtii</i>	Fabaceae (P)	IV - V			950-1,750	D	Mt	5-15m		x	x				x								I		
82	<i>Erythrina melanacantha</i>	Fabaceae (P)	V - VI			300-1,300	D	Tt	12m		x					x	x							I		
83	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Myrtaceae	II - IV	3-40	250-2,500	0-1,600	E	Tt	30m	B	x	x				x	x			○				E	オーストラリア	
84	<i>Eucalyptus globulus</i> ssp. <i>globulus</i>	Myrtaceae	I - IV	12-18	500-1,500	0-3,100		Tt	55m	B	x	x				x				○				E	オーストラリア	
85	<i>Eucalyptus grandis</i>	Myrtaceae	II - V	-1-40	100-1,800	0-2,700														○				E	オーストラリア	
86	<i>Euclea divinorum</i>	Ebenaceae	II - VI	17	700	0-2,500		Sh - St	3-5m	F	x		x			x	x							I		
87	<i>Euphorbia candelabrum</i>	Euphorbiaceae	IV - V			1,100-2,200		Mt	15m	F	x		x			x	x							I		
88	<i>Euphorbia tirucalli</i>	Euphorbiaceae	II - VI		—	up to 2,000		Sh - St	8m	F			x			x	x							I		
89	<i>Faidherbia albida</i>	Fabaceae (M)	IV - VII	18-30	200-900	500-2,000	D	Tt	30m	B	x	x	x			x	x			○	○			I	逆転した植物季節を持つ	
90	<i>Faurea saligna</i>	Proteaceae	III - IV		500	2,200-3,100	D	Sh - Tt	20m	B	x	x				x				○				I		
91	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	II - IV				E	Mt	10-20m	F						x	x							E	インド, マレーシア, インドネシア	
92	<i>Ficus sur</i> (F. <i>capensis</i>)	Moraceae	II - IV				D	Tt	20m	F	x	x	x			x	x							I		
93	<i>Ficus sycamorus</i>	Moraceae	II - VII	0-40	250-1,200	0-2,000	SD	Tt	25m	F	x	x	x			x	x							I	乾燥地域では河畔に分布	
94	<i>Ficus thoningii</i> (F. <i>dekdekana</i>)	Moraceae	II - V			0-2,100	E	Tt	20m	F			x			x	x							I		
95	<i>Flacourtia indica</i>	Flacourtiaceae	III - V	4-48	500-2,000	0-2,400	D	Sh - St	3-5m	B	x	x	x			x	x			○				I		
96	<i>Flueggea virosa</i> (<i>Securinega vilosa</i>)	Euphorbiaceae	II - V			120-2,000	D	Sh	1-3m	B		x	x											I		
97	<i>Garcinia livingstonei</i>	Guttiferae	II - V		—	0-1,900	E	Sh - St	2-10m	F	x	x	x			x	x			△				I		
98	<i>Garcinia volkensii</i>	Guttiferae	III - IV					St	8m							x	x							I		
99	<i>Girardinia sepium</i>	Fabaceae (P)	III - VI			0-1,600		St	8m	B		x	x			x	x							E	中央アメリカ, メキシコ	
100	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	II - V	14-31	600-1,700	0-3,000	SD	Tt	20m	B	x					x	x			○	○			E	オーストラリア	
101	<i>Grewia bicolor</i>	Tiliaceae	III - VI		400-900	0-1,800		Sh - St	2-10m	F	x	x	x			x				○				I		
102	<i>Grewia plagiophylla</i>	Tiliaceae	III - V					Sh - St	7m			x	x				x							I		
103	<i>Grewia tembensis</i>	Tiliaceae	III - V		500-800	250-2,200		Sh	4m	F		x	x											I		
104	<i>Grewia tenax</i>	Tiliaceae	V - VII		200-1,000	0-1,250	D	Sh	4m	F		x	x			x	x							I		
105	<i>Grewia villosa</i>	Tiliaceae	IV - VII		200-800	0-1,500	D	Sh	3m	F	x	x	x			x	x			○				I	ゾーンVIIでは河畔に分布	

No.	学 名	Family	生態				形態		材利用			食用			飼料				環境改善効果	その他 *	生垣, dead fence	KEFRIによる種子提供 *	DINIDA 種子及び育苗につ いての情報 *	ケニア試験地での分布 *10	原産	(原産地, 異名(ペノム等))
			Agro-climatic Zone	温度(°C)	年降水量(mm)	高さ(m)	形態 *1	形態 *2	薪, 炭材 *3	木材, 家具, 建築用材	その他 *4	果実, ナッツ, 種子	葉	根	その他 *	飼料	蜜源	緑陰樹	土壌保全	修景・観賞・街路樹	その他 *					
106	<i>Harrisonia abyssinica</i>	Rutaceae	II - V					Tt	25m	B	x	x			x	x	x		x	x	x			I	I	備考 (原産地, 異名(ペノム等))
107	<i>Hyphaene compressa</i>	Arecaceae	II - VII			0-1,000		Palm	25m	F	x	x			x	x	x							I	I	
108	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	II - V	20	900-1,300	up to 2,200	D	Tt	20m	F	x	x			x	x	x					O		E	E	ブラジル
109	<i>Kigelia pinnata</i>	Bignoniaceae	II - V		500-1,500	0-2,200	SD	St	9m	B	x	x			x	x	x							I	I	<i>K. africana</i> , <i>K. aethiopum</i>
110	<i>Lannea alata</i>	Anacardiaceae	V - VI		400-600	below 1,500	D	Sh	1.5-4m	F		x				x								I	I	
111	<i>Lannea rivae</i> (L. <i>floccosa</i>)	Anacardiaceae	IV - V			300-2,000	D	Sh - St	1.5-6m			x				x								I	I	
112	<i>Lannea schimperi</i>	Anacardiaceae	II - IV				D	St	7m	B	x	x			x	x								I	I	
113	<i>Lannea schweinfurthii</i>	Anacardiaceae	III - V			0-1,800		Sh - Mt	20m	B	x	x			x	x								I	I	
114	<i>Lannea triphylla</i>	Anacardiaceae	IV - VI			340-1,400	D	Sh - St	5m	x		x			x	x								I	I	
115	<i>Lawsonia inermis</i>	Lythraceae	V - VII	19-27	200-4,200			Sh - St	4m	F		x			x	x						O		I	I	
116	<i>Lecaniodiscus fraxinifolius</i>	Sapindaceae	II - VII					St - Mt	5-18m	B		x			x	x								I	I	ゾーンVIIでは河畔に分布
117	<i>Lepisanthes senegalensis</i>	Sapindaceae	II - V			0-1,900	E	St - Tt	6-21m	B	x	x			x									I	I	
118	<i>Leucaena leucocephala</i>	Fabaceae (M)					E	Sh - Mt	5-20m	F					x	x	x							E	E	<i>L. glauca</i> , <i>latisiliqua</i> , 中央アメリカ
119	<i>Lippia kitiuensis</i> (L. <i>ukambensis</i>)	Verbenaceae	III - V			400-2,600		Sh	3.5m															I	I	
120	<i>Maerua decumbens</i>	Capparidaceae	IV - VI					Sh	1-3m			x												I	I	<i>M. subcordata</i> , <i>M. edulis</i>
121	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	II - V	19-35	500-2,500	0-1,200	E	Mt	10-15m	F	x	x			x	x	x							E	E	ゾーンVI, VIIでは河畔に分布, インド, ミャンマー
122	<i>Manihot glaziovii</i>	Euphorbiaceae	I - V		600-700	600-700	D	St	8m						x	x	x							E	E	ブラジル
123	<i>Manilkara mochisia</i>	Sapotaceae	V - VII			0-1,200		Sh - Mt	3-20m	B	x	x			x									I	I	
124	<i>Manilkara sansibarensis</i>	Sapotaceae	II - IV			0-300	E	Mt	25m	F	x	x			x									I	I	
125	<i>Manilkara sulcata</i>	Sapotaceae	II - IV			0-1,000	E	Sh - St	3-6m	F	x	x			x									I	I	
126	<i>Margaritaria discoidea</i>	Euphorbiaceae	II - IV			0-2,000	D	Tt	25m	B	x													I	I	<i>Phyllanthus discoideus</i>
127	<i>Melia azedarach</i>	Meliaceae	II - V	23-27	350-2,000	0-1,800	D	St	5-6m	x	x				x	x						O		E	E	アジア, オーストラリア
128	<i>Melia volkensii</i>	Meliaceae	V - VI		300-800	350-1,680	D	Mt	15m	F	x				x	x	x					O		I	I	
129	<i>Meyna tetraphylla</i>	Rubiaceae	III - VII					Sh	2-4m			x												I	I	ゾーンVIIでは河畔に分布
130	<i>Mimusops kummel</i>	Sapotaceae	III - IV			500-2,250	E	Tt	35m	B	x	x			x									I	I	
131	<i>Mimusops obtusifolia</i> (M. <i>fruticosa</i>)	Sapotaceae	IV - VII			0-400	E	Mt	15m	B	x	x												I	I	ゾーンVIIでは河畔に分布
132	<i>Millettia fragrans</i>	Amnonaceae	II - IV			0-450		Sh - St	8m	F		x			x									I	I	
133	<i>Monodora grandideri</i>	Annonaceae	II - IV			0-400		Sh - St	6m			x												I	I	
134	<i>Moringa oleifera</i>	Asclepiadaceae	III - VI	12.6-40	< 350	0-1,450	D	St	10m			x	x			x	x					O		E	E	インド
135	<i>Moringa stenopetala</i>	Asclepiadaceae	V - VII	24-30	500-1,400	450-1,200		St	9m	F		x	x			x	x					O		I	I	ゾーンVIIでは河畔に分布
136	<i>Morus alba</i>	Moraceae	II - V			up to 2,000				F		x			x	x	x							E	E	中国
137	<i>Newtonia buchananii</i>	Fabaceae (M)	II - VI		—	600-2,200	D	Tt	40m	F	x				x	x						O		I	I	
138	<i>Newtonia hildebrandtii</i>	Fabaceae (M)	IV - VI			100-1,000		Tt	25m	B		x			x									I	I	
139	<i>Ormocarpum kirkii</i>	Fabaceae (P)	IV - VI					Sh - St	2-9m	F					x									I	I	
140	<i>Osyris lanceolata</i>	Santalaceae	II - IV			900-2,550	E	Sh - St	1-6m	F	x	x			x	x								I	I	

No.	学 名	Family	生態			形態		材利用			食用			飼料			環境改善効果			その他 *7	生垣, dead fence	KEFRIによる種子提供 *8	DANIDA 種子及び育苗につ いての情報 *8	ケニア試験地での分布 *10	原産	備考 (原産地, 異名(ペノム)等)
			Agro-climatic Zone	気温(°C)	年降水量(mm)	樹高(m)	形態 *1	形態 *2	葉 面	材木, 家具, 建築用材	その他 *4	果実, ナツヅ, 種子	葉 類	茎 類	緑地緑化	土壌保全	修景・観賞 街路樹	その他 *6								
141	<i>Ozoroa insignis</i> subsp. <i>reticulata</i>	Anacardiaceae	II - IV			0-2,200	SD	Sh - St	14m	B	x	x			x				x					I	<i>Heeria reticulata</i>	
142	<i>Pandanus kirkii</i>	Pandanaceae	I - V					St	4-8m						x	x			x					I	沿岸部	
143	<i>Papea capensis</i>	Sapindaceae	II - V			1,050-2,400	SD	St	6m	B	x	x	x	x	x	x			x					I		
144	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Fabaceae (C)	III - V	to 36	200-1,000	0-1,300		Sh - St	5-8m	B					x	x	x	x	x			O		E	熱帯アメリカ	
145	<i>Parinari curatellifolia</i>	Chrysobalanaceae	III - IV		700-1,500	0-2,100		Sh - St	15m	B	x				x	x				x				I		
146	<i>Pavetta crassipes</i>	Rubiaceae	II - V				D	Sh - St	7m						x	x								I		
147	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	II - V	-4-40	300-2,500	up to 2,200	E	St	10m	x					x	x			x				E	中央アメリカ		
148	<i>Phoenix dactylifera</i>	Arecaceae	VII	-15-50	100-300	up to 1,500		Palm	20-30m		x	x	x	x	x	x			x				E	中東及びその他の河川域		
149	<i>Phoenix reclinata</i>	Arecaceae	II - VII			0-2,600		Palm	15m	F	x				x	x			x				I			
150	<i>Ptilostigma thomningii</i>	Fabaceae (C)	I - IV	20	700-1,400	0-1,850	D	St	3-5m	B	x		x	x	x	x	x	O					I	<i>Bauhinia thomningii</i>		
151	<i>Pistacia aethiopica</i>	Anacardiaceae	III - IV			800-2,400	E	Sh - St	3-15m	F					x	x			x				I			
152	<i>Pithecellobium dulce</i>	Fabaceae (M)	III - VI					Sh - St	4-15m	F				x	x	x	x		x				E	中・南米		
153	<i>Plectranthus barbatus</i>	Labiatae	I - IV					Sh	1-4m							x	x		x				I			
154	<i>Populus ilicifolia</i>	Salicaceae	III - VII				SD	Tt	30m	F					x			x	x				I	全ての気候帯において河川域		
155	<i>Prosopis chilensis</i>	Fabaceae (M)	IV - VII			0-1,500		Sh - St	8-15m	B	x	x		x	x	x			x				E	チリ, アルゼンチン		
156	<i>Prosopis juliflora</i>	Fabaceae (M)	II - VII	14-34	50-1,200	0-1,500		Sh - St	6m	B	x	x	x	x	x	x			x			O		E	中央アメリカ, メキシコ	
157	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	I - V	15-45	1,000-2,000	0-2,000	E	St	8m	F				x	x	x	x		x				E	中・南米		
158	<i>Raphia farinifera</i>	Arecaceae	II - IV			up to 1,400		Palm	25m										x				I			
159	<i>Rhamnus staddo</i>	Rhamnaceae	II - IV			1,400-2,900		Sh - St	5m	F				x					x				I			
160	<i>Rhus natalensis</i>	Anacardiaceae	I - V		—	0-3,000		Sh - St	8m	B	x			x	x				x				I			
161	<i>Rhus tenuinervis</i>	Anacardiaceae	IV - V		500-800	900-1,850		Sh - St	6m	B				x	x				x				I			
162	<i>Salvadora persica</i>	Salvadoraceae	V - VI		—	0-1,500	E	Sh - St	3-7m					x	x	x			x				I			
163	<i>Sapium ellipticum</i>	Euphorbiaceae	II - IV					St - Mt	20m	B	x			x	x				x				I			
164	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	III - V			0-2,400		Mt	15m	B					x	x	x		x				E	ペルー, アンデス地域		
165	<i>Sclerocarya birrea</i> ssp. <i>caffra</i>	Anacardiaceae	III - V		200-1,370	500-1,600	D	St - Mt	10-18m	B	x	x	x	x	x	x			x		O		I			
166	<i>Scutia myrtina</i>	Rhamnaceae	II - IV			0-2,700		Sh	6m					x	x								I			
167	<i>Senna siamea</i> (<i>Cassia siamea</i>)	Fabaceae (C)	III - IV	20-31	400-2,800	0-1,800	E	Mt	20m	B	x			x	x	x	x		x		O		E	東南アジア		
168	<i>Senna singuana</i> (<i>Cassia singuana</i>)	Fabaceae (C)	IV - V	25-30	500-1,000	0-2,400		St	4-5m										x				I			
169	<i>Senna spectabilis</i> (<i>Cassia spectabilis</i>)	Fabaceae (C)	II - IV	15-25	800-1,000	up to 2,000	D	St - Mt	10-20m	B				x	x				x		O		E	熱帯アメリカ		
170	<i>Sesbania sesban</i>	Fabaceae (P)	I - IV	10-45	500-2,000	350-1,900	D	St	8m	F				x	x				x				I			
171	<i>Sideroxylon inerme</i> (<i>S. diospyroides</i>)	Sapotaceae	III - IV					Sh - St	12m	x													I			
172	<i>Solanum mammi</i>	Asteraceae	III - IV			0-2,600		Sh - St	10m	F					x				x				I	<i>Crassocephalum mami</i>		
173	<i>Spirostachys venenifera</i>	Euphorbiaceae	III - VI			0-1,450		St	5-7m		x	x							x				I			
174	<i>Steganotaenia araliacea</i>	Apiaceae			—	up to 2,000																	O			
175	<i>Sterculia africana</i>	Sterculiaceae	V - VI			below 600	D	St	5-12m	x					x				x				I			

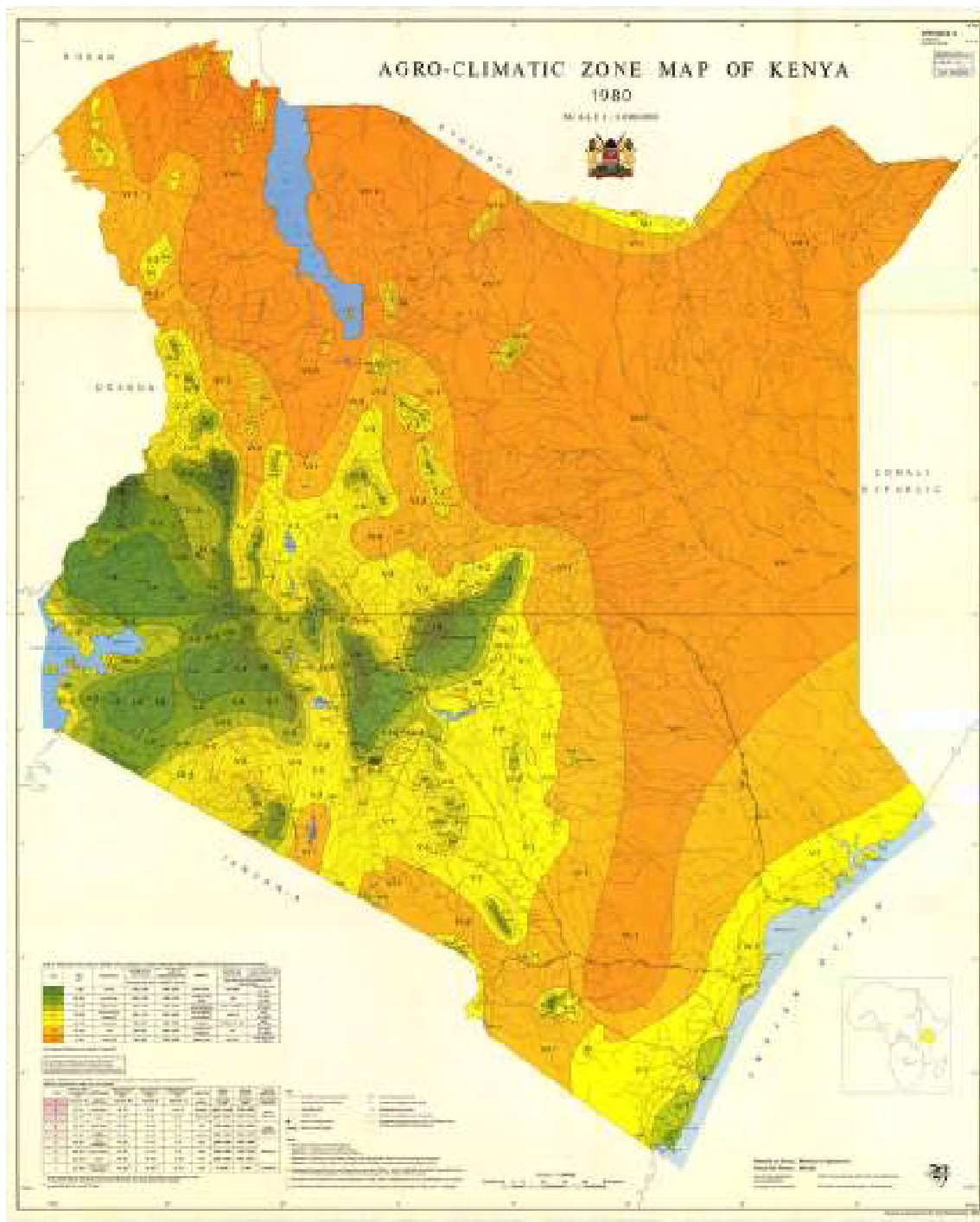
No.	学 名	Family	生態			形態		材利用			食用			飼料			環境改善効果			KEFRIによる種子提供※8)	DANIDA 種子及び育苗につ いての情報※8)	テンバ試験地での分布※10)	原産	備考 (原産地, 異名(ペノム)等)
			Agro-climatic Zone	気温(℃)	年降水量(mm)	標高(m)	形態※1)	形態※2)	薪, 炭材※3)	材木, 家具, 建築用材	ポール	その他※4)	果実, ナツヅ, 種子	葉 類	薬用	その他※5)	樹皮	蜜源	緑陰樹					
176	<i>Sterculia appendiculata</i>	Sterculiaceae	V - VII				D	St	40m		x	x	x		x				x			I		
177	<i>Sterculia foetida</i>	Sterculiaceae	V - VII		—																	I		
178	<i>Strombosia scheffleri</i>	Oleaceae	III - IV		1,200-2,300		E	Tt	30m	B	x		x					x				I		
179	<i>Strychnos henningsii</i>	Longaniaceae	III - V		0-2,300			Sh - St	6m			x										I		
180	<i>Strychnos spinosa</i>	Longaniaceae	III - IV		0-1,800		SD	Sh - St	2-5m	B	x							x				I		
181	<i>Syzgium cordatum</i>	Myrtaceae	II - IV		0-2,500		E	Mt	8-15m	B	x							x				I		
182	<i>Syzgium cumini</i>	Myrtaceae	II - IV		0-1,800			Mt	15-18m	B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	E	インド, 熱帯アジア	
183	<i>Tamarindus indica</i>	Fabaceae (C)	III - V	> 47	350-1,500	0-1,500		Tt	30m	B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	I		
184	<i>Tamarix nilotica</i>	Tamaricaceae	V - VI		0-1,050		E	Sh - St	6m	F		x						x				I		
185	<i>Terminalia brownii</i>	Combretaceae	IV - V		500-1,300	700-2,000	SD	St	7-13m	B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	I			
186	<i>Terminalia mantaly</i>	Combretaceae	III - V		—	0-2,000		St	10m								x					E	マダガスカル	
187	<i>Terminalia orbicularis</i>	Combretaceae	V - VI		100-1,500		D	Sh - St	6m	F	x							x				I		
188	<i>Terminalia prunioides</i>	Combretaceae	V - VI		450-900	0-1,200		Sh - St	3-10m	B	x	x	x	x	x	x	x			○	I			
189	<i>Terminalia spinosa</i>	Combretaceae	IV - V					St	15m	B	x	x	x					x				I		
190	<i>Thespesia danis</i>	Malvaceae	III - VII					Sh - St	1-6m	F		x	x	x	x	x	x	x	x			I	乾燥地域では河畔に分布	
191	<i>Thespesia garckeana</i>	Malvaceae	III - V		600-800	500-1,500	SD	Sh - St	3-10m	F	x	x	x	x	x	x	x	x	x			I	<i>Azanza garckeana</i>	
192	<i>Thevetia peruviana</i>	Apocynaceae	III - V					Sh - St	4m								x	x	x			E	中央・南アメリカ	
193	<i>Thylachium thomasi</i>	Capparidaceae	III - IV			0-1,300	E	Sh - St	5m								x					I		
194	<i>Tipuana tipu</i>	Fabaceae (P)	III - IV			1,200-2,200	SD	Sh - Mt	20m	B	x	x					x	x	x			E	ボリビア, ブラジル	
195	<i>Tithonia diversifolia</i>	Asteraceae	II - IV		550-1,950			Sh	1-3m								x		x	x		E	中央アメリカ	
196	<i>Toona ciliata</i>	Meliaceae	III - IV			0-1,800	SE	St	10m	B	x						x	x	x	x		E	熱帯アジア, 中国, ヒマラヤ	
197	<i>Trema orientalis (T. guineensis)</i>	Ulmaceae	II - IV			up to 2,200		Sh - St	12m	B		x					x	x	x	x		E	アジア	
198	<i>Trichilia emetica</i>	Meliaceae	II - V		0-1,450		E	Mt - Tt	15-30m	F	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		I	乾燥地域では河畔に分布分布	
199	<i>Vangueria apiculata</i>	Rubiaceae	III - IV		900-2,500		D	Sh - St	6m	F								x				I		
200	<i>Vangueria infausta</i>	Rubiaceae			0-2,450		D	Sh - St	8m	F		x	x	x	x	x	x	x	x	x		I	<i>V. rotundata, V. tomentosa</i>	
201	<i>Vangueria madagascariensis</i>	Rubiaceae	II - V		0-2,400		D	Sh	4-6m	F		x	x	x	x	x	x	x	x	x		I		
202	<i>Vitex nombasae</i>	Verbenaceae	II - IV		0-450		D	Sh - St	3-6m	F		x	x	x	x	x	x	x	x	x		I	沿岸部	
203	<i>Vitex payos</i>	Verbenaceae	III - IV		650-850	0-1,600		D	St	8m	F		x	x	x			x			○	I		
204	<i>Ximenia americana</i>	Oleaceae	IV - V		0-2,000			Sh - St	4m	F	x	x	x	x	x			x	x			I		
205	<i>Xylopia parviflora</i>	Annonaceae	III - IV		0-250			Mt	24m	F	x	x										I		
206	<i>Zanthoxylum chalybeum</i>	Rutaceae	V		0-1,500		D	Sh - St	8m	B	x	x	x				x					I	<i>Fagara chalybea</i>	
207	<i>Zanthoxylum usambarense</i>	Rutaceae	III - IV		1,400-2,500			Sh - St	5-8m		x											I	<i>Fagara usambarenensis</i>	
208	<i>Ziziphus abyssinica</i>	Rhamnaceae	III - IV		400-2,000		SE	Sh - St	3-6m	B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		I		
209	<i>Ziziphus mauritaniana</i>	Rhamnaceae	III - VII		0-1,800			Sh - St	10m	B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		E	北米, アジア	
210	<i>Ziziphus mucronata</i>	Rhamnaceae	IV - VI		0-1,950			Sh - St	8m	B		x	x	x	x	x	x	x	x	x		I		

備考 1) この樹種リストは、World Agroforestry Centre が発行している“Useful trees and shrubs for Kenya”の情報を基に、Agro-climatic Zone の IV から VII で生育可能な樹種を抽出して作成した。selected.

備考 2) “Useful tree and shrubs for Kenya”に記載がなかった情報については、同じく World Agroforestry Centre が提供している“Agroforestry Data Base 4.0”の情報により補完した。

- *1) 形態: D = 落葉, E = 常緑, SD = 半落葉, SE = 半常緑 (半落葉と半常緑については、落葉している期間の長さにより分けられている)
- *2) 形態: Sh = 灌木, St = 小型木, Mt = 中型木, Tl = 大型木, Palm = ヤシ類
- *3) 薪・炭材: F = 薪用, C = 炭材用, B = 薪・炭材共に使用可
- *4) その他 (材利用): 支柱, 蜂の巣箱, 道具類, 道具類, 道具類, 道具類, 家具用材, 杖, 弓, 矢, 農具等に利用可能なことを示す
- *5) その他 (食料): 調味料, 香料, 飲料, スープ, 食用油, ジャム, シロップ等に利用可能なこと及び、樹脂や樹脂皮が食用可能なことを示す
- *6) その他 (環境改善効果): マルチング, 炭素固定, 護岸保護, 砂の固定, 防風とうに有用なことを示す
- *7) その他: 繊維, 編み物, ロープ, Thatch, 屋根, マット, バスケツト, 歯ブラシ, ほうき等の材料となること, 樹脂, 樹液等が有用であること, ラテックスやタンニン, 染料, 防虫剤, 忌避剤, 毒素, 薬用成分等が採取可能なこと, 香水, 石鹸, 化粧品等の原料となること, 境界明示木として適すること, 祭事等に使用可能なこと等を示す
- *8) KEFRIによる種子提供の情報は、Kenya Forestry Research Institute (KEFRI) が2005年10月に発行した“Revised Seed Catalogue”の掲載に基づいている
- *9) 種子及び育苗についての情報は、KEFRI が発行している“Tree Seed Information Leaflet”及び DANIDA (Danish International Development Agency) の“Seed Leaflet”で紹介されている樹種である
- *10) ティバ試験地での分布: ケニア国東部州キツイ県のティバ試験地 (KEFRI管轄) の天然林で自生が認められた樹種を示す
- *11) Fabaceae (C) = Fabaceae (Caesalpinioideae); マメ科ジャケツイバラ亜科
- *12) Fabaceae (M) = Fabaceae (Mimosoideae); マメ科ネムノキ亜科
- *13) Fabaceae (P) = Fabaceae (Papilionoideae); マメ科マメ亜科

ケニアの農業・気候区分



ケニアの農業気候帯区分図
 (ケニア農業省(1980年当時の編成), 1980)

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/africa/lists/cke.htm にて公開

表1: 農業・気候区分の各区域における水分の利用可能量

zon e	r/E0 (%)	classification	average annual rainfall (mm) - r	average annual potential evaporation (mm) - E0	vegetation	potential for plant growth	risk of failure of an adapted maize
			excluding areas above 10,000 ft altitude			assuming that soil conditions are not limiting	
I	> 80	humid	1100 – 2700	1200 – 2000	moist forest	very high	extremely low (0 – 1%)
II	65 - 80	sub-humid	1000 – 1600	1300 – 2100	moist and dry forest	high	very low (1 – 5%)
III	50 - 65	semi-humid	800 – 1400	1450 – 2200	dry forest and moist woodland	high to medium	fairly low (5 – 10%)
IV	40 - 50	semi-humid to semi-arid	600 – 1100	1550 – 2200	dry woodland and bushland	medium	low (10 – 25%)
V	25 - 40	semi-arid	450 – 900	1650 – 2300	bushland	medium to low	high (25 – 75%)
VI	15 - 25	arid	300 – 550	1900 – 2400	bushland and scrubland	low	very high (75 – 95%)
VII	< 15	very arid	150 - 350	2100 - 2500	desert scrub	very low	extremely high (95 – 100%)

表2: 農業・気候区分の各区域における温度域

zone	mean annual temperature (°C)	classification	mean max. temperature (°C)	mean min. temperature (°C)	absolute min. temperature (°C)	night frost	altitude (feet)	altitude (meters)	general description
9	less than 10	cold to very cold	less than 16	less than 4	less than -4	very common	more than 10000	more than 3050	Afro-Alpine highlands
8	10 - 12	very cool	16 - 18	4 - 6	-4 to -2	common	9000 - 10000	2750 - 3050	Upper highlands
7	12 - 14	cool	18 - 20	6 - 8	-2 to 0	occasional	8000 - 9000	2450 - 2750	
6	14 - 16	fairly cool	20 - 22	8 - 10	0 - 2	rare	7000 - 8000	2150 - 2450	Lower highlands
5	16 - 18	cool temperature	22 - 24	10 - 12	2 - 4	very rare	6000 - 7000	1850 - 2150	
4	18 - 20	warm temperature	24 - 26	12 - 14	4 - 6	none	5000 - 6000	1500 - 1850	Midlands
3	20 - 22 *	fairly warm	26 - 28	14 - 16	6 - 8	none	4000 - 5000	1200 - 1500	
2	22 - 24 *	warm	28 - 30	16 - 18	8 - 10	none	3000 - 4000	900 - 1200	
1	24 - 30 *	fairly hot to very hot	30 - 36 **	18 - 24 **	10 - 16	none	0 - 3000	0 - 900	Lowlands

* these are averages for the whole country; for areas in and west of the Rift Valley the temperature range is one degree warmer and for areas east of the Rift Valley one degree colder than indicated

** at the Coast 28 – 31 and 20 – 23 resp.



Kenya Forestry Research
Institute (KEFRI)



Japan International Forestry
Promotion and Cooperation
Center (JIFPRO)