

平成 8 年度

# 技術情報提供活動促進業務報告書

— 林業分野プロジェクト国内委員会活動 —

平成 9 年 3 月

JICA LIBRARY



J 1139182 (8)

国際協力事業団

林 開 林

J R

97-007







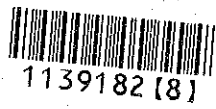
平成 8 年度

**技術情報提供活動促進業務報告書**

— 林業分野プロジェクト国内委員会活動 —

平成 9 年 3 月

**国際協力事業団**



1139182 [8]

## 序 文

本報告書は、平成8年度林業協力分野国内委員会における技術情報提供活動の内容を取り纏めたものです。

技術情報提供活動は、林業協力プロジェクト等からの技術質問を受け、国内委員会が回答を作成して迅速に現場にフィードバックし、プロジェクトの効果的な推進を図ることを目的としています。

本年度、プロジェクトから提出された質問事項は、4項目ありますが、これら質問事項は国内委員会の各委員会の多大な御協力により回答が作成されました。本報告書はこの4項目の質問内容及びそれらに対する回答を合冊したもので、現地からの林業情報及び国内からの支援情報が夫々相当量盛り込まれており、それらが蓄積されていけば、開発途上国における林業技術情報の有効活用になるものと考えています。本報告書が海外林業協力の関係者に、より広く活用されることを願っています。

本報告書を取り纏めるにあたり、委員その他関係者から賜った御支援と御協力を深く感謝申し上げます。

平成9年3月

国際協力事業団  
林業水産開発協力部  
部長 石島 操

## 目 次

### I ケニア社会林業訓練計画

1. 蒸発散量を人為的に減らすことによる延命効果について ..... 1

### II 中国寧夏森林保護研究計画

2. Populus 属の分類・育種・造林特性に関する文献リスト ..... 19

### III タンザニア・キリマンジャロ村落林業計画

1. 苗畑の蒸散に関する風の影響について ..... 23
2. 直播き用種子の発芽処理の必要性について ..... 37



登録番号 1113  
参照番号

O D C 分類	1	環境因子 生物学
	1	立地因子 気象 位置 土壌 水文学
質問内容	蒸発散量を人為的に減らすことによる延命効果について	
プロジェクト	ケニア社会林業	
地域 : 国名	東部アフリカ : ケニア	
キーワード	枝落とし作業 樹木水分生理 (蒸発散) 土壌水分 乾燥害抵抗性 蒸発散量、延命効果	
参考文献		

質問者	三島征一	回答者	浅川澄彦 矢幡 久
-----	------	-----	-----------

# 個別技術情報支援のための質問書

1996年7月15日

プロジェクト名 ケニヤ社会林業訓練計画  
専門家名 三島 征一

質問技術テーマ：蒸発散量を人為的に減らすことによる延命効果について

1. 質問技術テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け
2. プロジェクト側の計画案、解決策案、質問技術テーマの具体的な内容、問題点及びプロジェクト側の期待する回答の範囲
3. その他

1. このような試験は、延命にとって効果的であるか。
2. 実施する価値があるのか。
3. 実施する価値ありとすれば、別紙試験計画についてコメントをいただきたい。
4. 国内、国外での実施例（実施条件、内容、効果）にかかる資料があればいただきたい。

当年度、（1995年10月－）の降雨パターンは、1992年度（1991年10月－）の大干ばつと類似し、より厳しい状況である。10月から現在までの累積雨量は、1992年度 480mm、1996年度 400mmであった。1992年度は、おそらく根系未発達で、その範囲が絶乾状態となり枯死したと思われる。今年度は深層の土中水の利用が可能であり、なにもしなくとも生存する可能性もあるが、一方では成長もよく水分要求量も大きいはずである。深層土壌の含有する水の量にも限りがあると思われ、このため人為的に土壌水分の利用の節約を図るために枝落としを試みることにした。

ただし、日中の気温30度になる地域であり、樹体維持のために一定量の呼吸・蒸発散量の確保も必要と思われ、枝落としの程度、実施時期については未知数のところがあり、このため照会するものである。なお、枝そのものは、燃料、肥料、飼料として農民に価値があるため、効果あれば実用的な技術として農民に受け入れられるものと考えます。

質問のキーワード：  
枝落とし作業、樹木水分整理、土壌水分、乾燥害抵抗性  
蒸発散量、延命効果

希望資料名：

希望指導委員名：

## 枝落とし試験地の設定について

### 1. 目的

枝を落とすことによって、樹木の水要求量が減り、長い乾期に耐えうるようになるかどうかを調査。

### 2. 試験地（フィールド）の設定

#### 1) 場所

1994年11月（1成長期経過）、1995年11月（2成長期経過）植栽箇所からそれぞれ選定。

#### 2) 樹種（10樹種）

	耐乾性	成長	用途	落葉性	その他	試験プロット 植栽年度
Acacia gerrardii	中	中	用材	常緑		77-94
Acacia poliacantha	中	早い	燃料	一部落（5-10月落葉）		95
Acacia holosericea	弱い	中	燃料	常緑		94, 95
Azadirachta indica	中	中	薬用	常緑	蟻に強い	94, 95
Cassia siamea	中	早い	燃料	常緑	人気有り	94, 95
Cassia spectabilis	弱い	早い	薪炭材	全落（8-9月）		77-94
Croton megalocarpus	中	中	燃料	一部落（12-5月落葉）		95
Jacaranda mimosifolia	中	早い	用材	一部落（5-10月落葉）		95
Melia volkensii	強い	早い	用材（優）	全落（8-9月）	人気有り	94, 95
Tarminalia brownii	強い	遅い	杭、薪炭材	一部落（12-5月落葉）	蟻に強い	94, 95

#### 3) 枝落としの仕様

- 枝落としの高さを樹高の1/3までとする。
- 枝落としの高さを樹高の1/2までとする。
- 枝落としの高さを樹高の2/3までとする。
- 対象区（何もしない）
- 幹を切ってしまう。（これについては、枯れてしまう確立が高いと考えられることから、本年度は試験本数は少なくする。）

枝を打った箇所からの蒸散及び虫害の防止のため当該箇所にワックス（あるいはペンキ）を塗る。

#### 4) 試験地の配置（設定）

基本的には、植栽年度毎、各樹種毎、枝落とし仕様上記1) 毎に16本（4列×4本、方形）

を試験木とする。データの測定は中心にある4本だけとする。この場合、約300本程度となる。(全部の本数を行った場合は、合計1000本程度となり、かなりの労力を投入しなければならない。)

5) 測定項目

様態の観察、樹高、除去した葉量(数)の割合(概算)

6) 設定日(予定)

7月16日から設定作業を開始。——→ 1週間おくらせる。

7) 作業実施 実施体制 少数精鋭、担当:ゲレザ

道具 ナイフ、鋸

3. 室内実験の実施

上記樹種の中から、苗が有る程度育った時にグリーンハウスで実施することを検討。

## プロジェクトからの補足説明

1. 枝落とし高さについては、設計書どおり樹高基準で実施します。ただし、測定項目に最下部の枝までの高さ、一番下の葉の着生位置の測定項目（着手前）を加えます。

厳密には、葉面積着生割合で実施するほうがよいのですが、作業のほうがついていかないでしょうから。

樹冠型から葉面積割合が算出できるように、樹種別に抽出して一部の葉面積（コピーして測れるようにする）と一部の葉の重さを計測します。

2. 造林している各樹木について市販の本では、落葉すると書いてあるものでも、現在のキツイではすべては、または、それほど落葉していないといわれています。温度、日照は十分の場所ですから、土壌水分の吸収が可能な間は、落葉する理由はないわけです。

特に、当プロジェクトのいわゆる集約施業による造林箇所については、一定の水分がまだ土中に残っているということなのでしょう。

3. 現時点で葉の蒸散能力がどの程度あるのかについては、計画前に気になっていたことではありません。葉が古くなると気孔が詰まることはあることですから。ただし、ここでは 0.5 - 1.5 年生の若い葉ですから、それはなさそうと決め込んで考えていました。

小生も、現在までに2度ばかりキツイに行っておりますが、この試験目的のためにくわしく木を見ることなく実施設計をキツイグループにお願いしております。今週末にTIC会合のために訪れることにしておりますので、再度、キチンと見て来ます。

4. 本当は、乾期に入る直前（4月）と7月くらいはやっておきたいところですが、ことは緊急避難です。来年はもうすこしきちんとやってみたいと思います。

八幡先生指導の間伐、枝うちもやっているとのことですがまだ見ておりません。

補完データとして使えるかもしれません。

5. この試験は今年については、最悪の事態として集約施業造林も全滅の場合を想定し、緊急避難として最悪でも無灌水のいろいろな方法、(1)耕運の深さ、(2)植栽間隔を広くとっていたもの、(3)マルチングしていたもの、または(4)枝落ししていたもののどれかは少しは残ったという結果が出れば、一般的な方法ではかなりの被害または全滅でも、技術としては次のステップに進められますので、オプションは多くしておきたいために実施するものです。

また、数年タームでは、枝落した枝葉は利用（枝：薪、葉：飼料、肥料）できますので、生存率も向上し利用もできるのであれば、当初から指導内容に組み込んでおけるわけで、技術の普及には好都合と考えており、その予備的な仕立て方調査（杭、ポールタイプ）も兼ねております。

6. 水差し法により、蒸散能力を確かめることは、やってみたいと考えます。

プレッシャーチャンバーについては、取り扱える人がいるかどうかによります。また、計測できない状態（壊れた？）ともいってましたので、チェックしてみます。

7. 日中30度を越え、... の部分は、八幡先生のご説明くださっている観点ではなく、例えば、葉を全て人為的に落した場合には、樹木としては断食状態（水分の供給がへることとともに、葉が光合成している養分は樹幹、枝、根に配分され、樹体の成長・維持に使われているわけですが）になるわけですが、温度が高く生命活動としては活発に行わざるを得ない状態で（だからこそ現在も必要に応じて葉をつけているわけで）人為的に葉を落して樹体維持がどの程度可能なのかという疑問です。

別の言い方をすれば、水については、葉がなくても最低限必要量は吸うことができるとしても、澱粉質などの栄養素は、枝落しをした時点から次の雨期・展葉期までは根、樹体、枝に蓄えられているものを喰い繋ぐことになるが、通常は、落葉する樹種は自然に葉を落し、乾燥に順次なれて休眠状態になっていくものですが、今回の場合は、人為的に葉を落すわけで、それでも大丈夫なのだろうか（水のことだけ考えれば十分なのか）という素朴な疑問です。

（熊でも冬眠するときには体温を下げる、または、下がるから冬眠する。それによって必要栄養分は最小限で春まで保たせることができるというものです。）

8. 成長量の測定

幹の太さもというのは同感ですが、作業量の関係もあり、実施するように努めてみますくらいしかいまのところは言えません。

9. 幹をきってしまう。... は、通常の断幹のことで、根系が生きており、翌雨期に萌芽するものであれば、雨量が少ない時にはバッサリ伐採して萌芽を待てという指導の方法は簡単でわかりよいとも考えました。伐採したものは何かには使えるわけですから農民としてはそれでもかまわないではないかと。

翌雨期には根が残っていれば成長の回復は早いのではないかとおもいますが、7で述べた理

由で少々不安もあります。いまごろ断幹すれば、木は枯れてしまうのではないかとスタッフは言っております。

断幹の高さは、萌芽のしやすさ、作業のしやすさで決めることとなります。取り敢えず小本数について荒っぽく、上から1/2、2/3、または下から30、50、70CMとか決めてやってみることとなります。ユーカリ、アカシアマンギウム等の萌芽試験でも、30、50、70CMとか伐採高さによる回復の早さの違いを見る試験例が他にもあります。飼料、肥料木として毎年毎年萌芽枝を利用することを考えればその樹種については桑畑のような仕立て方を考えればよいわけです。

葉をむしる方法は、考えては見ましたが手間がかかって、...

小本数については、ためしにやってみます。

10. 実施本数は、予定どおりに近い線で実施します。樹種別には検討の余地はあるかもしれませんが、最悪の場合でも植林後の処理の仕方によっては生き残るものがあるとなれば、生き残りの本数の確保も必要だからです。少々荒っぽい百姓試験とおもわれるかもしれませんが、ことしはやむを得ないと思っています。

私どもとしては、第2フェーズは、第1フェーズとは別のより乾燥地に近い場所に場所を移し変えて実施しているものと考えており、技術的には、生存が確保できればこれからが本番と思っております。利用までが出来て1サイクルというものですから。

プロジェクトが継続するかどうかは、政策マターであり、実行部隊には決定権はありませんが、技術的見地からは継続が必要であると考えております。

今後とも、当プロジェクトに対しご支援・ご指導を賜りますようお願い致します。

P S : 以上のような公式論議は別においても、運営面ではタイに比べてとにかく手間がかかって仕方がないとのグチも出ますが（特に、日々運営実務をやっている現場の諸君は、タイに比べて3倍以上の手間をかけなければタイと同じ量の仕事ができないという感じで見えており、気苦勞も多く少々気の毒です。）、しかし、技術屋としては、興味津々、実におもしろい仕事ができるところだと感じております。

## ケニヤ社会林業訓練プロジェクト技術支援について

平成8年7月19日

九州大学熱帯農学研究センター

矢 幡 久

### 1. ケニヤ社会林業訓練プロジェクトからの問い合わせの概要

95年10月以降の降水量が少ないために、94年、95年植栽木が乾燥枯死する可能性があるために、蒸散量を人為的に減らすことによる延命効果について試験を予定している。

Q 1 このような試験は、延命にとって効果的か？

Q 2 実施する価値があるか？

Q 3 実施する価値ありとすれば、別紙試験計画について、コメントいただければ幸い。

Q 4 国内、国外での実施例（実施条件、内容、効果）にかかる資料があればいただきたい。

質問の背景として、当年96年度（95年10月以降）の降雨パターンは、92年度（91年10月以降）の大干ばつと類似し、92年度の累積降雨量は 480mmであるのに、当年度は、400mmと少ない。このために、人為的に土壤水分の利用の節約を計るために、枝落としを試みる。

### 2. 回答

A 1

これまで2回にわたるケニヤの試験から、すなわち、キツイ・パイロットフォレストにおける植林後の生育状況および土壤状態の結果から、植栽地の水収支が植林の成否を決定していると考えられ、極めて重要であることを改めて認識しました。

このような視点からみれば、間伐や枝打ちなどの樹木が失う水分量を抑制する処理によって、植栽木の成長にとっても有効であると考えて、間伐および枝打ち試験を実施することを西林寺前リーダーには提案した次第ですが、これらの処理が乾燥期の樹木の延命処理として、有効性であるということは間違いないと推測します。

これまでの試験地の成果のいくつかの事例を簡単に述べれば、土壤中への雨水獲得量の増大、上面からの蒸発散量の抑制ということが重要であり、このためにマイクロキャッチメント処理や潔癖除草が高い効果をもつことがすでに明らかにされていますが、潔癖除草は単に雑草からの蒸散を抑制するばかりでなく、表面土壤の攪拌によって緩く塊になった土壤自身がクラストを作り、これが土面からの蒸発を抑制して、土壤中の水分の消費を少なくしていること、さらに、土面に小礫や砂を置く処理（マルチ）が攪拌だけよりさらに蒸散を抑制し、このことで樹木の成長はかなり促進される事実からも、土壤表面からの水分消費量を少なくし、この土壤水を植栽木を通して消費できるようにすることがいかに重要であるかが確認されています。また、単位土地面積当たりの植栽本数が少なければ、それだけ植栽木が消費する水分が減少し、この



ために土壌が高い含水率を維持できることとなります。樹木の水ストレスを調べるために、プレッシャーチャンバー法によって葉の水ポテンシャルの日変化を調べ、植栽密度試験地で比較した結果をみると、密度が低い場合に明瞭に水ストレスが緩和されていることが明らかにされています。この事実からも、個体のそれぞれの葉が確保できる水分量が増大することによって、葉は水ストレスが低下し、それだけ光合成活性も高まると推測されます。しかし、水ストレスが緩和されたことによって、葉の気孔開度は大きくなり（すなわち、葉の気孔コンダクタンスの増大）、当然ながら、葉の単位面積当たりの蒸散量は多くなります。1本の樹木の葉量が同じと仮定し、植栽密度が半分になれば、単位土地面積当たりの蒸散量は単純に考えれば、半分になると考えられますが、葉の単位面積当たりの蒸散量の増大をもたらすために、実際には蒸散量は半分より多くなるのは普通に起こり得ることです。

以上は間伐の問題を議論しましたが、枝打ちについても同じ原理が当てはまります。すなわち、枝打ちをして仮に葉量が半減したならば、蒸散量は減少しますが、残った葉の水分獲得量が多くなり単位面積当たりの蒸散量は増大するので、1本の樹木が失う水分量は半分よりはすこし多くなります。残った葉にとっては、当然水の獲得は有利となり、乾燥害を受け難くします。このことは、葉がある時季であれば、プレッシャーチャンバーを利用して、葉の水ポテンシャルを計測することによって、その効果をモニターできることとなります。

ところで、現時点に質問を受けたとなると、次の点が重要なポイントです。現在（7月19日）は、恐らく樹木の多くは乾燥のために落葉期に入ったのではないかと思います。葉がなければ、主要な蒸散器官を失い、蒸散量は激減しているはずですが、このような樹木について、枝打ちによって枝を減らしても蒸散量の減少にはつながらないと考えられます。すなわち、葉のない時季での枝打ちは、植栽期の延命効果にはほとんどつながらない、期待できないと考えられます。

枝がまだ若い場合には、緑枝においては僅かながら蒸散はあるかもしれませんが、褐変した枝などでは、ほとんど蒸散はないと思います。その程度を明確にするには、葉の残った苗と葉のない枝幹だけの苗とについて、重量法によって蒸散量を比較してみれば、すぐにその違いが理解できます。やや不正確になるものの切り枝を用いて、水挿しして重量の変化を二つの処理で比較してもよいでしょう。

A 2

枝打ち試験を実施する価値は、充分にあります。しかし、その効果は、葉から大量の蒸散が行われている着葉期に限定されます。すなわち、ケニヤでは10月から翌年6月-7月頃までではないでしょうか。

なお、もし、現在でも葉がかなり残っているのであれば、枝打ちは葉の減少量に伴って蒸散量は減少しますので、土壌水分の消費量を軽減し、それだけ乾期に耐えられることを意味します。

ところで、質問の背景において、「ただし、日中の気温30度になる地域であり、樹体維持のために一定量の呼吸・蒸発散量の確保も必要と思われ、枝おとしの程度、実施時期については、未知数のところがある。」とありますが、この考えは、少し明確に理解していただいたほうがよいと思い、さらに説明を加えます。

蒸散のおかげで、水の蒸発時に気化熱が奪われて樹を冷やす作用があるということが一般論としてあり、枝打ちはこの蒸散量を低下させるので悪い影響があるのではないかと想像していると推察します。この議論は、単位土地面積の問題で考えるのか、単位葉面積当たりで考えるかによって、結論が多少異なりますが、まず、単位葉面積当たりで議論してみれば、そのような心配は不要です。

すなわち、葉の温度と蒸散速度は、葉が吸収する太陽や空からの短波放射量（波長 300～3,000nm）と大気・雲または周りの物体などとの長波放射（波長  $3\ \mu\text{m}$  (=3,000nm)～100  $\mu\text{m}$ )の吸収放出の収支量で決まる葉が吸収する純放射量、風速、葉の形状（大きさ）、気孔コンダクタンス、気温、湿度の気象環境要因によって決定されます。気孔コンダクタンス（気孔の開き具体によって変化する特性値で開けば大きい値をとる）は、光量、湿度、葉の水分、二酸化炭素などの各種要因が影響します。特に、葉が水ストレスを受けると気孔コンダクタンスは低下し、このために蒸散速度が減少します。純放射量が大きくなる日中は、蒸散速度が低いと純放射の増大によって葉の熱（放射、エネルギー）収支を通して葉の温度が上昇し、ひどければ障害が発生します。したがって、葉面積単位でみれば、気孔コンダクタンスを大きくできることが望まれます。枝打ちによって水ストレスが小さくなり、気孔コンダクタンスを日中でも大きく維持できれば、葉の蒸散速度は大きくなりますので、葉の昇温は枝打ちしない場合よりむしろ抑制できるのです。

このような現象は、葉の熱収支の理論として確立されており、コンピュータシミュレーションモデルで要因の値（例えば、気温、風速など）を変化させて、葉の温度や蒸散速度を推定することができます。Gates & Papian (1971) は一冊の本「Atlas of Energy Budgets of plant leaves, pp. 277 Academic Press」に計算結果を羅列していますが、パソコンによって簡単に図化することが可能です（Quick Basic 言語のプログラムは自作していますので必要ならお知らせください）。

土地面積当たりの問題になれば、枝打ちによって蒸散が減少した分だけ、潜熱輸送量が減少しますので、その分だけ顕熱輸送量が増大します。このために、気温の上昇をもたらします。しかし、その気温上昇が（あっても数度程度とすれば）植栽木の生活に大きな影響を与えとは考えられず、気にする必要は全くないということです。

### A 3 試験計画についてのコメント

1. これまでの説明のとおり、この試験の効果は、葉の着葉量の大きさ、換言すれば、個体の蒸散速度が大きい場合に、処理間に大きな差がでると確信します。逆に、落葉しているか、

残存する葉が少ないものはあまり効果を期待できないと考えられます。

## 2. 測定項目

「枝高、除去した葉量（数）の割合（換算）」とありますが、これは測定開始時の状況把握になると思います。また、「様態の観察」とありますが、観察項目を決めてそれにしたがって記述することを希望します。なお、写真もとれるならば処理前後の状況を撮影しておくことで参考になります。

計画として必要なことは、処理後の効果の判定をどのように行うかであります。

### ○定期的な被害状況の観測

毎月、あるいは2ヶ月に一度の割合で乾燥によって障害がでた葉の割合を黙視で数量化しておくことが必要。

### ○葉の水ポテンシャルの測定

時間がとれるのであれば、いくつかの樹種に限定してでも、プレッシャーチャンバー法によって葉の水ポテンシャルを計測して処理間の比較を行う。一時期でもよいので確認することが望ましい。

### ○成長量の定期測定

樹高だけでなく、幹の太さも測定し、その後の成長（とくに10月以降の雨期に入ってからでも）を測定して、効果を判定する。幹の太さは、高さ20cmにペンキで測定場所を正確に印をいれ、同じ所を常にはかれるようにする。幹の周囲長でも可。

## 3. 枝打ちの仕様

枝打ちの仕様については、ほぼ提案の仕様でもよいと思います。

ただし、例えば *Casia siamea* のように、根元から3~4本の株立ちをした個体が多数ありました。このような個体で、幹の生産を目的にするのであれば、主幹を1本残して、枝打ちというより、根元から残りの幹を切除するほうが、望ましいように考えます。このように、1本当たりの葉の量を減少させれば、土壌の水分の保持には有効になるのですから、この場合は、当初の葉量に対して切除によってどの程度葉が減少したかを問題にすればよいと思います。枝打ち試験というより、除伐試験として別途に実施してよいと思います。

ただし、間違いなく燃料用しか用途がないのであれば、このような処理の必要はないので、無視してかまいません。

「幹を切ってしまう。」という処理の意味が不明ですが、根元から切除しないで、枝を落として葉を1枚もつけないということでしょうか。落葉する樹種の場合は、萌芽再生をするので必ずしも枯死することにはならないと思います。

## 4. 樹種の落葉性

*Tarminalia brownii* など2種で（12~5月落葉）とあるのは、時期が12月から5月に落葉すると読めますが、納得できません。雨期ですから着葉期だと思いますが如何でしょうか。

#### 5. 試験地の設定の大きさ

試験地が大きくなり過ぎて、測定が困難になるようであれば、樹種数を半分にしたりすることで、測定が確実になり、信頼性の高いデータをとるように心がけたほうが賢明だと思います。すなわち、2年間に分けて実施することなどもよいのではないかと思います。来年11月まででプロジェクトが終了するわけですが、信頼度のほうに重点をおいた試験にしてください。

## ケニヤ社会林業訓練プロジェクト技術支援について（続）

### 三島氏からの補足説明に対する回答

平成8年8月10日

九州大学熱帯農学研究センター

矢 幡 久

7月30日付けにてプロジェクトからの補足説明（7月23日付け）をいただきました。これを受けて、前回の回答に付け加えておくべきことがありましたので、以下申し述べます。

#### 1. 蒸散量の測定

各種の造林地、すなわち、樹種、植栽密度、樹木個体の大きさ、葉量などが異なる場合において、降水量、樹木からの蒸散量、裸地からの蒸散量、土壤水分保持量などを定量的に把握し、その動態を明らかにすることによって、どのような条件を満たすことが植栽木の生産を有利にするか、降水量が減少した年はどの程度蒸散量を減少させる必要があるかなど定量的な予測ができるシステムを構築できることが望ましいと考えています。しかしながら、プロジェクトが保有する実験設備、スタッフの専門分野、実験場の危機管理などの要因のために、最初から完璧を期すことは困難で、試行錯誤でやるしかないと考えてきました。

前回のケニヤ訪問では、試験地ならびに気象観測装置、土壤水分計の設置を実施し、小型の自動記録装置、すなわちマイクロロガーCR10によって自動記録できるように、設定してきましたが、コンピュータの取扱いなどに誤解があって、データが採取できていないことを先日一時帰国した岩田氏の報告で知りました。したがって、水分動態を上記の観点で明らかにすることは、その専門家が常駐して実施しない限り、かなり困難が伴うと判断しています。

しかし、水分動態の各要素の定量は、いずれのときに必要と考えるので、樹木からの蒸散量の測定方法について、説明しておきたいと思います。

##### 1) 茎熱収支法

直径1cmから数cm程度の幹や枝の中を通過する水分量を測定できる方法で、1cm用を3本だけ、プロジェクトで現有しています。苗木の幹や一部の枝で測定するときに、利用でき、カリブレーションを取らなくても絶対量が計測できる利点があります。

##### 2) ヒートパルス法

直径が5cm以上の樹木の幹や枝に、直径2mmの針状の3本のセンサーを1組としてこれを挿入して、挿入した深さにおける蒸散流速を計測することができます。深さによって蒸散流速が異なることがあるために、正確に蒸散量の絶対値を求めるには、測定の終了時に幹を根元から切断し、1日程度根元を水に浸漬しながら、吸収する水分量と蒸散流速との関係を調べておくことが必要になります。センサー1組が現在4万円で入手でき、プロジェクトが有

するCR10を用いれば、わずかの電子回路の設置（1万円程度）で計測可能となります。

### 3) 葉の単位面積当たり蒸散量

これには、ポロメータや携帯型光合成蒸散測定装置が利用されますが、樹木全体の蒸散量に換算するには、樹冠の葉面積の測定も必要です。簡便法としては、重量変化を調べることも可能です。プロジェクトには現有していないと思います。

しかし、この蒸散速度は、気象や土壌水分、葉の水ポテンシャルなどの生理条件によって変化するので、やはり同時に全てを計測する必要があり、しかも、長期に計測することが望まれます。空気力学的方法による蒸発散の計測が現場で実施できるとよいと思っていますが、関係の専門家が長期に滞在しなければ無理でしょうか。

## 2. プレッシャーチャンバーの使用

本装置は、プロジェクトには本部とキツイと合わせて2台があります。Omenda氏は、彼の修士論文ではP-V曲線法（後述）を用いた実験を実施していますので、測定技術をもっています。キツイのルガディル氏（Lugadiru）も、さらに作業員長をしていたGereza氏にも測定方法を教示して実際に一緒に使用しましたので、本体が故障していない限り、使用方法を取得していると思います。

水ポテンシャルを計測することによって、葉の乾燥ストレスの程度が把握できるので、積極的な活用を考えていただければ幸いです。

## 3. 枝打ち、葉の除去について

補足説明をいただいたように、乾燥に遭遇した樹木（植物）は、「喉が乾くので気孔を閉じて蒸散を抑えると、食べ物（CO<sub>2</sub>）が入らなくなり、空腹（飢餓状態）になる。」といわれ、そのジレンマに対処しなければなりません。

このために、葉は水ポテンシャルが大きく低下しても、圧ポテンシャルを維持できるように、浸透ポテンシャルを下げられるような浸透調節を行って対処する仕組みをもっています。この調節の優れた樹種は耐乾性があると考えられており、通常、プレッシャーチャンバーを用いて、P-V曲線を作成することによって、その程度を樹種毎に調べることができます。圧ポテンシャルが維持できれば、気孔を閉じなくてもすみ、葉は水ポテンシャルを低下することによって、強い吸収力を維持して乾いた土壌からでも水分を収奪します。しかし、乾燥が長引けば、土壌水分を大幅に失うことになり、樹木自身が枯死という危険な状態を作り出す可能性も合わせもっています。

一方で、土壌の乾燥に伴い、気孔を閉じて葉からの水分消失を早くから抑制させ、土壌水分を長く持たせることも、乾燥被害からの回避に役立つ戦略です。落葉による乾燥被害の回避も乾燥抵抗性の特性の一つとなります。葉が乾燥することによって、葉柄と枝との間に離層が形成され、急速に落葉すれば、葉から失う水分を大幅に減少できます。

葉へ移動する水の量は、葉の水ポテンシャルの低下によって、根の水ポテンシャルとの落差

が生じ、その水ポテンシャル落差から葉から根までの高低差による位置ポテンシャル差を差し引いた圧力差に比例し、葉と根との間に介在している木部通道組織の水の流れに掛かる障害程度、すなわち、通水抵抗に反比例する関係で決定されています。葉と根の圧力差は、数MPa（メガパスカル=数10気圧）にもなり、この場合の圧力差は互いに引っ張り合う関係ですから、水には強い張力がかかっています。ちょうど葉と根との間での水系の綱引きの状態にあります。水が切れないのは、水分子のもつ凝集力が極めて大きいからです。

葉の離層形成が遅れると乾燥ストレスは樹冠全体に大きくかかり、葉の水ポテンシャルの低下が大きくなります。この結果、低下の大きな枝では、大きな張力がかかり木部中の水から空気の泡が発生しますが、これをキャビテーション（脱気）と称します。一度、キャビテーションが発生すると、それまで、水の凝集力によって根から葉まで一本の水系としてつながっていたものが、鋏で切断されたように切れてしまいます。このために葉が水の糸を引いても、切れた水だけしか葉へ来ず、あとの水は供給ができなくなります。葉は乾燥がすすみ、水ポテンシャルはさらに低下し、この結果、同じ枝の木部では次々とキャビテーションが起り、一つの枝全体の通水機能が低下し（すなわち、通水抵抗が増大し）、葉への水分供給量が低下して、枝にある葉が全て枯れ枝もやがて枯死してしまいます。このような原理で枝枯れ現象がおけると推察されています。

このような一部の枝の枯れ下がりや、樹体からの蒸散量を減少させるので、残りの枝はその分だけ前より有利に水分の配分を受けられるので、樹木全体が枯れることを避けることになり、結果的に樹木自身にとっても好都合な機構は働いたとみることができます。

しかし、幹の主軸が枯れ下がるのは、樹高成長を期待して長材生産を図る場合には、不都合です。

そのような観点から、乾燥被害が出る前に、側枝の枝を切り落として、人工的に水分の配分調整を行い、主軸に水分が多く供給できるようにすることがよいのではないかと考えているわけです。

ところで、浅川先生からご指摘（後述参照）のあったように、枝を切る場合のマイナス面が考えられます。すなわち、土壌水分が充分なために、樹木の水ポテンシャルが大きく低下するに至っていない場合です。通常、主軸の芽から転流して下ってくるホルモン（オーキシン）によって、潜伏芽の発生が抑制されていると考えられていますが、上方の芽が失われオーキシンの減少が、潜伏芽の展開を促し、新しく葉を展開させることになると考えられます。

新葉が展開してくれば、せつかくの蒸散抑制の効果が持続しないだけでなく、摘葉による断食状態に晒されていただけに新葉の展開で樹体のエネルギーを消費することになります。

したがって、摘葉や枝打ちは、頂端の芽をできるだけ切除しないで、側枝のみに行うのがよいのではないかと考えます。また、土壌水分の多い段階での大量の枝落としは避けたほうがよいと考えられます。

以上の議論は、あくまでも仮説の域をでません。このようなことが、どの程度、有意な差をもたらすのか、処理間の違いが比較できる実験によって検証されることが望まれます。ある程度予測できることでも、一步一步確認して進めることが科学的な根拠を得ることにつながると思います。

#### 4. 樹体の温度

前回、葉が少なくなっても熱収支理論から考えて、残りの葉にとっては温度上昇を低減でき、土地面積当たりでもおそらく影響は少ないと回答しました。しかし、葉が全くなかった場合に幹や枝などの樹体の温度の上昇について、言及しませんでした。

茎熱収支理論においてすでに確立していることですが、幹を一定に加温しているときに幹の中の水分の上昇速度が低下すれば、幹の温度が上昇することが知られています。したがって、強い太陽光に晒された樹木が、葉を失い水の上昇を停止させた場合に、幹の表面や形成層付近の内部の温度が上昇することはさげられません。その温度が45℃以上と異常に高くなれば、少なからぬ影響があると懸念されます。実際に温度上昇がどの程度になるかは、一応の予測は可能であるとしても、その時の幹が受ける日射強度や風速などに影響されるので、幹の表面や内部の温度を測定するのがもっとも早いと考えられます。

その計測も、すでに現有のマイクロログCR10を使用し、あとは熱電対センサーを準備して樹体に装着して測定すれば、簡単に計測できます。

遅くなりますが、ケニヤに派遣された時点で計測を実施したいと考えています。



## ケニヤ社会林業計画プロジェクトの問い合わせに対する意見

Q 1. 蒸散量を減らすという点で効果が期待できるかも知れません。

ただし、枝を切ると切断箇所に近い部分の潜伏芽が成長することがあり、余分なエネルギーを消費させることも考えられ、マイナスの影響もあります。

Q 2. 実施する価値は十分にあると思います。

Q 3. 試験計画について

94.11 植栽のもの（2成長期経過）と、95.11 植栽のもの（1成長期経過）とを材料にされるようであり、それらの樹高にもよりますが、枝落としの高さを3段階とする意味があるかどうか疑問です。

例えば、樹冠の下部半分の枝を落とすものと無処理を比較してみれば効果があるかどうかは判定できそうに思います。なお、蒸散を抑えるのが狙いでしょうから、葉量が関係するわけで、樹高よりも樹冠高または葉量を基準にするほうがよいと思います。

また、枝を切る代わりに、葉を切除することによって蒸散を抑制するものも加えてみたらどうでしょうか？ 同じ葉量を除き、Q 1で述べたようなマイナスの影響を与えないためです。実用性を考えると、小型の葉の樹種には適用しにくいかも知れませんが、複葉の樹種なら使えそうに思います。

栄花部長が言われるように切り落とし時期をずらすことも興味ある検討課題だと思います。

幹の切り方が説明されていませんが、どの位置から切る計画ですか？

ここでも、樹冠の上部 1/3か 1/2を切除するという方法のほうが検討の価値があるのではないのでしょうか？

Q 4. 実施例について

蒸散を抑えるという意味で植栽時に枝葉を減らすことは、われわれの身近かでかなり実際に行われていますが、乾燥地で、造林木の枯損防止のために枝を払うという方法が実際に行われているものかどうか、調べてみたいと思います。

付記

ご質問とは直接の関係はありませんが、材料とされる樹種の記載に関連して、2、3コメントします。

- ① 最近では学名の種小名は小文字を用いるのが普通です。
- ② *Acacia holosericea*の耐乾性が「弱い」となっていますが、本種はオーストラリア産のアカシア類では最も耐乾性が強いグループにいれられており、実際に、西アフリカの乾燥地では最も重要な植栽樹種の一つです。
- ③ *Cassia spectabilis*も貴プロジェクトでは、少なくとも初期には強いとされていたように記憶しており、「弱い」とされるのは如何でしょうか。

(1996. 7. 22) (浅川澄彦)

## ケニア社会林業計画プロジェクトの問い合わせに対する意見（続）

### Q 4. 実施例などについて

乾燥地における植林についてはかなり多くの文献があり、さしあたって読めるものはほんの一部ですから、それだけで事例の有無を断定することはできませんが、例えば

Reforestation in Arid Lands (Weber 1986)

Arid Zone Forestry (FAO 1989)

などは、少々古いものながら、網羅的に解説されたものといえそうで、これらを通覧したところでは、貴プロジェクトで試みようとしている方法は、これまでのところ検討されていないものと判断されます。

かりに事例があるとすれば、「植栽地における保育」の項の気象害に対する対策として掛かれていてもよい方法ですが、そのような被害にたいしては、「抵抗性の樹種を選択すること以外に殆ど対策はない」としています。

この機会に読み直してみた数編の文献を通していえることは、ともかく耐乾性の高い樹種・系統を発掘して、それらを強く育て、適切に植え込むことが基本的な考え方になっているようです。

なお上記 Weber (1986) には、植え付けに当たって蒸散を抑えるために葉をむしる方法が記されており、インドセンダンや（アフリカ）ドライマホガニーが例として挙げられていますが、植栽木の延命をはかるために枝を落としたり、葉をむしるという方法は書かれていません。

### Q 1. & Q 2 に対する補足意見

枝落しによって葉量を減らし、蒸散を抑えるという考え方は論理的だと思いますが、乾燥がひどくなれば樹木自身が蒸散を抑えているはずですし、さらに極度に乾燥した場合には、適応現象として葉を落とすこともありますから、枝落としが実際にどの程度効果があるものか、具体的に水の動きを調べてみる必要があります。また、根圏に吸い上げうる水がなくなるほどの乾燥状態になった場合にも、枝を落とす効用は少なくなるものと思いますので、根圏の水分条件もぜひ測定しておかれる必要があります。

(1996. 7. 24) (浅川澄彦)

登録番号 4509  
 参照番号

O D C 分類	4	森林の被害と保護
	5	動物の害
質問内容	Populus 属の分類・育種・造林特性に関する文献リスト（附；英文）	
プロジェクト	寧夏森林保護研究計画	
地域 : 国名	東アジア	: 中国
キーワード	Populus属 カミキリ虫被害防除、育種、造林特性	
参考文献		

質問者	古本 忠	回答者	田畑勝洋
-----	------	-----	------

# 個別技術情報支援のための質問書

1996年12月11日

プロジェクト名 中国寧夏森林保護研究計画  
専門家名 古本 忠

質問技術テーマ：Populus 属の分類・育種・造林特性に関する文献リスト（附：英文）

1. 質問技術テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け
  2. プロジェクト側の計画案、解決策案、質問技術テーマの具体的な内容、問題点及びプロジェクト側の期待する回答の範囲
  3. その他
1. 本プロジェクトはポプラのカミキリ虫被害防除についての研究を主要課題としており、上記テーマに関する情報収集のため。

質問のキーワード：

Populus 属、カミキリ虫被害防除、育種、造林特性

希望資料名：

希望指導委員名：

## 中国寧夏森林保護研究計画の技術支援

質問技術テーマ：Populus 属の分類・育種・造林特性に関する文献

我が国のPopulus属に関する文献は少なく、むしろ海外で多く、約 9,000件近く存在する。ここでは我が国の育種関連文献に焦点を絞り、リストアップした。

- 秋本 正信：ポプラ属ドシキザ胴枯病の発生について 日本林学会北海道支講 39, 83~85, 1991
- 千葉 茂：ポプラ属の育種に関する研究（第2報） 北海道林木育種 4(2), 9~11, 1961
- 千葉 茂・永田 義明：北方系ポプラ・ドロノキの育種 北海道林木育種 28(1), 28~32, 1985
- 千葉 茂・永田 義明：ドロノキの土壤耐乾性クローン選抜 北海道林木育種 29(2), 1~5, 1986
- 千葉 茂・永田 義明：ドロノキの交配種から育成されたクローンの錆病耐性と成長について 北海道林木育種 15(2), 11~14, 1973
- 千葉 茂・永田 義明：その交雑種の発根と開葉の遺伝力・遺伝相関 北海道林木育種 16(2), 11~14, 1973
- 千葉 茂・永田 義明：ドロノキの交配種、幹の曲がりの遺伝率と親子相関 北海道林木育種 17(2), 10~12, 1974
- 千葉 茂・永田 義明：ドロノキの春・秋における耐凍性と耐性クローンの選抜北海道林木育種 29(1), 6~12, 1986
- 千葉 茂・永田 義明：ドロノキクローンの材質 北海道林木育種 27(2), 6~11, 1984
- 千葉 茂・永田 義明：山地造林用ポプラ育種の経過と形状 王子林木育種研究報告 3, 1~14, 1976
- E. J. Shureiner：ポプラの選抜と育種 北海道林棒育種 2(1), 30~35, 1959
- 遠田 暢男：ポプラ類の主要害虫 ポプラ懇談会
- 遠藤 嘉数：イタリアのポプラ 林木育種協会
- 伊藤 一雄：ポプラ類の主要病害 ポプラ懇談会
- 猪熊 泰三：ポプラ ポプラ懇談会
- 猪熊 泰三：期待される早生樹種—注目される早生樹（改良ポプラ）—、65~98 全国林業改良普及会
- 亀井 専次・佐藤隆行：ポプラ錆病菌に関する試験及び観察 北海道林木育種 4(1), 3~14, 1961

- 功力 六郎・佐々木忠兵衛：ポプラの交雑試験結果 日本林学会北海道支講 14, 29～31, 1965
- 松尾 兎洋：ヨーロッパにおけるポプラ造林 (E. J. Schreiner 著)、国際食糧農業協会編
- 森田健次郎：ポプラ類の成熟過程と耐凍性 北海道林木育種 1(8), 2, 1965
- 森田健次郎・酒井 昭：ポプラ類の凍害に関する研究—改良ポプラ品種の耐凍性の差 日本林学会誌 48, 2, 1966
- 永田 茂：ドロノキの新品種「北海ポプラ」の特性 北海道林木育種 38(1), 7～10, 1985
- 永田 義明・千葉 茂：イタリー系改良ポプラの試験地における10年生の樹形と成長について 日本林学会北海道支講 18, 122～127, 1970
- 永田 義明・千葉 茂：ドロノキクロンの養苗期及び9年生の成長と錆病の相関—早期選抜の可能性— 日本林学会北海道支講 30, 152～156, 1982
- 王子製紙林木育種研究所：北方系ポプラ・ドロノキ育種 王子林木育種研究報告 20, 27～35, 1987
- 大久保 昭：早生樹の養苗と造林の実際 169～200 地球出版
- 大屋 穰二：イタリアポプラの肥培について 75～77, 12回日本林学会九州支講
- 岡本 光雄・桃井 節也：ポプラの害虫 北海道林木育種 4(1), 23～28, 1961
- ポプラ懇談会機関誌 (ポプラ懇談会) : ポプラNo. 1～22.
- 酒井 昭：ポプラの凍害に関する研究—ポプラ類の成熟過程と耐凍性について
- 真田 勝・塩崎 正雄・西本 哲昭・真田 悦子：ポプラ造林木の生長と土壌 日本林学会北海道支講 32, 148～150, 1984
- 真田 勝・真田 悦子・大友 玲子：ポプラの超短伐期育成法—密度と施肥及び収穫周期別収量—日本林学会北海道支講 37, 122～124, 1989
- 日本林学会北海道支講 8, 27～32, 1960
- 塩田 勇：ポプラの造林、外国樹種の養苗法 161～194 全国山林種苗共同組合連合会
- 森林資源総合対策協議会：早生育成林業 産業図書株式会社

なお、海外のPopulus 属に関する文献は (社) 林木育種協会にリストされている。

登録番号 1114  
 参照番号

O D C 分類	1	環境因子 生物学
	1	立地因子 気象 位置 土壌 水文学
質問内容	苗畑の蒸散に関する風の影響について	
プロジェクト	キリマンジャロ村落林業計画	
地域 : 国名	東部アフリカ	: タンザニア
キーワード	蒸発散量、延命効果、Sunkun Bed, Raised Bad, Flat Bed, 乾燥、風、灌水量	
参考文献		

質問者	佐藤 朗	回答者	浅川澄彦 矢幡 久 八木久義
-----	------	-----	-------------------

# 個別技術情報支援のための質問書

1996年12月13日

プロジェクト名 キリマンジャロ村落林業計画  
専門家名 佐藤 朗

質問技術テーマ：苗畑の蒸散に関する風の影響について

1. 質問技術テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け
  2. プロジェクト側の計画案、解決策案、質問技術テーマの具体的な内容、問題点及びプロジェクト側の期待する回答の範囲
  3. その他
1. 当プロジェクトのムコンガ苗畑は年平均降水量 200mm以下の乾燥地に位置し、また強風地帯としても知られている。プロジェクトの開始当初に設置した日本製の自動式の蒸発計は、内部に保持する水が急速に蒸発してしまうため、測定が不可能であり、乾湿球式の湿度計も、湿球にいたる以前に水が蒸発してしまうことがあり、正確な湿度の測定が困難も困難である。また、灌水に用いている水は塩基濃度が高く、施肥に用いる牛糞も水分が不足するため十分醗酵せず、未成熟のまま施用せざるをえないことが多いため、ポット内の土壌内の塩基に拍車を掛けている。土壌の専門家からは灌水量を減らす工夫をするように求められているが、対応に決め手を欠いていた。
2. ムコンガ苗畑は播種床を除きすべての苗床が、地上より10cmあまりあがったいわゆる Rasied Bed になっている。文献によれば、乾燥地においてこのデザインは不適切であり、地面を掘込む Sunkun Bed を用いるべきだとされている。乾燥に加え強風が問題となるムコンガでは特にその効果が予想され、プロジェクトでも Sunkun Bed の比較試験を行い、効果が確認できれば将来的には全面的に切り替えることも考えている。試験方法は、代表的な3樹種程度を Rasied Bed、Sunkun Bed、Flat Bed でそれぞれ同数（20本ずつ3回繰り返す）同時に育苗し、その樹高成長の変化を観察するものである。また灌水量は等しくし、灌水後のポット重量を時系列に沿って測定することにより、含水量の変化を比較したいと考えている。

質問事項としては1) 一般論として風の影響がどの程度あると考えているか、  
2) Rasied Bed、Sunkun Bed、Flat Bedを比較した資料は存在するか、3) プロジェクトで考えている試験方法は適切かどうか、の3点である。

質問のキーワード：

蒸発散量、延命効果、Rasied Bed、Sunkun Bed、Flat Bed、乾燥、風、灌水量

希望資料名：

希望指導委員名：



## 2. 苗畑の蒸散に関する風の影響について：キリマンジャロ村落林業計画

育成中の苗木に対する風の影響が調べられているか、Raised Bedと Sunken Bed を比較した資料はあるか、の2項については、TREE-CD でも検索しないと答えできませんので、取り合えず、第3項について私見を述べてお答えに代えさせていただきます。

計画されている試験が適切でないとは言えませんが、こういう試験はえてして期待したような結果を得にくいものだと思います。加えて、挙げられている3方式を並べて比較することに抵抗を感じます。

なぜなら、これらの3方式はそれぞれ使い分けられているように思われるからです。つまり、Raised Bedは本来、裸根苗の育成に用いられるものと理解しており、例えば Evensにもそのように書かれています。もちろん、Raised Bedにポット苗を並べてもわるいことはないでしょうが、ポットの場合、取り立てて Raised Bed にすることはないように思います。ただし、湿り気の多い土地では床を上げるほうがよく、実際にそうしているところも多いと思います。

ポット育苗の場合には、多くの場合に Flat Bed 方式をとっているように思いますが、これは最も簡単であるからなことは申すまでもありません。ただし貴プロジェクトのサイトのようで、風が強いところなどで、少しでも風の影響を減らすために Sunken Bed によっているところもあります。Weber & Stoneyには、立地条件や樹種などによって Sunken Bed を選ぶと書かれています。これが一般的かどうか疑問です。立地条件、例えば風の強いところでは、まず防風林か防風垣を造成することが常識であり、そうすることによって微気象を改善することは可能です。樹種については、とくに苗木の段階で、風に強い樹種・弱い樹種という区分は聞いたことがなく、実際そのような仕分けができるものか懐疑的です。もちろん、Sunken Bedにするにこしたことはなく、労力が許せば、Sunken Bedにするほうがよいと思います。なおポット育苗で、冠水法・水路灌水法などの surface irrigation を行う場合には、当然のことながら Sunken Bedによるのが普通です。また裸根苗の場合にも、水路は掘るとして、苗床自体は地表面より高くなる、いわば Raised Bed になることはあります。

それぞれの方式に以上のような性格があることを考えますと、これらを並べて比較検討することに意味があるだろうかと思った次第です。

最後に一般論として、灌水量を等しくして育てた場合、数か月の育苗期間に樹高成長に有意な差が出るものかどうかやや心配ですが、多分このような試験はされたことはないと思いますので、試みられたら如何でしょうか。

いずれにしても、この質問については、八木・矢幡両委員が専門的な立場から答えられるはずで、この回答は一つの参考意見と考えて下さい。

(浅川澄彦：1997.1.7)

## キリマンジャロ村落林業計画からの個別技術情報支援 のための質問書に対する回答

質問技術テーマ：苗畑の蒸散に関する風の影響について

- (1) 先ず強風の樹木に対する影響についてですが、わが国では、冬季土壌が凍結し樹木が水分を十分吸収できないような時に強風が吹くと、樹冠から強制蒸散により多量の水分が失われるため樹体が乾燥し、遂には先端枯れや枯損に至ることがあると報告されています。また、風衝地では、樹木の風上側が強風により水分生理的および物理的な障害を激しく受けるため、その成長が大いに阻害されている例も多々見られます。

ましてや、年降水量 200mm以下の乾燥地で強風が吹けば、強制蒸発散により失われる水の量は相当なものと推定されますし、飛砂による物理的な障害もかなりあるのではないのでしょうか。

また、発酵不十分な牛糞の施用は、糸状菌などの繁殖による土壌の乾燥化や、根切り虫などの虫害を引き起こす誘因になるといわれています。従って、不十分な牛糞発酵の原因である水不足も、そのような強風によって引き起こされているのであれば、その面でも強風対策は大変重要です。

恒久的なものとしては、先ず防風林の造成が考えられますが、早急には無理でしょうから、次善の策としては、なんらかの工作物による強風の遮蔽ではないかと思えます。局所的なものなら、土塁なども有効ではないのでしょうか。

いずれにしましても、強風対策を早急に講じるべきでしょう。

- (2) 次に、Sunken bedに関してですが、日本国内には関連する文献は見当たりそうもありません。お手許の文献などから、そちらあるいは欧米の研究所や大学の図書館において孫引きしてはいかがでしょうか。

いずれにしましても、「乾燥地においては Raised Bed は不適切であり、Sunken Bedを用いるべきだ」とする文献がお手許にあるのですから、小規模でもよいからできるだけ早く Sunken Bed と Raised Bed の比較試験を行い、Sunken Bedの強風による水の強制蒸発散や物理的障害を軽減する効果が明らかであれば、Sunken Bedを本格的に採用するべきだと思います。

- (3) また、質問書にあります塩類集積についてですが、強風の吹く乾燥地で塩基濃度の高い水を灌水に用いれば塩類集積が発現しやすいのは、残念ながら、当然の理です。そのような立地条件のところで植林用の苗を健全に育てるための根本的な解決策は、極く当たり前のことですが、灌水用の水の塩基濃度を安全基準にまで下げることです。しかし、そのためには本格的な脱塩装置を必要とするなど相当な投資を必要とするでしょう。

一般に土壌内における水の移動様式は、おおまかには、①土壌に浸透した雨水が年間を通して表層から下層へ下降して地下にうしなわれるもの、②表層から浸透した雨水がある程度の深

さのところUターンして再び表層から蒸発散により失われるもの、③比較的浅いところに位置する地下水が毛細管現象により土壌内を上昇し地表から蒸発散により失われるもの、の3つのタイプに区分されます。

そのうち②と③が塩類集積を引き起こす要因となると考えられています。貴プロジェクトでポット内の土壌に塩類集積を引き起こしているのは、②のように、土壌に添加された水のほとんどが再び表層から蒸発散により失われるタイプが相当すると思います。

そこで、強風による強制蒸発散をできるだけ少なくする策を施すとともに、ポットに比較的透水性の良好な土壌を充填し、従前よりかなり多めの灌水を行うことによって、土壌水がポット内を①のように表層から下層へ移動し一部の土壌水がポットの下部から失われるような状態を保つことができれば、ポット内の土壌への塩類集積が少しは防げるのではないかと思われま

す。

そのためには、従前よりはるかに多量の水を必要としますし、排水用の溝を新設することも必要です。果たしてそのような方法が、貴プロジェクトのような立地条件に適合するかどうか全く自信はありませんが、一度、強風による強制蒸発散をできるだけ少なくする策を施し、透水性の良い土壌を充填したポットに多量の灌水を行う試験を小規模に行われて、効果を試されてはいかがでしょうか。

(東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻 八木久義)

質問技術テーマ：苗畑の蒸散に関する風の影響について

質問者 キリマンジャロ村落林業計画 リーダー佐藤 朗氏

回答者 九州大学熱帯農学研究センター 矢幡 久

質問項目

- 1) 一般論として風の影響はどの程度あると考えられているか
- 2) Raised BedとSunken Bedを比較した資料は存在するか
- 3) プロジェクトで考えている試験方法は適切かどうか

回 答

ムコンガ苗畑は年平均降水量 200mm以下と極めて厳しい乾燥地で、しかも強風地帯とのことで、苗の生産も厳しいことと推察します。

お問い合わせの蒸散に及ぼす風の影響については、他の各種の環境要因や植物の特性の影響を受けますので、各種要因を組み込んだ解析が必要となります。もし、各種要因をいろいろ変えて、単純な実験式を当てはめる方法では、無駄が多く、エネルギー収支などを拠り所にして理論を構築する方が意味があります。現在、熱収支式に基づいた解析が蒸散現象を考える場合に有効です。そこで、理論面に重点をおいて説明します。

#### 1) 蒸散に及ぼす風の影響

##### 1. 単葉における蒸散速度と風速との関係

風速が苗木の蒸散に及ぼす影響については、我が国でも古くより実験が行われてきました。しかし、実験では種々の環境と植物の条件を設定することが困難で、事例枚挙的な結果を示すにとどまっていた感があります。総合的に解析するには、理論研究が必要で、1963年になって Gatesらが熱拡散や水蒸気の境界層をシュリーレン写真によって解析されるようになり、葉の熱収支の解析が可能になってからです。しかし、この場合も単葉について解析したものが主で、互いに葉が重なった状態、特に複雑な樹冠についての理論解析はまだまだ困難ですので、ここでは単葉で得られた解析結果について示します。

結論からいえば、葉の蒸散速度は必ずしも風速によって増大するとは限らず、逆に減少することもあります。この理由の一つとして、過度の蒸散によって葉が水欠乏を引き起こし気孔を閉鎖するために蒸散が低下する場合があります（矢吹、1985）。しかし、気孔が閉鎖しなくてもこの現象は発生します。すなわち、葉が吸収する放射量が大きく、葉温が高くなるような環境では、風速が大きくなると葉温が冷却され葉-気温差が減少し、蒸散速度の低下の原因になる場合があります（図-1、Yamaoka、1958）。

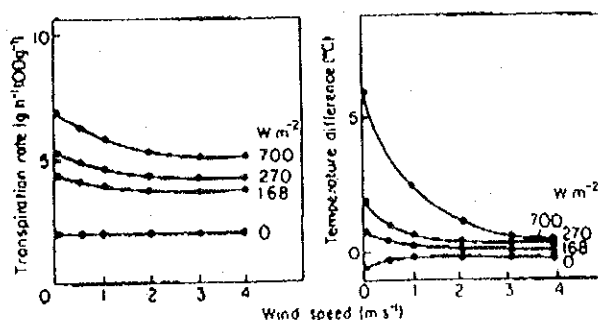


FIG. 2.8. Observed effect of wind speed on the rate of transpiration and leaf temperature in *Cryptomeria japonica*. Air temperature 20 °C, relative humidity 60%. After Yamaoka (1958).

図-1 スギの蒸散速度および葉温に及ぼす風速の影響の観測結果  
気温20°C、相対湿度60% (Yamaoka, 1985)

このような関係は、Gates (1971) は葉の熱収支式から求めることができます。すなわち、

$$Q_{abs} = \epsilon \sigma T_l^4 + k_1 (V/D)^{1/2} (T_l - T_a) + L [d_l (T_l) - Rh \cdot d_a (T_a)] / r_l + k_2 [(W^{0.20} D^{0.35} / V^{0.55})] \quad (1)$$

ただし、 $Q_{abs}$  : 葉が吸収した放射量  $\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ 、 $\epsilon$  : 放射率、 $\sigma$  : ステファンボルツマン定数、 $T_l$  : 葉温  $^{\circ}\text{C}$ 、 $T_a$  : 気温  $^{\circ}\text{C}$ 、 $V$  : 風速  $\text{cm/s}$ 、 $D$  : 風方向の葉の大きさ  $\text{cm}$ 、 $W$  :  $D$  と直角方向の葉の大きさ  $\text{cm}$ 、 $L$  : 水の蒸発潜熱、 $Rh$  : 相対湿度 (0-1)、 $k_1$ 、 $k_2$  : 定数、 $d$  : 飽和水蒸気密度  $\text{g cm}^{-3}$ 、 $r_l$  : 気孔抵抗  $\text{s cm}^{-1}$ 。

この式の意味は、葉が吸収した放射量は、平衡状態では葉からの熱の放射 (右辺第1項) と空気への対流による熱伝導 (右辺第2項)、さらに葉からの蒸散による潜熱輸送 (右辺第3項) の3つに配分される熱収支を基礎に成立しています。この式を利用すれば、それぞれの要因を変化させた場合に、蒸散速度や葉温がどのようになるかを計算することができます。Gates and Papiian (1971) はそれぞれの要因を変化させた場合の計算結果を図化して110枚の図を教科書「Atlas of energy budgets of plant leaves, Academic Press, pp277」に提示しています。風速が蒸散速度に及ぼす影響を示す計算結果は、図にして20頁にも及ぶので、典型的な一例だけを図-2に示します。式の解はニュートン法によって解けますので、パソコンにプログラムを作っておけば、Gatesの全ての図を簡単に再現できます。プログラムが必要であればこちらで準備できます。シミュレーションの結果は熱収支が成立する条件が成り立つ限り、適合性は高いと考えてよいでしょう。

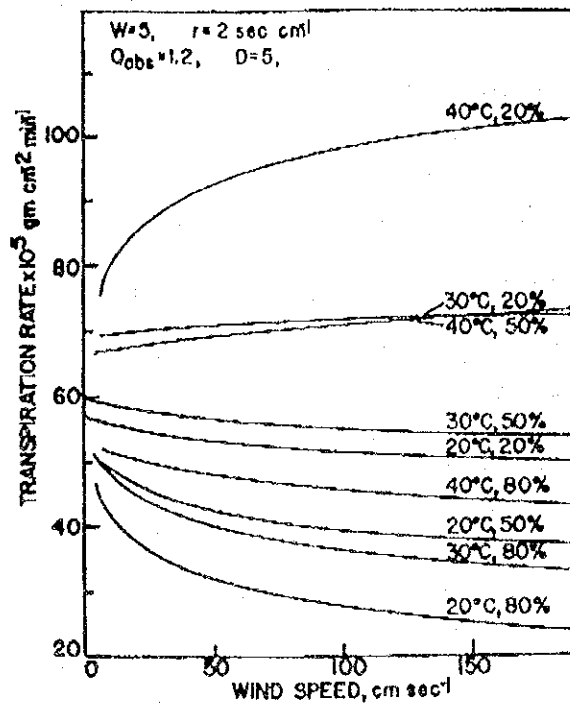


図-2 各種の気温、湿度条件における風速が蒸散速度に及ぼす影響（計算値）  
 葉の特性（葉の幅 $W=5$  cm（風の流れの平行方向）、長さ $D=5$  cm（風の流れに直角方向）、気孔抵抗 $r=2$   $\text{sec cm}^{-1}$ ）、放射環境（葉が吸収した熱量 $Q_{\text{obs}}=1.2$   $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ）に固定した場合での計算結果  
 （Gates and Papian、1971）

Gates の熱収支式からも明らかに蒸散速度に及ぼす風速の影響は、日射量、気温、相対湿度などの気象要因、葉の気孔コンダクタンスや葉の大きさなどの植物の特性によって、大きく異なります。特に、葉の大きさ（式では、 $W$ 、 $D$ の大きさ）は、風速と葉の表面に形成される境界層の大きさに大きな影響を与え、大きいと境界層抵抗が大きくなり、風に対する影響が相対的に小さくなります。

## 2. 樹冠葉の蒸散と風速との関係

葉は、樹冠を形成している場合、樹冠内での微気象環境が外部と異なり、湿度は高くなりがちで、日射量も樹冠表面とは異なります。風も常に一定の速度で吹く風だけではありません。すなわち、風には息があり、この風の息によって樹冠内部の湿度や気温などが外部と接触して等しくなりますが、風が弱くなると再び樹冠内は周囲と異なる微気象に変わるといった複雑な現象が繰り返されるので、その解析は個葉の場合のように理論的で簡明な解析はできていないようです。

しかし、植物群落からの蒸散速度の計算で、最もよく知られて最も広く利用されている式は、Penman-Monteith の式があります。これは、林冠を一枚の大きな葉と考えた（エネルギー

一収支一質量輸送の) 組み合わせ式です。わかりにくいかもしれませんが、大変重要な式で、これを理解しておけば蒸散問題を考える場合に参考になりますので、Landsberg (1986)の教科書を参考して少し詳しく説明します。なお、熱収支の理論は、Gates 式とほぼ同じですが、葉からの輻射熱の第1項が省略されています。また、Lはλと同じです。

$$\phi_n = \rho_a c_p (T_f - T_a) g_H + \lambda E_t \quad (2)$$

$$\lambda E_t = (\rho_a c_p / \gamma) (e_a(T_f) - e_a) g_v \quad (3)$$

ただし、 $\phi_n$  : 純放射量、 $\rho_a$  : 空気の密度、 $c_p$  : 空気の比熱、 $T_f$ と $T_a$  : 葉温と気温、 $g_H$  : 熱輸送のコンダクタンス、 $\lambda$  : 水の蒸発潜熱、 $E_t$  : 蒸発散速度、 $\gamma$  : 乾湿計定数、 $e_a(T_f)$  : 葉温 $T_f$ における飽和水蒸気圧、 $e_a$  : 大気の水蒸気圧、 $g_v$  : 水蒸気拡散コンダクタンスです。

$g_v$  および  $g_H$  は、境界層抵抗  $r_b$  および気孔抵抗  $r_a$  を用いることにより、つぎのように表されます。

$$g_v = 1 / (r_b + r_a) \text{ であり、 } g_H = 1 / r_b \text{ である。}$$

葉温、したがって  $e_a(T_f)$  は、次の近似式から推定できます。

$$\begin{aligned} e_a(T_f) - e_a &= [e_a(T_f) - e_a(T_a)] + [e_a(T_a) - e_a] \\ &= (T_f - T_a) s^* + D \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 $s^*$  は、飽和蒸気圧/温度曲線の  $T_a$  における傾き (勾配) です。(2) に (3) を代入し、(4) と組み合わせることによって、

$$\lambda E_t = \frac{s^* \phi_n + \rho_a c_p g_H D}{s^* + \gamma (g_H / g_v)} \quad (5)$$

となります。式(5)は、もし、水蒸気コンダクタンスの項  $g_v$  を林冠コンダクタンス  $g_a$  で置き換え、 $g_H$  を林冠の境界層コンダクタンス  $g_b$  で置き換えをするならば、林冠に応用することができます。 $g_a$  に対する値は、 $g_a = g_{a,m}$ 、すなわち、 $g_a = u(h) / 10 (\text{ms}^{-1})$  と仮定することによって推定ができます。

Penman-Monteith の式は、エネルギー収支、空気力学、および質量輸送のパラメータを組み合わせる正確な方法です。この式は一般に広く受け入れられており、また、アイソトープを用いた方法 (Waringら、1980; Luvall and Murphy, 1982) や、土壌水分を計測するライシメータ法 (Calder, 1977, 1978) と比較した結果、森林の蒸散速度が正しく推定できることも明らかになっています。

### 3. 高さ と 風速 と の 関 係

上空を流れる風の速度が一定であっても、地表面に近づけば運動量が地面との摩擦で減少し、このために風速は減少します。この関係は、植生の高さや粗度によって影響を受けるので、高さ  $z$  における風速  $u(z)$  は、次式で与えられます (ただし、標高に伴う気温逆減率が、断熱減熱 ( $0.01^\circ\text{C m}^{-1}$ ) に近い場合に限られる)。

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln \left( \frac{z-d}{z_0} \right) \quad (6)$$

ただし、 $u^*$  は、摩擦速度 (friction velocity)、 $k$  は、カルマン定数 (von Karman's constant) として知られ、経験的に確立された値は、0.41であり、また、 $z_0$  は、表面の特性を示すもので、粗度に関係します。ある任意の風速  $u(z)$  に対して、 $u^*$  は、滑らかな面より粗い面の上で大きくなります。高さ  $h$  の植物群落がある場合、その高さのために、風速のプロファイルを地面より上方に修正する必要がありますが、もちろん植生高  $h$  より下方に地面があるように振る舞いとなります。このために、パラメータ  $d$ 、すなわち、地面修正量 (zero plane displacement) が導入されるわけです。  $d$  は通常、植生高  $h$  の 0.6~0.8 の間になることが実験的に確認されています。

植物の高さ  $h$  が異なる場合の風速の垂直分布は、図-3(a)のようになり、上空に比べて地表面では風速が減衰します。この場合に、植生の高さ  $h$  によって地面が上に修正された形になります。ここで、縦軸に  $(z-d)$  の対数をとって表現しなおせば、図-3(b)となります。これは式(6)を変換すれば、

$$\ln(z-d) = \ln(z_0) + \frac{u^*}{k} u \quad (6)$$

となることから、容易に理解できます。

この直線の勾配が  $k/u^*$  を示すことになり、 $y$  軸との切片が、重要なパラメータである粗度長  $z_0$  として求められるわけです。パラメータ  $z_0$  と  $d$  は、表面の空気力学的な特性を表し、平坦で広く均質な場所の上で測定された風速のプロファイルから求められるものですが、第一次近似として、植生高から推定することが可能で、 $z_0 = 0.1h$  と  $d = 0.7h$  となります。



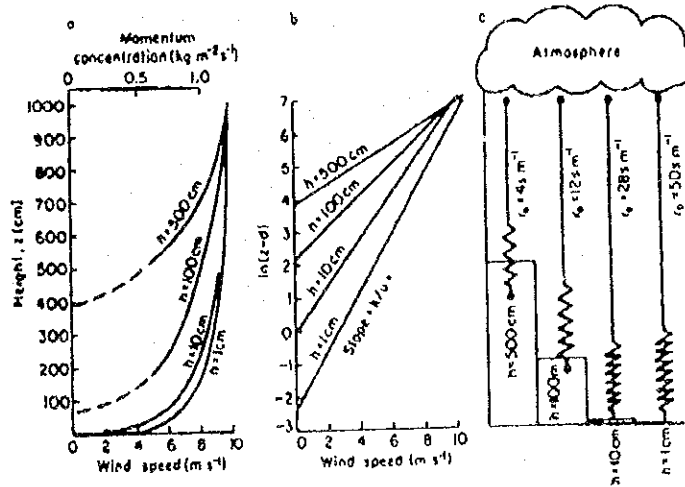


FIG. 2.4. Momentum exchange as affected by vegetation height: (a) vertical profile of momentum over vegetation of four heights,  $h$ , when the wind speed at 10 m corresponds to a strong breeze; (b) the logarithmic plot used to obtain the roughness parameter  $z_0$ ; (c) calculated resistances to momentum transfer between 10 m above the ground and the hypothetical momentum sink in the vegetation. The data from which these curves were drawn were calculated using equation 2.13.

図-3 植生の高さが運動量交換に及ぼす影響

(a)風速10mの強い風が吹く場合の、4段階の異なる高さ  $h$  の植生上の運動量（風速）の垂直分布プロフィール (b)粗度長  $z_0$  を求めるために描いた対数軸上の打点 (c)地上10mの大気と植生の中の仮想的な運動量シンクとの間に介在する運動量輸送の抵抗値  $r_a$  についての計算値 (Grace、1981)

#### 4. 空気力学的抵抗と高さとの関係

Monteith(1973) および Thom(1975)は、 $z_0$ と運動量輸送の抵抗 (Momentum resistance)、 $r_{am}$  を次の式で示しています。

$$r_{am} = \{ \ln(z-d) / z_0 \}^2 / (k^2 u(z)) \quad (7)$$

この式から  $z_0$  と  $d$  が知られれば、 $r_{am}$  が推定できることとなります。  $z_0 = 0.1h$  で、  $d = 0.7h$  でおけば、風速の増大に伴う  $r_{am}$  の変化が示されます。  $r_{am}$  の逆数、すなわち、運動量輸送コンダクタンス  $g_{am}$  は、風速に比例することになり、植生高  $h$  が大きくなると  $g_{am}$  は大きくなることがわかります (図-4)。 図-3(c)に示すように、植生が高いと上空の大気との間にかかる運動量輸送抵抗  $r_{am}$  が小さくなり、運動量の交換が容易になり、それだけ蒸散や二酸化炭素などガスの交換も容易になることを示しています。

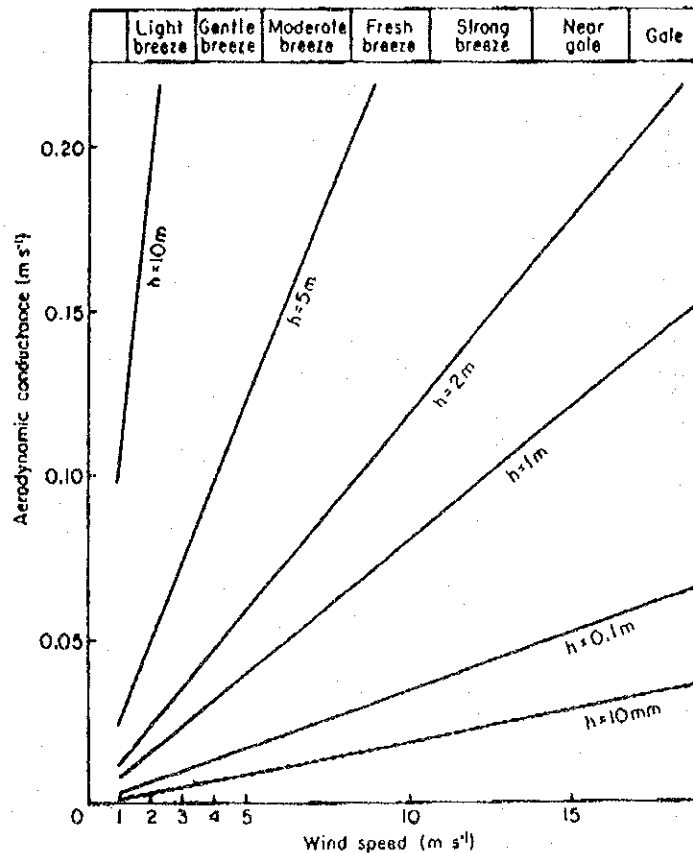


図-4 式(7)によって求められる植生高が空気力学的コンダクタンスに及ぼす影響  
 $z_0=0.1$  と仮定。hは植生高を示す。(Grace, 1981)  
 (コンダクタンスが大きいほど蒸散しやすい環境にあることを意味している)

このことから、植生高が低い方が、運動量輸送コンダクタンス $g_{am}$ は小さくなり、蒸散速度を抑制することができます。

苗畑レベルでみた場合に、苗木の高さを地面を基準に低く維持することで、 $g_{am}$ を減少させるのは確実なことで、その分だけ蒸散抑制につながるようになります。その効果の大きさは、苗木の葉の気孔コンダクタンスの大きさが大きい場合には相対的に小さくなるなど他の条件で変化しますので、他の条件を設定しないと推定することはできません。

ここで注意しなければならないのは、日射量が高い条件で風速が減少すれば、風による冷却作用が小さくなるために、葉の温度が上昇し、結果的に蒸散を促進することにもなります。したがって、葉が吸収する日射量Hを低下させるために、日覆をするなどして強い日射を遮蔽することも同時に検討する必要があります。

また、風速を低減させるためには、植生の高さを下げるだけでなく、他の方法がいくつも考えられます。すなわち、防風のためには、防風林、防風垣、防風ネットなど、苗畑の周囲を囲い風の進入を抑制することが一般的であると考えます。もし、防風対策が行われていな

いのであれば、それを優先すべきと思われます。

この場合、防風林や生け垣などに樹木を植える場合、乾燥地ではこれらの木が土壌中の水分を吸収し、もし、苗木が路地植えの場合は水の競合が起こるので留意する必要があります。ポット植えでしかも灌水が行われるのであれば、問題は別です。

2) Raised BedとSunken Bedを比較した資料の存在については、まだ探索できていません。しかし、その効果については、1)で述べたこと以外に、次のように考えることができると考えられます。

苗床を高くするのは、降水量が多い場所で、過剰な雨水による湿害を避けるためと考えられます。しかし、乾燥地では雨が少ないので、苗床を掘り下げ、雨をできるだけ苗床下に導入することによって土壌中の水分を多くするほうが苗木にとって有利となると考えられます。

中国では乾燥地の造林や苗畑では、とくに塩害が発生するような土壌塩分濃度が高い場所では、穴を掘って地面より低い位置で植栽することが推奨されているようです。おそらく、雨のときにできるだけ穴に雨水を導き、多くの水を集めるために重要と考えられます。このことによって土壌中の塩分が周囲の土壌蒸発面に移動するので、苗木の塩害を軽減できるという報告があるようですが、塩害回避が可能な理由を少し明確にしなければ鵜呑みにはできませんが、検討する価値がありそうです。

3) プロジェクトの試験計画について

以上、蒸散における植生高と風速の影響において解説しました。

プロジェクトでは、これから代表的な樹種3種について、Raised BedとSunken BedおよびFlat Bedで20本ずつ3回繰り返して育苗し、苗木の樹高成長を観察すること、さらに、灌水量を等しくして灌水後の重量変化を観察するとのことですが、是非次の点に留意して実験を行っていただければ幸いです。

#### 1. 統計的な実験計画の導入

苗畑試験の場合、場所をうまくとれば環境はかなり一定とは考えられますが、未知の影響要因が必ず潜む恐れがありますので、試験は乱塊法などの実験計画に基づいて、実施するように留意してください。

#### 2. 土壌水分の計測

土壌水分の変化はポットの重量を計測するとのことですが、できるだけ一定の時刻を決めて測定するようにすると、データの解釈が容易になります。

なお、このような実験はできるだけ多く実施することがよいと思われます。すこし、思いつくままに提案すれば、

#### 1. 防風垣等の設置

現地の材料（粗朶など）をできるだけ使用し、防風ネットをつくり、その防風効果についても比較する。

## 2. 日覆による蒸散抑制効果

風速が100cm/s を下回るほどになると、蒸散を低下させることにつながりますが、同時に、葉の温度の上昇につながり、蒸散速度を促進することになります。そこで、草藁などを利用した日覆で日射を低減することを組み合わせてみる。

### 主要な引用文献

Yamaoka Y. (1958) Total transpiration from a forest. Transactions of the American Geophysical Union, 39, 266-272

矢吹萬壽・宮川秀夫 (1970) 農業気象26、137-141

矢吹萬壽 (1985) 植物の動的環境 pp200 朝倉書店

Grace J., E.D. Ford, and P.G. Jarvis (1981) Plants and their atmospheric environment The 21st Symposium of the British Ecological Society Edinburgh 1979, Blackwell Sci. pp419

Gates and Papian (1971) Atlas of energy budgets of plant leaves, Academic Press, pp277

登録番号 2345  
参照番号

ODC 分類	2	造林
	3	林分の更新と造成
質問内容	直播き用種子の発芽処理の必要性について	
プロジェクト	キリマンジャロ村落林業計画	
地域 : 国名	東部アフリカ : タンザニア	
キーワード	半乾燥地 直蒔き マイクロキャッチメント 発芽処理 <i>Acacia nilotica</i>	
参考文献		

質問者	佐藤 朗	回答者	浅川澄彦
-----	------	-----	------

# 個別技術情報支援のための質問書

1996年12月22日

プロジェクト名 キリマンジャロ村落林業計画  
専門家名 佐藤 朗

質問技術テーマ：直播き用種子の発芽処理の必要性について

1. 質問技術テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け
  2. プロジェクト側の計画案、解決策案、質問技術テーマの具体的な内容、問題点及びプロジェクト側の期待する回答の範囲
  3. その他
1. 当プロジェクトでは、半乾燥地における社会林業活動に必要な技術の開発・改良を行うことを目標として、造林部門では、住民の利用する適正造林技術の開発・改良と展示林の造成を行ってきている。これらの住民の利用する適正技術の開発・改良の一環として、今回より簡便・低コストな更新方法である直播きによる天然林改良の可能性を探るため、この試験的实施を予定している。
  2. 施業地は、半乾燥地という厳しい気象（特に降雨）条件のため、あらかじめ雑草等の下層植生を取り除くとともに簡易なマイクロキャッチメントを設置し、その集水箇所種子を埋め込むことにより、直播きを行うものである。直播き用の種子は、在来種であるAcacia類 (Acacia nilotica)とし、プロジェクトサイト周辺に自生する天然林から採種したものを使用する。この際、直播きに使用する種子は、1) 通常の苗木生産の場合と同様に発芽処理をすべきであるか、あるいは、2) 厳しい気象条件に適した自然な発芽を期待し、発芽処理を行うべきではない、のかについてご指導願います。なお、直播きの時期は、1) の場合は早期の発芽を期待できることから雨期の開始当初、2) の場合は乾期、というように考えていますが、あわせてご指導願います。
  3. 半乾燥地における直播きによる森林造成の事例（スーダンやパキスタン等の例：熱帯の造林技術、国内緑化推進センター発行）について、その具体的内容をご教示願います。もし、資料等（日本文・英文）がありましたら送付いただければ幸いです。

質問のキーワード：

半乾燥地、直播き、マイクロキャッチメント、発芽処理、Acacia nilotica

希望資料名：

希望指導委員名：

## 個別技術情報支援のための質問に対する回答

### 1. 直播き用種子の発芽促進処理について：キリマンジャロ村落林業計画

地拵えとして、雑草などの下層植生を取り除き、簡易なマイクロキャッチメントを設け、その集水箇所を種子を埋め込むとされていますが、半乾燥地における直播き法としては適切な方法だと思います。とくに、発芽後の芽生えと競合する雑草を潔癖に除去される方法は有効だと思います。また、土壌硬度および土性にもよりますが、発芽した芽生えが根を張りやすいように、埋め込む箇所の土を軟らかくしておくことも有効な補助手段だと思います。

播きつける種子として *Acacia nilotica* だけをあげておられますが、できたら、もっと多くの在来のアカシア類を比較してみられたら如何でしょうか。すでに比較検討が行われ、本種が選ばれたのであれば結構ですが。ちなみに、貴プロジェクトのサイトには、少なくとも10種以上のアカシア類が天然分布しているはずで、それぞれに生態的な特性が異なると聞いています。

直播きに使用する種子に発芽促進処理を行うかどうかですが、私は処理するほうがよいと考えます。ただし、播き付け時期は注意深く決めるべきです。ご承知のように、処理を行えば、比較的早く、揃って発芽するはずですから、発芽した芽生えが根を張りやすいように、地表20~30cmが十分に湿ってから播き付ける必要があります。処理を行わず、乾季の末期に播き付けておくという考え方も面白いとは思いますが、乾季の終りを推定するのは難しいこと、雨季にはいつすぐに発芽するという保証はないこと、など難しい問題があるように思います。

拙著「熱帯の造林技術」に引用している直播きの事例ですが、いずれも Evans (1984) に掲載されています。簡単な説明ですので、その部分の写しを添えます。残念ながら、そこに引用されている原報は読んだことがありません。なお、スーダンにおける *A. senegal* の直播きについては、数年前に来日した研修生も同様の説明をしており、実際にこの方法がかなり広く行われているようです。

## Special forms of establishment

### Direct sowing

Direct sowing (or direct seeding) is where the seed is sown directly into the ground on the plantation site. As an establishment practice in the tropics it has been widely tried but only found reliable with a few species. However, it is often successful with large seeded species such as *Gmelina*, *Swietenia*, and *Mora excelsa* and is sometimes used to supplement natural regeneration. Aerial seeding of *Acacia arabica*, and *Prosopis cineraria* on the Indus flood plain in Pakistan has been successful (Kermani 1974). Direct sowing of *Pinus caribaea* and *P. oocarpa* is extensively done in poorly stocked forest in Honduras.

The attractions of direct sowing are that a forest nursery is not needed, and no time is spent on planting. Also, it is argued that trees develop more naturally on the site, since they are undisturbed from the time of seed germination, and this may improve early growth and tree stability later. However, in nearly all afforestation projects the potential benefits of direct sowing are more than outweighed by the disadvantages which are; (i) germination survival percentages are usually very low (1–10), e.g. Dalmacio and Banrigan (1976) only achieved 4.2 per cent with *P. kesiya*, therefore much seed is needed to achieve adequate stocking, this is expensive especially if seed is imported; (ii) in a nursery a seedling receives daily attention to obtain the best results and stimulate early growth, this cannot be done on a forest site; (iii) newly germinated seedlings are easily smothered by weeds, and the cost of control at each sowing site is very high; (iv) plantations are usually poorly and irregularly stocked even if seeds are dibbled into specially prepared spots at regular intervals; (v) poor weather conditions can kill an entire crop; (vi) to have any chance of success seeds should be pre-treated ready to germinate, and protected with fungicide, insecticide and other repellents to resist biological damage; (vii) the sowing site must be very well prepared to provide a good germinative medium — Rimando and Dalmacio (1978) obtained 75 per cent survival with direct sown *Leucaena leucocephala* where the soil was scalped and cultivated, without this survival was only 14 per cent.

One of the most notable examples of direct sowing for raising plantations is *Acacia nilotica* and *A. senegal* in the Sudan. Seed is sown by mixing it with the soil dug out of the 'planting' pits. Where rainfall is higher the soil/seed mixture is left in mounds over the site (Laurie 1974). Another important crop, usually established by direct sowing throughout much of tropical Africa, is *Acacia meansii* for wattle bark. Giffard (1966) described the use of direct sowing for establishing *Anacardium occidentale* in Senegal. In the Jari project (Brazil) 90 per cent of all *Gmelina arborea* is now direct sown, only areas with many vines or inadequately burnt are planted.



## SPECIAL FORMS OF ESTABLISHMENT

### Direct sowing

Direct sowing (or direct seeding) is where the seed is sown directly into the ground on the plantation site. As an establishment practice in the tropics it has been widely tried but only found reliable with a few species. However, it is often successful with large seeded species such as *Gmelina*, *Swietenia*, and *Mora excelsa* and is sometimes used to supplement natural regeneration. Aerial seeding of *Acacia nilotica* and *Prosopis cineraria* on the Indus flood plain in Pakistan has been successful (Kermani 1974) and for reclamation of ravines in Madhya Pradesh, India, with *A. nilotica* and *Prosopis juliflora* (Prasad 1988). Direct sowing of *Pinus caribaea* and *P. oocarpa* is extensively done in poorly stocked forest in Honduras.

The attractions of direct sowing are that a forest nursery is not needed, and no time is spent on planting. Also, it is argued that trees develop more naturally on the site, since they are undisturbed from the time of seed germination, and this may improve early growth and tree stability later. However, in nearly all afforestation projects the potential benefits of direct sowing are more than outweighed by the disadvantages which are: (i) germination survival percentages are usually very low (1–10 per cent), e.g. Dalmacio and Banrigan (1976) only achieved 4.2 per cent with *P. kesiya*, therefore much seed is needed to achieve adequate stocking, this is expensive especially if seed is

imported; (ii) in a nursery a seedling receives daily attention to obtain the best results and stimulate early growth, this cannot be done on a forest site; (iii) newly germinated seedlings are easily smothered by weeds, and the cost of control at each sowing site is very high; (iv) plantations are usually poorly and irregularly stocked even if seeds are dibbled into specially prepared spots at regular intervals; (v) poor weather conditions can kill an entire crop; (vi) to have any chance of success seeds should be pre-treated ready to germinate, and protected with fungicide, insecticide and other repellents to resist biological damage; (vii) the sowing site must be very well prepared to provide a good germinative medium—Rimando and Dalmacio (1978) obtained 75 per cent survival with direct sown *Leucaena leucocephala* where the soil was scalped and cultivated, without this survival was only 14 per cent. As a result of these disadvantages planting typically achieves much higher survival rates than direct sowing; Noble (1985) reported 70 per cent compared with 6 per cent in a trial with *Pinus kesiya* and Sulaiman (1987) 90 per cent compared with 30 per cent for *Acacia mangium*.

One of the most notable examples of direct sowing for raising plantations is *Acacia nilotica* and *A. senegal* in the Sudan. Seed is sown by mixing it with the soil dug out of the 'planting' pits. Where rainfall is higher the soil/seed mixture is left in mounds over the site (Laurie 1974). Another important crop, usually established by direct sowing throughout much of tropical Africa, is *Acacia mearnsii* for wattle bark. And, of course, it is much the best way to establish plantations of cashew (*Anacardium occidentale*). In the Jari project (Brazil) direct sowing of *Gmelina arborea* is now the preferred method wherever weed competition is not severe. Two to four seeds are sown in a group 10 cm apart and thinned out to the best plant when 20–30 cm tall (Welker 1986).

Evans 1992版









JICA