

泥炭湿地林再生のための育苗技術： 湛水馴化処理

東京大学大学院農学生命科学研究科
 附属アジア生物資源環境研究センター
 小島克己、則定真利子、山ノ下卓
 kojima@fr.a.u-tokyo.ac.jp
 http://forest.anesc.u-tokyo.ac.jp/

概要

湛水状態では根に十分な酸素が供給されないため、低酸素ストレスという厳しい環境ストレスが苗木にかかります。そのため、水が停滞した湿地での造林は大変難しく、低酸素に耐える樹種を選んだ上で、湿地造林に適した苗木を作る必要があります。

湛水馴化処理は、植栽直前に苗木を湛水状態に置くことで植栽地の湛水条件に適合した苗木を育成する方法です。

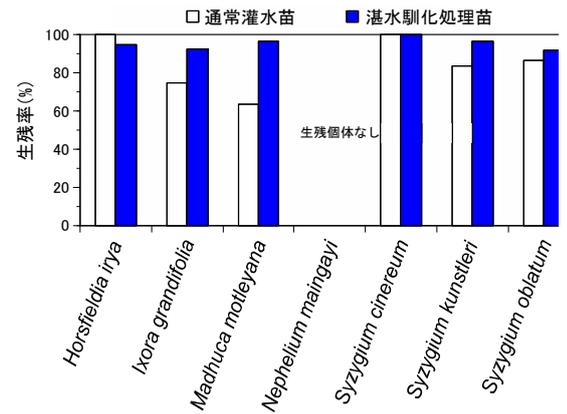
湛水馴化処理により、湿地に造林した際に苗木の生残率が増加する樹種が見出されましたが、その効果は樹種により異なります。

場所や植栽時期を変えるなど、何回か試験植栽を繰り返し、候補樹木の特性を把握し、湛水馴化処理の効果を確かめてから、森林再生事業を実施する必要があります。



湛水馴化処理
 (タイ、ナコンシタマラート県チャウアット)

湛水馴化処理の効果を調べた植栽試験の一例
 (2018年3月に植栽した苗の2019年3月時点での生残率、タイ、ナコンシタマラート県クアンクレン湿地トンサイ地区)



なぜ私たちは熱帯泥炭湿地の荒廃地に森林を再生しなければならないのか？

熱帯湿地の開発と荒廃地の発生

東南アジアには、インドネシアを中心として、日本の面積の半分以上に相当する広大な泥炭湿地が分布しています。熱帯の泥炭湿地には森林が成立し、特徴的な動植物が生育しています。この泥炭湿地はいつも水に浸かっているため、アクセスが悪く、開発が遅れていました。しかし1990年代から、排水路を建設して湿地の水を抜き、森林の伐採やオイルパームやパルプ用材のプランテーションの造成といった開発が行われ、森林の破壊が進んでいます。

湿地の荒廃地の環境ストレス

湿地では、根が水につかっているため酸素不足になり、呼吸が阻害されます。多くの陸上植物にとって湿地は生育が難しい環境です。さらに、湿地の土壌は泥炭土壌や酸性硫酸塩土壌といった植物の生育にとって問題のある土壌で、湛水による低酸素のほかに、強度の酸性やアルミニウムの過剰、栄養なども植物の生育阻害要因となります。これらの生育阻害要因により、農業やプランテーションの開発が失敗する場合も多くみられます。開発に失敗した跡地は放棄されて、何も利用できない荒廃地となってしまいます。

湿地荒廃地の地球環境保全上の問題

泥炭は植物の遺体でできていて、泥炭土壌は炭素含有量が高い土壌です。開発によって荒廃した泥炭土壌地域では、地下水位が低下しているために、酸素が土壌に供給されて微生物の活動が活発になり、泥炭が微生物によって分解されて多量の二酸化炭素が放出されます。また、乾いた泥炭が燃料となる火災が発生し、これによっても多量の二酸化炭素が放出されます。これらの泥炭湿地荒廃地からの二酸化炭素放出は、地球温暖化防止の観点から大きな問題となっています。

湿地荒廃地の森林再生の意義

二酸化炭素放出を抑制するためには泥炭湿地を湛水状態に戻し、森林を再生することが望ましいと言えます。また地域の社会経済を考慮すると、湛水状態の森林から持続的に収益が得られる土地利用方法であることが求められます。オイルパームは湿性環境に耐性のある植物ですが、長期間地表面まで水に浸かってしまうような湛水には耐えられません。そのため排水して地表面下40cm以下の地下水位で管理することになりますので、泥炭が分解されて二酸化炭素が放出してしまい、湿地でのオイルパーム栽培は持続的とは言えません。湛水や他の環境ストレスに耐え、しかも収益源となる樹木を選ばし、湿地という厳しい環境での造林技術を確立する必要があります。



湛水した湿地造林試験地
 (タイ、ナコンシタマラート県クアンクレン湿地トンサイ地区)

苗畑で湛水状態を経験させて、湿地の環境に適応した苗を作る

湛水馴化処理

湛水馴化処理は、植栽直前に苗木を湛水状態に置くことで植栽地の湛水条件に適合した苗木を育成する方法です。湛水馴化処理により湿地に造林した場合の苗木の生残率が増加する樹種がありますが、その効果は樹種により異なることがわかりました。



苗畑での湛水馴化処理苗の光合成測定
(タイ、ナコンシタマラート県チャウアウト)

湛水馴化処理の方法

十分に大きい健全な苗木を用いて湛水馴化処理を行います。私たちの実証試験では、苗畑で通気性の良い用土を詰めたビニール製ポット（直径約 6.5 cm × 深さ約 12 cm）中で 1~2 年間通常かん水条件で寒冷紗下で育苗した後、同様の用土を用いてビニール製ポット（直径約 12.5 cm × 深さ約 19 cm）に鉢増しし、直射日光下で通常かん水して育苗し、鉢増し後 3 ヶ月以上経過した苗木を用いました。

苗畑の日当たりの良い場所で、水平に整地した後、コンクリートブロックとレンガで枠（例えば 4 m × 2 m × 20 cm）を造り、プール底面になる地表面に砂を敷き、防水シートを敷いて水を満たし、馴化処理用のプールとします。このプールに苗木を置いて 3~5 ヶ月馴化処理を施して、湛水馴化苗を作成します。



湛水馴化処理用のプール（コンクリートブロック・レンガ製、防水シートで覆う前、タイ、ナコンシタマラート県チャウアウト）

湿地造林候補樹種の選抜

湿地の環境ストレスにある程度の耐性のある樹木でないと、湛水馴化処理をしても造林成績は向上しません。また、湛水馴化処理は苗木にストレスを与える処理なので、湛水環境に弱い樹種は、湛水馴化処理中に枯れたり弱ったりしてしまいます。湛水耐性があらかじめわかっていることは少ないので、造林対象地域の湿地に自生する高木性の樹木の中から、種子が採取でき、苗木を作ることができる樹種を選んで苗木を作り、予備実験をします。湛水馴化処理用のプールに苗木を浸けて、数ヶ月間、苗木が弱ったり枯れたりしないかを観察します。あわせて、通常のかん水をして同じ期間育てた苗木を対照として生残や成長を比較するのがよいでしょう。



通常のかん水苗
(タイ、ナコンシタマラート県チャウアウト)



湛水馴化処理苗
(タイ、ナコンシタマラート県チャウアウト)

湛水馴化処理により大きく成長が低下することのない樹種を選び出せたら、同じ樹種の苗を数十本用意し、半分に湛水馴化処理を施し、残りの半分を通常のかん水で育てます。この苗木を対象の湿地に試験植栽します。植栽後の生残率と成長（樹高成長など）を数年間測定し、湛水馴化処理の効果を判断します。このとき使用する苗木は、根が多く元気なものを使うのが鉄則です。荒廃地造林は通常の林業の造林とは異なり、土壌等の植物生育環境に問題があるため、良い苗木でないと良い造林成績が得られません。この試験植栽で成績が良かった樹種が湿地造林の候補樹木となりますが、できれば場所や植栽時期を変えるなど、何度か試験植栽を繰り返して、幅広い環境条件に対する候補樹木の特性を把握します。

荒廃した湿地に苗木を植える



植栽の様子
(タイ、ナコンシタマラート県クアングレン湿地トンサイ地区)

植栽・育林方法



湛水した湿地へのカブテの植栽
(タイ、ナコンシタマラート県クアングレン湿地トン)

苗木の植栽方法は、通常の造林とほぼ同じです。

【苗木の運搬】 植栽当日に、湛水馴化処理を行ったプールから苗木を出し、しばらく水を切ります。湛水馴化処理苗のポットの土は崩れやすいので、苗木を運搬する際には注意が必要です。苗木に風や強い光を当てないようにして、植栽地まで運搬しま

す。植栽地で植栽前に苗木を一時保管する場合は、林内等の直射日光の当たらない場所に置きます。

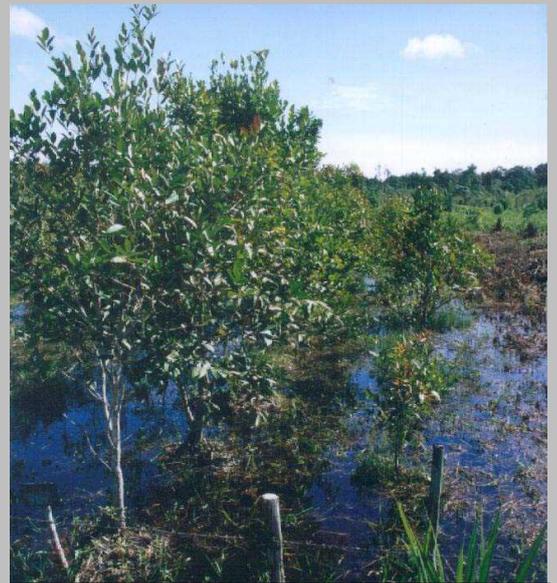
【地拵えと植栽ブロック設定】 植栽予定地に生えている雑草木を刈り払い、測量して方形の植栽ブロックを設定します。冠水している場合は雑草木の刈り払いは大変かもしれませんが。植栽位置の目印のため、竹製の杭を打ち込みます。植栽間隔は 2 m × 2m 程度 (2500 本/ha) が適当でしょう。

【植栽】 目印の竹杭の横にスコップで植え穴を掘ります。ビニール製ポットを破き、土が崩れないように根鉢を取りだし植え穴に入れ、植え穴と根鉢の間に周囲の土を入れます。土壌表面が乾いている場合は踏み固めますが、湛水している場合は踏み固められないので、手で押す程度で構いません。湛水していない期間の植栽をお勧めします。苗木と竹杭を真っ直ぐに立て、竹杭にビニール紐等で苗木を固定します。これは、強風で苗木が揺すられて根が傷まないようにするためです。地盤が弱い泥炭湿地では必須です。

【育林】 雑草木との競合がなくなるまで下刈りが必要です。ツルが巻いている場合は取り除きます。樹冠が閉鎖すれば、下刈りは必要なくなります。樹冠の閉鎖後は除伐（間引き）が必要になるかもしれません。

従来の湿地造林法との違い

これまでに試みられてきた湿地造林、湛水造林の技術は、マウンド等を造成してそこに苗木を植栽することにより、湛水深を浅くして根の酸素欠乏ストレスを緩和するという方法でした。私たちの研究グループの共同研究者であるタニト・ヌイム氏（元タイ国天然資源環境省国立公園・野生生物保護局）が、タイ南部の泥炭湿地で、人力で造成したマウンド上に植栽することによって、いくつかの樹種で苗木の生残率や成長が改善されることを報告しています。また、ベトナムのメコンデルタの酸性硫酸塩土壌の低湿地では、JICA の技術協力プロジェクトにより、堤を造成してそこに植栽する方法が開発されました。



湛水した泥炭湿地でのマウンド造林試験地（左の列がマウンド上に植栽したワーヒンの苗木、右の列がマウンドを作らずに植栽した同種の苗木、タイ、ナラティワート県トデーン湿地、シリントン女王泥炭湿地林自然研究教育センター）

しかし、マウンドや堤の造成等の土地改変には大きな労力や費用がかかります。湛水馴化処理は、樹木の持つ力を利用して植栽地の土地改変を行わずに苗木の生残率と初期成長を改善する技術です。



植栽 5 年後のカブテの造林試験地（左の写真と同じ）

湛水馴化は湿地造林に効果があるか？ —タイ南部での湿地造林の事例—

Melaleuca cajuputi (カユプテ) は、東南アジアに唯一分布するフトモモ科 *Melaleuca* 属樹木で、ベトナム、タイ、インドネシアでは湿地林とその周辺のケランガスと呼ばれる砂地や酸性硫酸塩土壌の湿地に自然に生育しています。葉から精油（カユプテオイル）が取れるため、採取のためインドネシアのジャワ島では人工造林が行われています。カユプテは、湿地に植栽した場合、湛水馴化処理をしなくても十分に高い生残率を示すことがわかりました。カユプテの育苗と植栽の方法については、JIFPRO の森林再生テクニカルノート (<https://jifpro.or.jp/tpps/category/conditions/conditions-cat05/>) に掲載されています。

このカユプテの他にも、湛水馴化処理をしなくても十分に高い活着率を示す樹種がありました。タイ南部の湿地に自生するフトモモ科の *Syzygium cinereum* (ワーナー)、*Syzygium* sp. (チャマオナム) は、何度か植栽試験を行いました。通常かん水苗と湛水馴化処理苗の両方とも 1 年後に 70%以上の十分な生残率を示しました。これらの樹種は、湛水馴化処理は必要ないのですが、湛水状態で育苗した方が水やりの手間が省けて、苗木が乾燥で枯れたりするリスクも少ないので、湛水馴化処理を行う方が良いと思います。

湛水馴化処理をすると湿地植栽での生残率が高まる樹種が見つかりました。*Syzygium oblatum* (ワーナム) と *Syzygium kunstrelii* (ワーヒン) は湛水馴化処理により植栽 3 年半後の苗木の生残率が 10~20 ポイント上がり、70%以上になりました。これらは湿地造林に適用可能な候補樹種です。カユプテについては、すでにタイ南部の湿地荒廃地に見本林を造成していますが、2019 年 10 月に、ワーナー、ワーナム、ワーヒンの見本林を造成するために湛水馴化処理苗を植栽しました。しかし、残念ながら、その後 Covid-19 パンデミックの影響で下刈り等の手入れや調査ができなくなってしまいました。

この 2 樹種の他にも湛水馴化処理をすると生残率が高まる樹種が自生種の中からいくつか見つかっています。しかし、湛水馴化処理をしても十分な生残率ではなく、また再現性を十分にチェックできていないため、低酸素以外の環境ストレスや植栽時に苗木が受けるストレスへの対処法を考えながら、地道に実証試験を続けて行く必要があります。また、湛水馴化処理効果がない樹種や、湿地に自生する樹種であっても湛水馴化処理中に弱ったり枯れたりする樹種がありました。これらについては、湛水馴化処理とは別の方法を考えなくてはなりません。

多様な森づくりのためには、湿地に自生する樹種を用いて湛水馴化処理の効果を調べながら、あらたな造林手法を考案していく必要があります。

造林コストと事業体レベルの収益

オイルパームが植わっている 10,000ha の開発地を再湛水して湿地に戻し、カユプテを用いて森林を再生し、この森林を伐採して売却して持続的に経営する事業モデルのコストと収益 (円/ha・年) を計算しました。10,000 ha のうち 2,500 ha を除地として 7,500 ha を毎年 500 ha ずつ 15 年かけて植える想定します。10,000 本/ha の密度で植栽し、15 年後の伐採時に 170 m³ の幹材積 (133 ton の幹・枝・葉) が得られると想定しました。第一期 (15 年間) は森林造成が完了するまで、伐採・利用はしません。第二期 (16 年目以降) は造成された森林を伐採し、再植栽して持続的に利用します。粗利は第二期のコストを売上高から差し引いて算出しました。

15 年目までは ha あたり年間 1 万円のコストがかかり、収入がありません。この初期の投資が事業上の問題となりますが、温暖化防止策の 1 つとして公的資金を得ることが可能かもしれません。16 年目以降は造成した森林の持続的な経営により、ha あたり年間 8 万円近くの売り上げが見込まれ、粗利は ha あたり年間 7 万円弱と計算されました。排水した湿地でのオイルパーム農園経営は、生産性が高い場合は、これよりもやや多い収益が想定されます。しかし排水した湿地からの二酸化炭素放出量は大きく、湛水したカユプテ林の経営により排出削減効果が 53.5 t CO₂/ha・年と想定されますので、排出削減クレジットの収入が事業体に還元されれば、十分に経営は成り立つと考えています。

【10,000 ha の事業モデルのコストと収益 (円/ha・年)】

工程	第一期 (15 年目 まで)	第二期 (16 年目 以降)	売上高 (16 年目 以降)	粗利 (16 年目 以降)
オイルパーム伐採	2,731	-		
育苗	4,228	4,228		
植栽	2,932	2,932		
伐採・搬出	-	2,641		
枝払い・剥皮	-	305		
総計	9,891	10,106	78,896	68,790

新しい技術を導入する際に気をつけなければならないこと

荒廃地は農業などの土地利用ができずに放棄された土地ですので、樹木の生育にとって大変厳しい環境であり、通常の造林技術をそのまま適用することができません。どんな場所の環境ストレスにも耐えて植えることができ成長できるスーパーツリーのようなものはありません。また、頑健な良い苗木を作るとい以外に、どんな環境にも対応できるスーパー造林技術もありません。

荒廃地の森林再生を目指すのであれば、まずその荒廃地の環境を調べ、植栽した樹木が受けるであろう環境ストレスを明らかにし、その環境ストレスに対処できる能力をもった樹種を、試験植栽をしつつ選び出し、環境ストレスに対応する育苗法や植栽法を考えて試していく必要があります。荒廃地になる前の森林に自生していた樹種を植えれば良いというものではありませんし、他の場所で成功した樹種や育苗法・植栽法を導入しても、必ずしもうまくいくとは限りません。森林を再生したい場所の環境や、植えたい樹種の特性を、試行錯誤しながら試験植栽を行って把握していく必要があります。

水があるので乾燥地よりも簡単なのではないかと思われがちですが、湛水によって生じる低酸素ストレスは樹木にとって大変厳しいものであり、湿地造林は特に難しいのです。立地環境の違いにより、上で例示したような候補樹種でも十分な生残率が得られない可能性がありますので、対象とする湿地での試験植栽は必須です。泥炭湿地荒廃地の森林再生は、二酸化炭素排出削減の効果が大変大きいので重要です。自ら造林技術を開発するつもりで地道に取り組みましよう。