

熱帯荒廃地の環境ストレスと樹木の反応

小島克己¹、丹下健²、益守真也²、甲斐健太郎^{2,4}、櫃間岳²、松根健二²、橋本徹²、山ノ下卓²、大沢裕樹²、則定真利子¹、八木久義²、佐々木恵彦³

(¹ 東京大学・アジア生物資源環境研究センター、² 東京大学・大学院農学生命科学研究科、³ 日本大学・生物資源科学部、⁴ 現在：海外経済協力基金)

Environmental stresses and stress responses of planted trees in degraded land in the tropics

Katsumi KOJIMA¹, Takeshi TANGE², Masaya MASUMORI², Kentaro KAI^{2,4}, Gaku HITSUMA², Kenji MATSUNE², Toru HASHIMOTO², Takashi YAMANOSHITA², Hiroki OSAWA², Mariko NORISADA¹, Hisayoshi YAGI², Satohiko SASAKI³

¹Asian Natural Environmental Science Center, The University of Tokyo,

²Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,

³College of Bioresource Sciences, Nihon University,

⁴present address: The Overseas Economic Cooperation Fund

摘 要

熱帯林が破壊された後、森林が再生せずに放置された荒廃地が東南アジアでは非常に多い。森林が再生しない理由は様々だが、土壌条件に起因する場合が多い。ここでは、インドネシア・東カリマンタン州とタイ・ナラチワ県での研究プロジェクトの成果を中心に、樹木の生育を妨げる荒廃地の環境ストレスと樹木の反応について解説し、荒廃地に森林を再生させるための研究の展望を述べる。

キーワード：熱帯、荒廃地、環境ストレス、ストレス応答、森林再生

1. はじめに

熱帯地域の森林減少の主な原因は農地開発である。一時的な農地開発である焼畑もまだ広く行われているが、林業あるいは農業のプランテーションへの転換やその開発の失敗による森林の減少が顕著である¹⁾。十分に休閑期間をおいた焼畑の場合は、焼畑放棄後に木が育ち、急速に森林の地上部現存量が増加する(図1)。我々の調べたインドネシア東カリマンタン州スブル地区の焼畑跡地の二次林の例では、放棄後1年で8~9 t ha⁻¹、10年で45~55 t ha⁻¹と非常に大きい地上部現存量があった。森林を焼き払うことによる二酸化炭素の気中への放出の影響は大きいですが、焼畑放棄後すぐに炭素の貯蔵量が増加するため、炭素吸収源としての二次林の能力は大きいといえる。

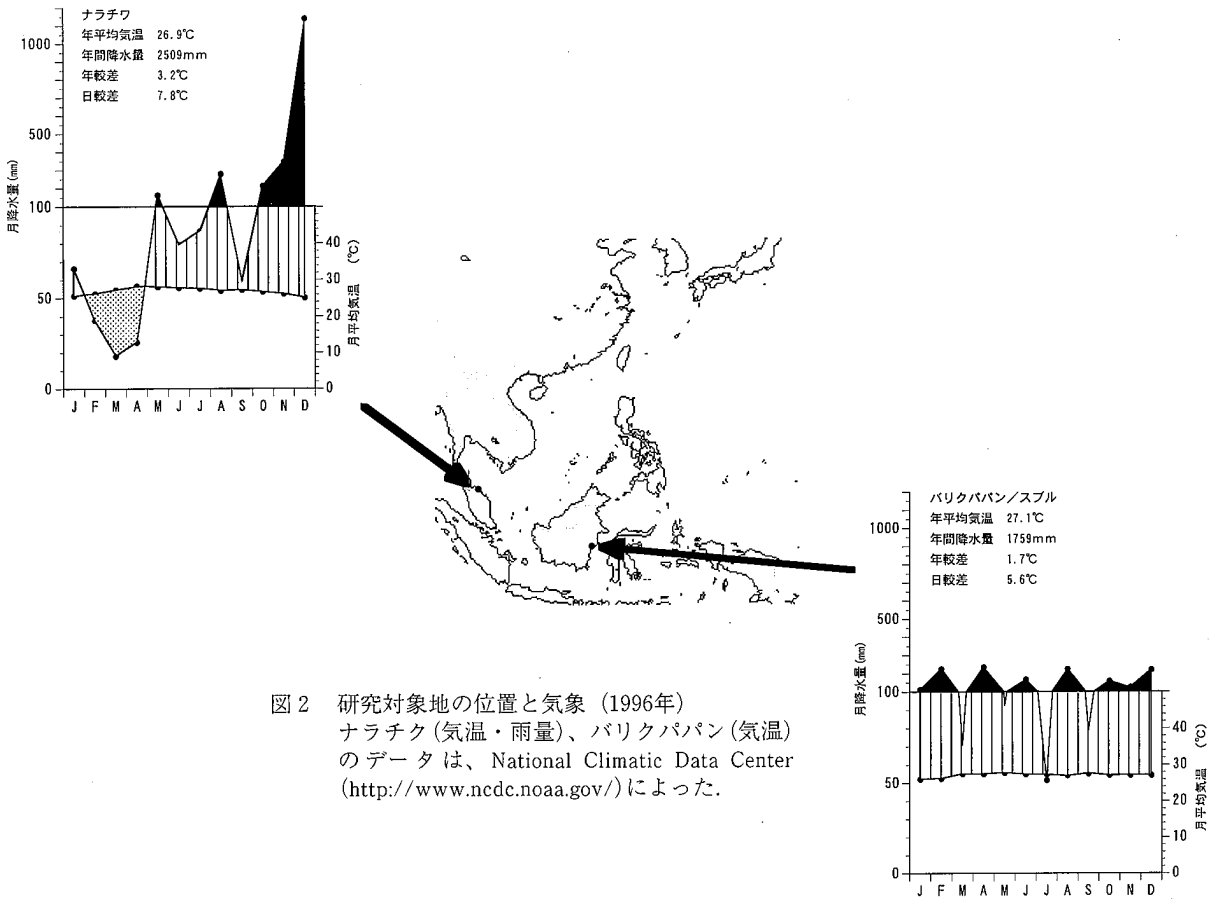
しかし、休閑期間の短い焼畑が繰り返し行われた場合は、森林に戻らずに草地になることがある。農業開発に失敗した跡地や焼畑跡地が、炭素貯蔵量の非常に小さい草原になった場合は、炭素収支の上で大きな問題となる。こういう場所は森林に戻さなくてはならない。それともなるべく現存量(炭素貯蔵量)が大きくなるような森林にすべき

である。さらにできれば、森林状態を維持したままその森林から収穫物を得て、森林を破壊されにくくしたい。我々はインドネシア・東カリマンタン州スブルとタイ・ナラチワ県において、このような目標をもって研究を進めている。

木が育たない原因はその場所によって異なるが、木を植える前にその原因を特定することは困難である。またある程度原因がわかっているにもかかわらず、造林樹種の特性が明らかでないことが多く、適切な造林樹種を選択が困難である。我々は、その樹種が



図1 焼畑放棄後2年後の二次林(インドネシア東カリマンタン州スブル)



どのような環境に生えているかといった生態的特性を考慮しながら、なるべく多くの樹種を造林し、育った木が環境ストレスに対しどのように反応するかといった生理的特性を調べている。それにより生育を阻害する要因を明らかにし、適応力のある樹種を選び、繰り返し造林を行っている。時にはあえて生態的特性からは造林が困難であると思われる樹種も植えている。

造林木の生育を制限する環境要因をここでは環境ストレスというが、実際のフィールドでは、乾燥ストレスや窒素欠乏ストレスといった単一の環境ストレスによって造林木の生育が制限されているわけではなく、様々な環境ストレスが複合して造林木の生育を制限している。主要な環境ストレスについてはコントロールされた環境で栽培実験を行いつつ、フィールドにおいても環境傾度を利用した造林実験を行っている。栽培実験による樹木の環境ストレス耐性機構の解明(環境ストレスに対する樹木の反応を知ること)と、フィールドでの樹木の生育を制限する要因の解明(植えた樹木の反応からその土地の環境ストレスを知ること)を同時に進めていくことが、荒廃地に森林を再生する方法の確立につながる。



図3 山火事の被害を受けてから15年後の林
(インドネシア・東カリマンタン州スブル)

2. 赤色酸性土壌地域での森林再生 (インドネシア・東カリマンタン州スブル)

我々は、典型的な焼畑拡大地域であるインドネシア東カリマンタン州(ボルネオ島)のスブル地区において、東南アジア熱帯降雨林の超高木層を形成するフタバガキ科樹木あるいは早成樹を用いた森林再生技術の開発に関する研究を、住友林業(株)と共同で行っている^{2),3)}(図2)。この地区では住友林業(株)の合弁会社が1970年代に択



図4 焼畑後にできたチガヤの草原 (インドネシア・東カリマンタン州スブル)



図6 二次林を伐採して作った試験区のフタバガキ科の稚樹 (インドネシア・東カリマンタン州スブル)

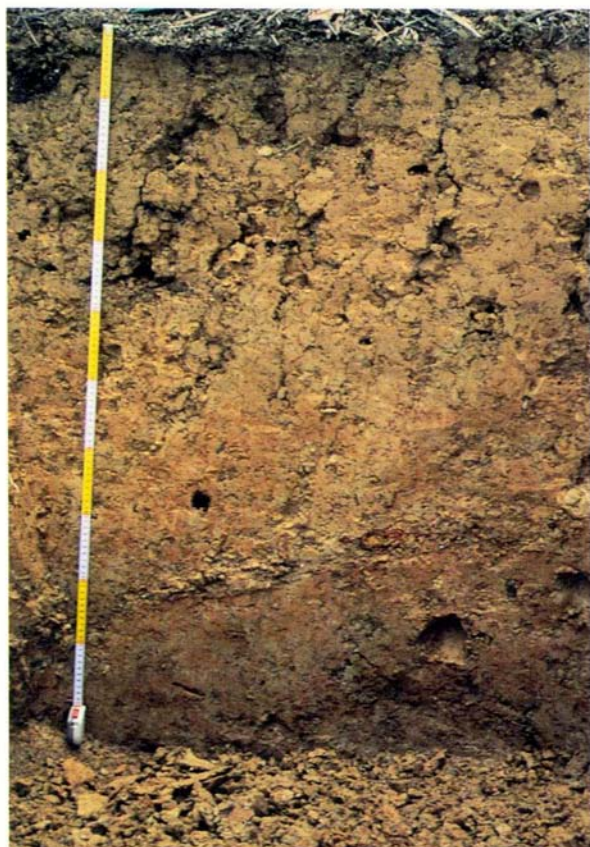


図5 焼畑後に成立した二次林の土壌断面 (インドネシア・東カリマンタン州スブル)

伐施業を行っていたが、1982～1983年の大森林火災によりフタバガキ科の優占する熱帯雨林は焼失し、尾根にわずかにフタバガキ科の母樹が残存した二次林になっている (図3)。この森林火災の後、林区権 (林業経営を行う権利) はインドネシア政府に返還された。その後、残存したフタバガキ科樹木やウリン (*Eusideroxylon zwageri* Teijsm. et Bin.) の不法伐採や、スブル地区の住民や移住政策によりできた村落の住民による焼畑が行われ、

一部はチガヤ (*Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv) の草原になっている (図4)。隣接地には1990年以降に造林が開始された10万ヘクタールの大規模な造林地がある。この地区には、主に第三紀の堆積岩を母材とする赤色の酸性土壌が分布している (図5)。貧栄養で、透水性・通気性が悪い土壌ではあるが、樹木の生育を大きく阻害するような問題のある土壌とはいえない。

山火事跡地や焼畑跡地は放置すれば二次林になり、長い年月がたてばフタバガキ科の稚樹が侵入し、もとの熱帯雨林にもどるかもしれない。しかし、スブル地区のように大面積が焼失し、フタバガキ科の母樹が周囲になくなってしまった場合には、もとの熱帯雨林にもどることはない。フタバガキ科の稚樹が発生している場所では稚樹の成長を促進させるような手入れを行い、稚樹のない二次林や草原では苗を植えて、フタバガキ科樹木の優占する炭素貯蔵量の大きい森林を再生を図るべきである。

アジア熱帯地域に主に分布する高木性のフタバガキ科樹木は、15属520種以上あり、その生態的特性や造林をする上での特性がわかっていない種がほとんどである。森林が減少し、種子の入手も難しくなっており、これらの特性を明らかにすることが困難になりつつある。いくつかの樹種の造林試験の結果から、フタバガキ科樹木を裸地に植えるのは難しく林内に植えるべきだという提案がこれまでされてきた。また、露天の苗畑で苗を作るのは難しく、寒冷紗による被陰下あるいは樹林内の苗畑で苗を作るべきだという提案もされている。しかしこれがすべてのフタバガキ科樹木についてあてはまるとは限らない。

またこれらの提案が、フタバガキ科樹木は強光ストレスに弱いというように曲解されることがある。裸地と林内あるいは露天下と被陰下の苗畑で

は、光の強さのほか光の質や気温、地温、湿度、土壌水分など多くの環境要因が異なる。このうち最も植物の生育への影響が大きいのは光の量の違いであるが、フィールドにおいて光の量のみを取り出して造林への影響を調べることは非常に難しい。

上木が枯れたり伐られたりした場合のギャップの形成により、稚樹の環境は激変する。これにより稚樹が死んだり、成長が促進されたりする。環境の変化に対する稚樹の反応を調べることはそのまま天然更新施業技術の開発のための知見となる。我々はスプル地区においてフタバガキ科の一種である *Hopea* sp. の稚樹が密生している二次林に、*Hopea* sp. の稚樹以外のすべての木を伐採した処理区や低木のみを伐採した処理区を設け、成長を調べた（図6）。この稚樹は、環境の変化に適応し、明るいとところほど成長がよくなった。この環境変化のうち最も成長への影響が大きいのは光環境であるが、土壌水分環境などの変化も成長に影響を与える。この処理区の大きさは20m四方程度だが、ギャップの大きさが大きくなれば、光以外の環境の変化の影響が、相対的に大きくなるかもしれない。

フィールドでの観察と測定は、膨大な労力がかかるが、種子が手に入れば、いろいろな種の苗を育て、それを材料に苗畑である程度環境を制御して実験することが可能である。Sasaki and Mori⁴⁾ は、フタバガキ科4種 (*Hopea helferi* (Dyer) Brandis, *Vatica odorata* (Griffith) Sym., *Dipterocarpus oblongifolius* Blume, *Shorea assamica* Dyer) のポット苗を露天光下と、露天光の85%、73%、53%、32%の相対照度の庇陰ネット下で育て、*Vatica odorata* と *Shorea assamica* は53%の庇陰ネット下、*Hopea helferi* と *Shorea assamica* は32%の庇陰ネット下で地上部の成長（乾燥重量）が最大となるという結果を得た。地下部の成長は4種とも53%の庇陰ネット下で最大であった。相対照度53%あるいは32%という光環境は、通常のフタバガキ科樹木の苗畑よりもかなり明るい。このとき、庇陰ネット下の気温と湿度は露天光下と大きな違いはなかったが、相対照度が大きい処理区ほどポット内の土壌温度が高かったので、相対照度73%以上の処理区での苗の成長抑制の最大の原因は、直達光の輻射熱による土壌や植物体の温度上昇であると著者らは推測している。

苗畑で十分に水分を与え、露天下で育てた場合と寒冷紗で被陰して育てた場合のフタバガキ科 *Shorea* 属7種 (*Shorea leprosula* Miq., *Shorea mecistopteryx* Ridley, *Shorea pauciflora* King, *Shorea*

pinanga R. Scheffer, *Shorea seminis* (de Vriese) v. Slooten, *Shorea stenoptera* Burck) のポット苗の成長を比べると、露天下で成長がよい種 (*Shorea leprosula*) や被陰下で成長がよい種 (*Shorea stenoptera*) があつた。また苗畑に直に植えた *Shorea* 属の稚樹 (*Shorea leprosula*, *Shorea pauciflora*, *Shorea seminis*, *Shorea ovalis* (Korth.) Blume) を用いて水分生理状態を調べたところ、気孔コンダクタンス（気孔の開き具合）に種間差があることがわかった。*Shorea leprosula* は、大気飽差（空気の乾き具合）が大きくなっても比較的気孔を開いていることが多く、*Shorea ovalis* は、大気飽差が小さいときのみ気孔が開いていた。ほかの2種の気孔コンダクタンスはいつも小さかった。*Shorea leprosula* は、他の3種に比べ樹液流速（幹を流れる水の速さ）が大きく、葉への水の供給が容易であることが気孔の開きやすさに関係していると考えられた。このように同じ *Shorea* 属の中にも、造林を行う上で重要な性質に違いがあり、環境ストレスへの適応幅を種ごとに調べる必要がある。

これまで得られた造林の結果では、*Shorea leprosula* は裸地に植栽したときの成長が比較的良好で、裸地の環境に適応する仕組みが発達していると考えられる。Sholes et al.⁵⁾ は、林内や人工の被陰下、露天下に育ったフタバガキ科4種 (*Shorea leprosula*, *Dryobalanops lanceolata* Burck, *Vatica oblongifolia* Hook.f., *Hopea nervosa* King) の稚樹を携帯式の光合成測定装置とクロロフィル蛍光測定装置を用いて測定し、*Shorea leprosula* の露天下の稚樹は、ほかの3種の稚樹に比べ露天下の強い光を光合成に利用する能力が大きいことを示した。このような裸地への造林に適している種が他にもあるかもしれない。

被陰下から露天下への環境の急激な変化に対して、*Shorea* 属5種 (*Shorea smithiana* Sym., *Shorea mecistopteryx*, *Shorea johorensis* Foxw., *Shorea ovalis*, *Shorea curtisii* Dyer ex King) の苗は、葉が日焼けを起こしたり落ちたりしたが、新たな葉が展開し、成長することができた。この時の苗は根が十分に張っており、十分に灌水を行った。造林に用いる苗は通常小さいビニルポットで育てられており、また、透水性や通気性といった培土の性質が悪いことがあり、根が十分に張っていない場合が多い。根の発達を制御した上で環境ストレスへの反応の種間差を明らかにすることが、赤色酸性土壌地域での森林再生技術の確立に寄与するための重要な課題であろう。



図7 排水により農地になった泥炭湿地（奥）と砂地（手前）（タイ・ナラチワ県）



図9 泥炭湿地の周辺の砂地（タイ・ナラチワ県）



図8 パイライトを含む海成粘土層（タイ・ナラチワ県）

3. 熱帯低湿地での森林再生(タイ・ナラチワ)

東南アジアにはインドネシアのスマトラ島やボルネオ島、ニューギニア島を中心に広大な面積の低湿地がある。熱帯の低湿地は農業の適地ではなく、近年まで開発が行われておらず森林として維持されていた。こういった場所で排水を主とした農業土木工事により農地が開発されているが、灌漑施設の未整備により、十分な水位制御が行われていない場所が多い。その場合、泥炭土壌そのものの問題（強酸性、貧栄養、物理性の不良）のほ



図10 放置された泥炭湿地に成立した*Melaleuca cajuputi*の二次林（タイ・ナラチワ県）

かに、泥炭層表層の養分の流亡、泥炭の分解による地盤沈下、海成粘土層の露出による酸性硫酸塩土壌の生成といった問題のため、作物は育たず、放置されてしまう。通常大規模な開発であり周囲からの種子散布も限られており、また滞水、貧栄養、強酸性等の土壌に起因するきびしいストレスのため、放置後に侵入する植物は限られている。森林に戻らず、草地や裸地のままになっている場所も多い。

我々は、タイ南部のナラチワ県の沿岸部で、荒廃した低湿地に森林を再生させる方法と環境ストレス耐性樹種の耐性機構、森林再生による環境修復の過程に関する研究を文部省の新プログラム研究により行っている⁶⁾（図2）。この湿地には淡水性の湿地林が成立していたが、タイ政府の移住政策をとまなう農業開発プロジェクトにより、排水工事が行われ農地が造成された（図7）。

熱帯の泥炭は、難分解性のリグニンの含有率が高い木質泥炭であり、貧栄養である。銅やホウ素などの微量元素が欠乏し、イネなどの作物の栽培は失敗した。また水位制御が行われていないため、雨季の滞水・冠水が作物生育の障害となる。乾季



図11 泥炭湿地で採取されるリードグラス
(タイ・ナラチワ県)

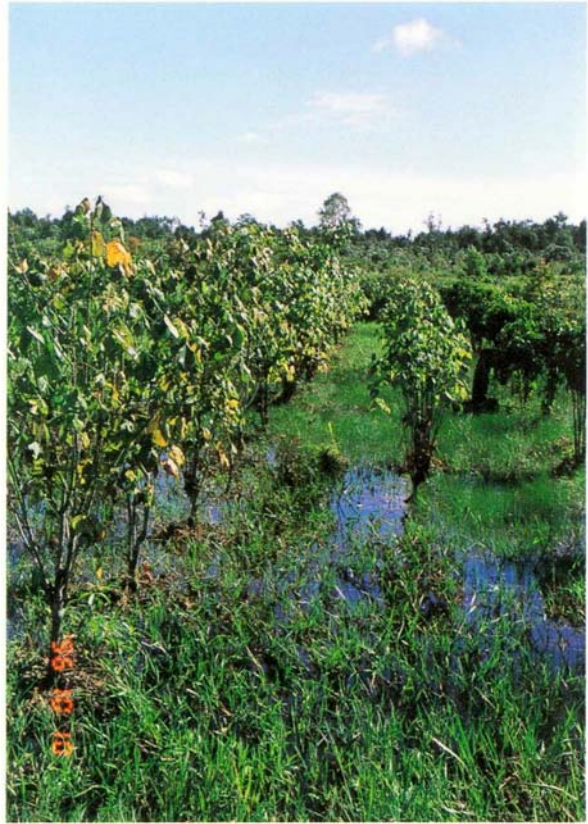


図12 泥炭湿地の造林試験
(タイ・ナラチワ県)

の野火も頻繁におこり、耐火性のない樹木の侵入を妨げている。淡水湿地林が成立し泥炭が蓄積する前は、汽水のマングローブ林であったと考えられ、泥炭の下にはマングローブ林下で生成した海成粘土層がある。この海成粘土層は酸化すると硫酸を生成するパイライト (FeS_2) を含んでいる。排水によって酸素にさらされるようになると泥炭の分解消失が進み、海成粘土層が露出し、パイライトの酸化も進むことになる。その結果、植物の生育が困難な酸性硫酸塩土壌が生成される (図8)。

また湿地の周囲には地表面の高さが湿地より1～2m高い砂地がある。この砂地の未熟土壌は、非常に保肥力や保水力が乏しい土壌である。ここでも農地開発が行われたが、畑地作物は育たず、カシューナッツ (*Anacardium occidentale* L.) やヤシ類といった多年生作物の栽培も失敗している (図9)。また、ここでも野火が頻繁におこり、草地や裸地になっているところがある。この地域の年降水量は約2500mmであるが、雨季と乾季が明瞭で (図2)、雨季には砂地も冠水することがあり、乾季には地面が非常に乾燥する。このため冠水や乾燥のストレスも問題となる。

農地開発に失敗し放置された場所の多くは、泥炭湿地の場合にはフトモモ科の樹木である *Melaleuca cajuputi* Powell がほとんどを占める二次林となっている (図10)。この種の滞水ストレスに対する耐性は非常に高い。通常の植物は、滞水環境下では根が酸素不足になり呼吸が制限されるため、エネルギー欠乏状態になる。*Melaleuca cajuputi* はアルコール発酵系の代謝を高めることによりエネルギーを獲得する代謝的適応と、通気組織を発達させて酸素を根に供給する形態的適応を滞水ストレス下で行っており、これがこの種の高い滞水ストレス耐性に関与していることが考えられた。酸性土壌での植物生育の制限要因の一つであるアルミニウムの過剰に対しても、*Melaleuca cajuputi* は耐性が高い⁷⁾。しかし、*Melaleuca cajuputi* の地元での経済的価値は低く、野火の後の湿地に発生するイグサ科の草本であるリードグラス (*Lepironia articulata* (Retz.) Domin) の採取を目的に、火入れされることがある (図11)。火入れや野火のため、この湿地の *Melaleuca cajuputi* の林は大きくなれない。*Melaleuca cajuputi* 林から収穫物を得る方法を見つけ火入れされないようにするため、*Melaleuca cajuputi* の経済的価値を高める



図13 砂地に植えた*Acacia mangium*とフタバガキ科樹木
(タイ・ナラチワ県)

ための利用方法の開発が必要である。

タイ王室森林局では、荒廃した泥炭湿地をもとの湿地林にもどす目的で、もとの湿地林の構成樹種を中心に植栽試験を行っている。これまでに35種以上の植栽試験を行っているが、成長に大きな種間差があらわれている。このなかでも*Macaranga pruinosa* (Miq.) M. A.や、*Sterculia bicolor* Mast., *Baccaurea bracteata* M.A., *Syzygium oblatum* (Roxb.) A.M. Cowan & J.M. Cowan, *Syzygium kunstleri* (King) K.N. Bahadur & R.C. Gaurの成長が良かった。外来種の*Acacia mangium* Willd.の成長も非常に良かったが、湿地では深く根を張ることができず、倒れてしまう。周囲の泥炭土壌を集めて高さ30cmほどのマウンドをつくり、滞水する期間を短くしてストレスを回避した場合に、生存率が高くなり成長が良かった(図12)。無処理の対照区と比べてその効果が大きく成長差にあらわれる種と成長差が小さい種があった。冠水していない乾季と冠水している雨季に、成長差の小さい*Syzygium oblatum*と成長差の大きい*Syzygium kunstleri*の植栽後5年の木について、対照区とマウンド区の個体の光合成や蒸散、水ポテンシャルを測定したが、両種とも両区間および雨季と乾季で明らかな差はみられなかった。植栽後数年の間

の対照区とマウンド区の成長差が大きく、現在の樹高成長量には両区間で差がないことから、苗木が小さいときの滞水ストレスが成長に大きく影響するといえる。

砂地にはフタバガキ科樹木等の在来種と外来種であるマメ科の*Acacia mangium*を植栽して成長を調べている。この地域の粘土が混じった砂地では、*Shorea roxburghii* G. Don、*Hopea odorata* Roxb., *Dipterocarpus chartaceus* Sym., *Anisoptera* sp.などの用材として価値のあるフタバガキ科の樹木が分布している。タイ・ミャンマーの大陸部に分布の中心を持つこれらのフタバガキ科の種群は、フタバガキ科の中では比較的低温、乾燥等の環境ストレス耐性をもつことが示唆されている⁸⁾。我々は、前節で述べたようなマレーシア・インドネシア島嶼部に分布の中心をもつフタバガキ科の種群とこれらのフタバガキ科の種群との環境ストレス耐性の違いを比較検証するため、タイ・ミャンマーの大陸部に分布の中心を持つ*Shorea roxburghii*, *Hopea odorata*, *Dipterocarpus chartaceus*, *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Donの苗を1994年に砂地に植え、成長を調べた。植栽後3カ月までの活着率(根付いた割合)は高かったが、その後の乾季に多くの苗が死んだり、枯れ下がったりした。1995年、1996年、1997年にも、これらに加えて別のいくつかの種の苗を植えたが、1994年に比べ活着率が低かった。乾季の雨の降り方、乾燥の仕方には年変動があり、これが活着率に影響したものと考えられる。フタバガキ科の林を作るためには、乾季の環境ストレスに耐える造林法が必要であると考えられる。

*Acacia mangium*は、活着率が高く、植栽3年後の現在で樹高が8~10mになっており、砂地での森林再生に有効な樹種であることがわかった(図13)。ただし、場所によっては土壌表層に非常に堅い盤層が存在し、*Acacia mangium*の成長が悪くなっている。間伐(間引き)を想定していないため、植栽間隔は通常2m×3m以上であるが、我々は林冠の閉鎖による林内環境の改善の効果を考えて、植栽間隔を1m×2mとした。このため植栽後2年で林冠が閉鎖し、林床の環境が明らかに裸地と異なるようになった。林床にはリター(落葉落枝)が供給され、表層の土壌環境が改善される。また裸地と比べて林床の地温の日較差が小さい。*Acacia mangium*の列間に同時に植えたフタバガキ科(*Shorea roxburghii*, *Hopea odorata*, *Dipterocarpus alatus*, *Dipterocarpus chartaceus*)の苗は大きいものでもまだ樹高4~5mであるが、*Acacia mangium*と混植しなかった露天下にある苗に

比べて、林冠の閉鎖後に成長が良くなってきている。砂地の裸地の環境は、フタバガキ科の樹木の成長には非常に厳しい環境であるが、環境ストレス耐性の高い種を選び、この環境でも生育可能な *Acacia mangium* を先に造林して、その林内に植えることにより、フタバガキ科の林を作ることが可能であると考えている。*Acacia mangium* の林床では、どの環境ストレスが改善されてフタバガキ科の苗の成長が良くなったのかについては、現在研究を進めているが、葉や根が高温になることによるストレスが改善されることが最も大きいと考えている。また雨季の冠水による根の障害も問題である。これらのストレスに対するフタバガキ科樹木の反応を調べ、種の選択あるいは育苗や植栽の方法の改善に活かしていく必要がある。

Acacia mangium などのマメ科の樹木は、根粒菌との共生によって大気中の窒素を吸収できるため、貧栄養な砂地の森林再生に有望である。これまでの栽培実験の結果から、低pHや低リン酸濃度、高アルミニウム濃度に対しても耐性を示す種があり、強酸性土壌への造林樹種としても期待できる。マメ科樹木の *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen は、アルミニウムによる成長の阻害が小さく、高アルミニウム濃度に反応して、クエン酸を根から放出することがわかった⁹⁾。土壌中の高濃度のアルミニウムは植物に毒性を示すが、根から放出されたクエン酸はアルミニウムと錯体を形成し、根からのアルミニウムの吸収を抑制する働きがあると考えられる。酸性硫酸塩土壌のように、森林があったときと大きく違った土壌条件にある荒廃地では、樹種選択の幅が狭いが、環境ストレスと樹種の性質を把握することにより、森林再生が可能になるだろう。

4. おわりに

1996年と1997年の火災により、タイ・ナラチワの *Melaleuca cajuputi* 林の試験地は消失し、1998年の火災により、湿地造林試験地が被害を受けた。1998年の乾季は非常に乾燥し、火災の被害は大面積にわたり、原生林の一部も被害を受けた。1997年から1998年にかけて、インドネシア・東カリマンタン州でも大規模な火災が発生し、試験地も大きな被害を受けた。異常乾燥がこれらの森林火災の原因ではあるが、火元は焼畑や農園の開設に伴う火入れであることが多い。森林があれば何かいいことがあることを地元の人たちにわかりやすく示し、焼畑等の火入れ時に森林への延焼を起こさせないように注意を払う気にさせる努力が必要だろう。

謝 辞

本稿には、東京大学と住友林業（株）の共同研究経費により実施された研究成果および文部省科学研究費補助金（創成的基礎研究、研究代表者佐々木恵彦）により実施された研究成果が含まれている。これらの研究の遂行に際し、住友林業（株）の小林紀之氏、曾田良氏ら関係者の皆さん、P.T.Kutai Timber Indonesia社スブルキャンプのスタッフの皆さん、タイ王室森林局のTanit Nuyim氏、東京大学名誉教授・高井康雄博士、東京農業大学教授・長野敏英博士、東京大学名誉教授・田村三郎博士および東京大学大学院農学生命科学研究科造林学研究室の皆さんのご援助をいただいた。これらの方々にお礼を申し上げます。

文 献

- 1) Food and Agriculture Organization (1993) Forest Resources Assessment 1990 Global Synthesis (FAO Forestry Paper 124). FAO, 46p.
- 2) 小林紀之・曾田良・佐々木恵彦 (1993) 熱帯林の再生について—熱帯林再生実験林プロジェクト. 熱帯林業, 28, 26-36.
- 3) 小林紀之・曾田良・佐々木恵彦・丹下健 (1995) 熱帯林再生への試み. 森林文化研究, 16, 131-142.
- 4) Sasaki, S. and T. Mori (1981) Growth responses of dipterocarp seedlings to light. *The Malaysian Forester*, 44, 319-345.
- 5) Scholes, J. D., M. C. Press and S. W. Zipperlen (1997) Differences in light energy utilisation and dissipation between dipterocarp rain forest tree seedlings. *Oecologia*, 109, 41-48.
- 6) 田村三郎 (1998) 地球環境再生への試み. 研成社, 212p.
- 7) Watanabe, T., M. Osaki and T. Tadano (1997) Response of plants adapted in low pH soils to aluminum. In T. Ando *et al.* (eds.) *Plant nutrition for sustainable food production and environment*. Kluwer, 459-460p.
- 8) Sasaki, S. (1992) Ecology and physiology of Dipterocarpaceae. *Proceedings of International Workshop of Bio-Refor in Tsukuba*, 38-47.
- 9) Osawa, H., K. Kojima and S. Sasaki (1997) Excretion of citrate as an aluminium-tolerance mechanism in tropical leguminous trees. In T. Ando *et al.* (eds.) *Plant nutrition for sustainable food production and environment*. Kluwer, 455-456p.