

共生微生物を利用したフタバガキの育苗

菊地 淳一・小川 真

1. はじめに

フタバガキ

東南アジアの熱帯雨林は、フタバガキ科 (Dipterocarpaceae) 樹種が優占しており、フタバガキ混交林と呼ばれている。成木になると樹高 40 m、胸高直径 1 m を越える樹木も、その種子は直径 0.5~4 cm 程度の小さなものにすぎない。熱帯では一般に樹木の成長は速いが、それでもこの小さな種子から、巨大な成木になるまでには、自然条件下では、数百年の時間が必要と推定されている。このフタバガキ科樹木は東南アジア熱帯から輸出される材木の 80% 程度を占めており、林業的に重要な樹種である¹⁾。日本では合板として多く輸入されてきた。これまでに伐採等により、東南アジアの熱帯雨林は急速に減少してきた。例えばインドネシアやマレーシアでは 1980 年代の 10 年間にそれぞれ 1,200 万 ha, 400 万 ha (年平均 1~2%) の森林が減少したと推定されている²⁾。私達が調査を行なっているインドネシア、スマトラ島中部のフタバガキ混交林も、すでに択伐された後で、感動するような巨木はもう残っていない。直径 2 m 近い切り株から、昔（ほんの 10 数年前）のすばらしかった森林を想像しているだけである。さらに伐採だけではなく、その後の盗伐や農民などによるゴムの木の植栽、または産業造林（劣化した森林にアカシア等の早成樹種を植栽）やオイルヤシ等のプランテーションのために、現在もフタバガキ混交林は急速に減少している。このようなフタバガキ混交林の減少を防ぐためには、植林によるフタバガキ林の再生が必要である。しかし、フタバガキ科樹種は早成樹に比べて、植林が困難なのでこれまであまり植林されてきていない。解決すべき問題点は

KIKUCHI, Junichi & OGAWA, Makoto : Growth Promotion of Dipterocarp Seedlings by Symbiotic Microorganisms

関西総合環境センター

結実が不定期（3～6年に一回）なため苗の安定供給が困難であること、生育が遅いこと等である。

共生微生物

全ての樹木の根は菌根菌と呼ばれるかびの仲間と共生している。樹木は光合成によって生産した糖分を菌根菌に供給し、土壤中に広がった菌根菌の菌糸は土壤中の養分や水分を効率的に吸収して樹木に供給する、という共生関係が成立している^{3),4)}。この菌根菌の仲間は、キノコを作る外生菌根菌とキノコを作らない内生菌根菌の2つに分けられる。フタバガキ混交林を構成する樹種の多くは内生菌根性の樹種であるが、フタバガキ科樹種は外生菌根性である。そのため、林内を探すとテングタケ科、ベニタケ科、イグチ科などの外生菌根菌のキノコが見つかる。残念なことに、すぐに虫に食べられたり、腐ったりしてしまうこともあり、見つかるキノコの数は非常に少ない。これらの菌根菌とフタバガキの共生についての研究はまだ少ないが、菌根菌の接種により、フタバガキの苗木の生育が促進されること、明らかになってきた^{5),6),7)}。日本などでは、どこにでも外生菌根性の樹種が生育しているので、菌根菌を特に接種しなくとも、たいていの場合、自然感染により菌根ができる。しかし、熱帯では外生菌根性の主な樹種が伐採されてしまうと、菌根菌もいなくなってしまう。特に裸地化した場所に植林を行なう場合には菌根菌の接種が重要と思われる。

ここではこのような共生微生物を利用したフタバガキの育苗方法について述べる。試験は主にインドネシア、スマトラ島ジャンビ州にあるガジャマダ大学演習林で行った。

この研究は関西電力及び熱帯林再生技術研究組合の援助により行なった。関係各位に深謝の意を表する。また、当社生物環境研究所沖森主任研究員はじめ各位、ガジャマダ大学林学部スタッフの方々に大変お世話になり、心から感謝申し上げる。

2. 苗畑におけるフタバガキの成長と菌根菌の感染

菌根菌にもいろいろな種類があり、フタバガキ混交林内ではテングタケ科、ベニタケ科、イグチ科のキノコが優占しており、数十種のキノコが採取された。これに対して、裸地に造成したフタバガキの苗畑では、これまでのところ *Scleroderma* sp., *Lactarius* sp., *Inocybe* sp. の3種類のキノコしか発生しておらず、林内とは全く異なる菌根菌がフタバガキの苗木には共生していた。特に *Scleroderma* が優占しており、感染していた苗木の8割程度はこの菌によるも



写真 1 菌根菌を接種した苗(右)と接種しなかった苗(左)の成長
(*Parashorea lucida*)。

苗高は接種しなかった苗の 1.5~2 倍程度になった。乾重にするとその差はさらに大きく、3 倍程度であった。接種した苗と接種しなかった苗の苗高差は *P. lucida*, *S. ovalis*, *Shorea* sp. の順で大きく、樹種によって、接種の効果には若干差が見られた。T/R (地上部乾重/地下部乾重) 比をとると、*P. lucida* で接種苗が約 2.5 に対して、無接種の苗では 1.5 と低くなっていた。他の樹種でも接種苗の T/R 比は無接種の苗に比べて高くなっていた。

苗畑でのフタバガキ苗木の感染率を高めるために各苗床に、すでに *Scleroderma* に感染している高さ 1m 位の苗を 2~3 本ずつ植えた (図 1)。また、苗床に水が溜まってポットが嫌気状態になり、根の成長も菌根形成も阻害

のであった。そこで特にこの *Scleroderma* の感染の効果等について調査を行なった。

苗畑では、樹種にもよるが、菌根菌に感染した苗のほうが成長が著しく良くなることが多い (写真 1)。*Parashorea lucida*, *Shorea ovalis*, *Shorea* sp. の 3 種のフタバガキ実生苗を用いて、菌根菌の接種試験を行った結果では、接種 5か月後の時点で、接種した苗の

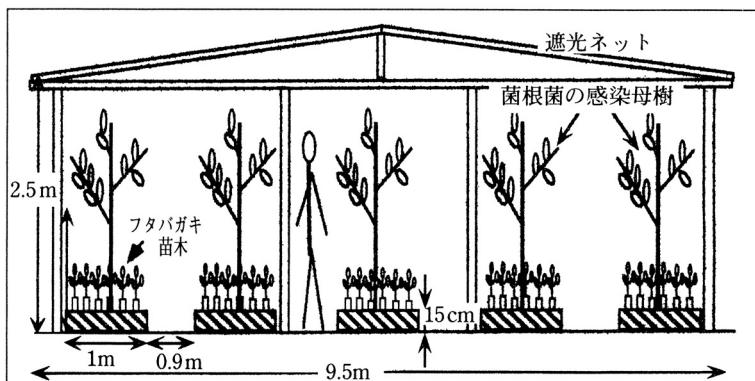


図 1 苗畑のデザイン。菌根菌の感染を促進するために、すでに菌根菌に感染している大きな苗を各苗床に植えた。

されていたので、苗床に 15 cm ほど土を盛り、周りより高くすることで排水をよくした。各苗床の大きさは約 1 m × 5 m で、最初、各苗床毎に高さ約 1 m の屋根を作り、遮光をしていたが、苗床の端部には直射光があたり、成長が遅いものが見られたので、遮光ネットを張った 1 つの大きな屋根で 5 つの苗床をまとめて覆うことで、光条件を均一にした。また屋根が低いと、水やり、苗の移動が非常にやりにくかったので、屋根を 2 m くらいの高さにし、作業性の向上を図った。また苗床の間隔も一輪車が充分に通れる程度あけた。また演習林の土壤は粘土質で、乾燥すると固く石のようになってしまい、根の成長が悪かった。そこでポットの土には、裸地の粘土が一度、雨で流されて、窪地にたまつたものを使用した。この土は、基本的に粘土ではあるが、非常に細かな粒子は洗い流されているためか、乾燥しても固くならず、通気性もよく根の成長も良くなつた。

このように改良した苗床とそれ以前の苗床での菌根菌の感染率を調査した。古い苗床からは約 1 万本の苗について、改良した苗床からは約 5 千本の苗について菌根菌の感染の有無を検査した。古い苗床では 50~70% の感染率であった。*Hopea mengarawan* を除くと新しい苗床では 80~90% 程度の高い感染率が見られた。*H. mengarawan* の感染率は若干低かったが、これはこの樹種が播種後 1 年間は成長が非常に遅く、根量も少ないため感染を受けにくかったためと思われる。

さらに苗の養分吸収について調べるために以下の実験を行つた。

S. parvifolia, *Dryobalanops beccarii*, *S. laevis*, *Shorea* sp. 2 の種子をビニールポットに播種し、半年後に苗木の成長量及び、植物体とポット土壤の元素分析を行つた。苗を大きさ別に区分して樹高と乾重を測定し、菌根の形成頻度を各苗ごとに 0~4 の 5 段階にわけて判定し、その平均値を大きさ別の菌根形成頻度とした。

樹種によって差は見られたが、植物体重量と菌根の形成頻度は比例していく。また同様に、菌根形成頻度の高いものほど T/R 比も高くなる傾向が見られ、多くの菌根が形成された個体ほど成長が良くなつた。リンの濃度については *S. laevis* を除く *Shorea* sp. 2, *D. beccarii*, *S. parvifolia* の 3 種類では菌根形成頻度の高いものほど、濃度も高くなる傾向が見られた。カリウムやマグネシウムの濃度については一定の傾向は見られなかつた。

苗の窒素濃度については、*Shorea* sp. 2 では菌根が多くなるに従い増加した。しかし、他の 3 種類については、窒素濃度は菌根形成の程度とは無関係に大体

一定であった。また、大きな苗では窒素含量は 80 mg 程度と土壤中の全窒素量の約 1 割が植物に吸収されることになるにもかかわらず、ポット土壤中の残窒素量の減少は見られなかった。また *Shorea* sp. 2 では若干はあるが、土壤中の窒素量が増加する傾向が見られた。窒素分のポット培土からの減少が見られなかっただため、自由生活性の窒素固定細菌の関与が考えられた。

3. フタバガキの菌根と窒素固定細菌

空中窒素固定を行なう植物としては、緑肥として用いられることが多いマメ科植物がよく知られている。このような共生的窒素固定以外に、自由生活性の窒素固定細菌が菌根菌による針葉樹の養分吸収の改善に関与している可能性は早くから示唆されていた⁸⁾。その後、マツ等の針葉樹の菌根圏での窒素固定について、少數ながら報告がなされている^{9)~12)}。また自由生活性の窒素固定細菌である *Azospirillum* spp. は作物の根と緩い共生関係を持ち、根圏で窒素固定を行うことにより、作物の生育を改善している^{13,14)}。熱帯では温度が高いため、自由生活性の窒素固定細菌の活性も温帯に比べて高いと思われる。フタバガキの菌根圏での窒素固定について以下のような調査を行った。

3-1. 菌根圏における窒素固定活性と窒素固定細菌について

フタバガキの菌根圏における窒素固定活性を測定し、菌根圏に生育している窒素固定細菌の分離・培養を行った。

苗畠の *S. leprosula* 及び *S. parvifolia*, *S. macroptera* の 1 年生の苗と、伐採道跡の裸地に天然更新していた *S. parvifolia* の稚樹と林内ギャップに生育していた *S. leprosula* の稚樹から菌根、根及び付近の土壤を採取した。苗畠で採取した菌根は白色で、*Scleroderma* sp. によって形成されたものである。サンプルはそれぞれ 5, 6 点づつ採取した。根及び菌根については付着している土を除き、それぞれ 300 mg または 1 g ずつ秤量し、試験管またはバイアルに入れ、乾燥を防ぐため 0.3 ml の煮沸した水を加えた後、密栓した。これらの試料について窒素固定活性をアセチレン還元法¹⁵⁾ を用いて測定した。

S. macroptera, *S. parvifolia* の苗の菌根についてのアセチレン還元活性を図 2 に示した。全体的に菌根圏では根や土壤に比べて活性が高かった。*Scleroderma* sp. 1 種の菌根を使用したが、樹種が異なると活性に差が見られ、*S. leprosula* や *S. parvifolia* では活性が高かったが、*S. macroptera* では低かった。ただし、共生的窒素固定等に比べて活性は非常に低かった。また天然林内に生育している *S. leprosula*, *S. parvifolia* の菌根のアセチレン還元活性は、非

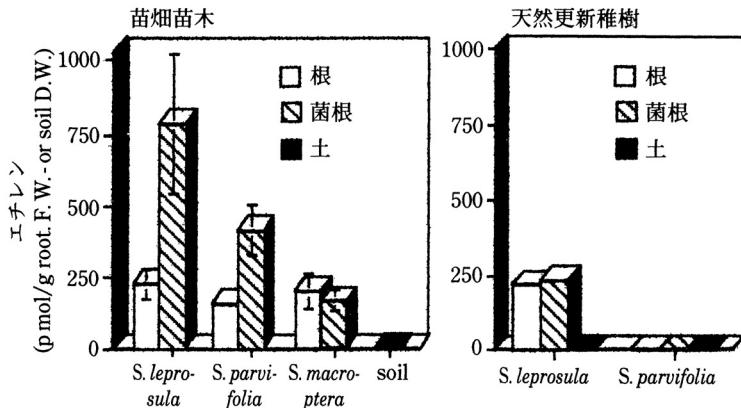


図 2 フタバガキ苗木の菌根圏等の窒素固定活性（アセチレン還元法による）。

常に低かった。この原因としては、同じ樹種でも生育場所によって菌根菌や土壤条件が大きく異なっていたことが挙げられる。

3-2. 窒素固定細菌の分離・培養

菌根圏で窒素固定を行っている窒素固定細菌を分離するために、苗畑より菌根を採集し、液体無窒素培地に入れ、1週間集積培養した。これを適当に希釈後、無窒素培地上で培養し、成長の良いものを単離した。単離した細菌の成長と窒素固定活性を、pHを3～10に調整した無窒素培地を用いて測定した。無窒素液体培地を入れたバイアルに細菌を接種し、気相の10%を高純度アセチレンで置換したのち28℃で振とう培養を行なった。

培地のpHを変えて、分離した窒素固定細菌を培養した結果を図3に示した。分離された多くの系統が酸性でも良く成長していた。1系統は *Azotobacter* sp. と考えられる細菌で、中性から弱アルカリ性でのみ生育が見られた。他の系統は酸性側でも生育しており、*Beijerinckia* spp. と考えられた。コロニーの形状も特有の粘りのあるスライム状をしており、また細胞内に顆粒が見られる、グラム陰性、ペプトン培地では生育しない等の特徴から、分離されたもののはほとんどは *Beijerinckia* に属すると考えられた¹⁶⁾。最適pHでの生育は *Azotobacter* sp. の方が良かったが、アセチレン還元活性は *Beijerinckia* とそれほど変わらなかった。また生育の差と比べて、各系統毎のアセチレン還元活性の差は小さかった。生育の傾向と同様に *Azotobacter* sp. では中性から弱アルカリ性で活性は高かったが、*Beijerinckia* spp. では、酸性側の方が活性が高

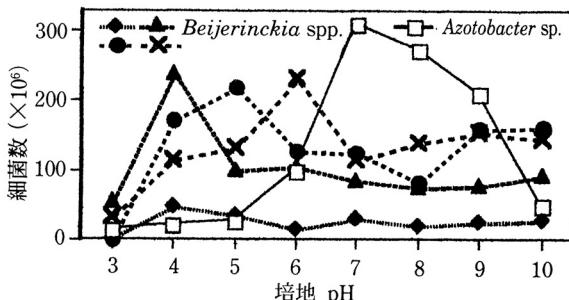


図 3 フタバガキ苗木の菌根圏より分離された窒素固定細菌の成長に対する培地 pH の影響。

かった。しかし *Beijerinckia* はアルカリ性でもある程度のアセチレン還元活性を持っていた。試験を行っているジャンビの土壤は弱酸性であり、また菌根圏から多く分離されてきた細菌が *Beijerinckia* であったことから、接種試験には *Beijerinckia* が適していると考えられた。

3-3. 窒素固定細菌の接種試験

フタバガキ苗木の菌根から分離した窒素固定細菌の、フタバガキ苗木の成長に対する効果を調べるために接種試験を行った。

3-3-1. *S. parvifolia*, *S. macroptera* に対する接種試験

ガラス室において *S. parvifolia*, *S. macroptera* の実生苗を用いて、窒素固定細菌の接種試験を行った。フタバガキの苗は窒素固定細菌の接種の前に菌根の有無を調べ、接種時に菌根についていたものを菌根苗、ついていなかったものを非菌根苗とした。しかし、その後自然感染が生じたため、実験終了時には多くの非菌根苗についても菌根の形成が見られた。菌根は *Scleroderma columnare* によって形成されたものであった。なお、ポット土壤以外からの窒素の流入を避けるために試験はガラス室内で行い、培土には養分含有量が少ないと考えられる浸食地の粘土質土壤を用いた。

Beijerinckia sp. は無窒素液体培地中で数週間培養した。接種に際しては、薄めた培養液に根を直接浸すもの、窒素固定細菌を固定した糞殻燐炭をポット培土にまぜるもの、窒素固定細菌を固定した煉瓦片を培土にまぜるもの、の 3 つの接種法を用い、各処理区 8 本ずつとした。約 5 か月後に苗を採取し、70°C の送風乾燥器で 2 日間乾燥させ、地上部と地下部に分けて乾重量を測定した。乾燥させた植物体について、窒素、カリウム、マグネシウムの含有量を測定した。

また、根圏の細菌数を測定した。総細菌数の計数はペプトン・イーストエキス寒天培地を用いた平板希釈法によって行い、窒素固定細菌の計数は無窒素培地中で3週間培養し、最確値法によって行った。また根圏での窒素固定活性をアセチレン還元法によって測定した。

苗高ではどの処理区でも大きな差は見られず、菌根菌の効果も、窒素固定細菌の効果も見られなかった。乾重でみると菌根苗の方が非菌根苗よりも良好な生育を示しており、これまでの菌根菌接種の効果と一致していた。しかし窒素固定細菌を接種した区と接種しなかった対照区の間に大きな差はなく窒素固定細菌の接種による生育促進効果は見られなかった。

また窒素などの養分濃度については全般的に菌根苗で含有濃度が高い傾向が見られた。しかし、窒素固定細菌の接種の有無による処理区間の差は見られなかった。

成長に対する影響は見られなかったが、根圏の細菌数には変化が見られた。総細菌数は窒素固定細菌を接種した苗では、接種しなかった苗に比べて減少する傾向が見られた。窒素固定細菌数は、細菌を接種した苗では非接種の苗に比べて著しく増加していた。一般の苗畠の菌根圏の窒素固定細菌数よりも顕著に多く、接種により、菌根圏の窒素固定細菌数は増加することが示された。また総細菌数中の窒素固定細菌の占める割合についても、細菌を接種した苗では、接種しなかった苗に比べて高くなっていた。接種の方法により細菌数に差が見られた。接種時に菌根を形成していた菌根苗でも、菌根を形成していないかった非菌根苗でも窒素固定細菌の数はさほど変わらなかったが、これは非菌根苗でもその後の自然感染によって多くの苗が菌根菌に感染したことによると思われる。また、検出された窒素固定細菌はそのコロニーの特徴から *Beijerinckia* sp. と判定され、接種した窒素固定細菌は接種5か月後も生存していた。しかしながらアセチレン還元法によって測定した菌根の窒素固定活性は一部の窒素固定細菌接種苗で高い値が見られたのを除くと全体的に低かった。またサンプル間のばらつきが大きく、一定の傾向は見られなかった。

3-3-2. *Parashorea lucida* に対する接種試験

試験期間をもう少し長くして、窒素固定細菌の *Beijerinckia* sp. 2 系統を用いた *P. lucida* の実生苗に対する接種試験を行った。測定は接種後9か月まで行った。無窒素液体培地で培養した細菌を粗殻燻炭に固定し、この粗殻燻炭をポット土壤に5% (v/v) 混ぜて接種した。9か月後に根を取り、根圏での窒素固定活性を上記と同様の方法を用いて測定した。苗はその後乾燥させ乾重を

測定した後、粉碎し窒素濃度の測定をおこなった。また、接種 5か月後の時点で、ポット土壤の一部を採取し、土壤の窒素固定細菌数等の測定を行った。

P. lucida に *Beijerinckia* sp. 2 系統の接種試験を行った場合の成長経過と各処理区における苗の器官中の窒素濃度を図 4 に示す。接種後 3か月の時点では、細菌の接種による成長差は見られなかった。5か月後の時点で、窒素固定細菌を接種した苗で成長が良くなり、9か月目の終了時点では、対照区に比べてかなり大きくなかった。苗高では窒素固定細菌系統 1 を接種した場合には、菌根苗と非菌根苗で差が見られなかつたが、乾重で比べると、*Beijerinckia* 系統 1、系統 2 のどちらを接種した場合でも、菌根苗の方が大きくなっていた。窒素固定細菌を接種した菌根苗では非菌根苗に比べて地上部/地下部の比が大きくなっていた。根および茎中の窒素濃度は系統 2 を接種した菌根苗を除くとほとんど変わらないが、葉中の窒素濃度は窒素固定細菌を接種した菌根苗で高い傾向が見られた。また系統 2 を接種した菌根苗では生育と同時に、窒素濃度も高くなつており、養分条件がよかつたと考えられた。

また途中経過を調べるために、接種後 5か月の時点でポット土壤の窒素固定細菌数とアセチレン還元活性の測定も行ったが、細菌数は少なく、アセチレン還元活性もほとんど検出されなかつた。接種した窒素固定細菌は根圏では増殖・定着が可能であるが、土壤中ではほとんど増えていないと思われた。

接種後 9か月目に菌根を調べたところ生育の良かった窒素固定細菌を接種した菌根苗では、*Scleroderma* のものとは異なる黄土色の菌根が優占しており、

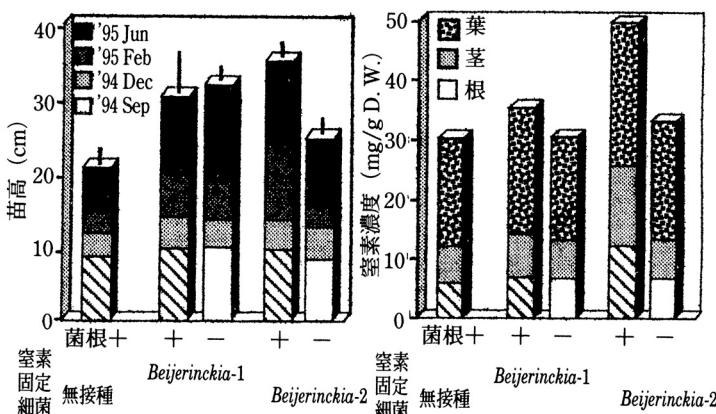


図 4 窒素固定細菌を接種した *Parashorea lucida* の成長と窒素濃度。

菌根菌の種類が変わっていた。非菌根苗では自然感染した *Scleroderma* の菌根が優占していた。これらの菌根のアセチレン還元活性を測定したところ *Scleroderma* の菌根で高くなっていた。逆に菌根菌の種類が変わっていた菌根苗の菌根では低い活性しか検出されなかった。細菌を接種しなかった対照区の苗では活性はそれほど高くなかった。これは恐らく、菌根菌の *Scleroderma* と接種した窒素固定細菌は親和性が高いが、他の菌根菌とは低いために、菌根菌の種類が変化した菌根苗では活性が低くなったと思われる。また菌根苗で菌根菌の種類が変わったのは、窒素固定等によって、根の周りの養分濃度が高くなつたことが影響したと考えられた。

4. 焼き畑跡地への植林試験

1994年1月に樹高5m程度の先駆樹種に覆われた焼き畑跡地に、*S. parvifolia*, *S. macroptera*, *Shorea* sp. 3の3樹種の植林試験を行った。先駆樹種をほとんど残した樹冠閉鎖区と切り払った皆伐区を設けた。植栽の1月前に苗畠で、菌根の有無を調べ、菌根のついた苗とついていない苗を区別して植林した。植林面積は約2haで、計2,500本の苗を植えた。植栽1か月後、5か月後、13か月後、25か月後に樹高と地際直径をそれぞれ測定した。

設定後2年を経過した時点の樹冠閉鎖区の状況は当初と余り変化は見られず、暗いままであった(相対照度で数%~10%程度)。皆伐区では当初非常に明るかったが、先駆樹種が更新てきて幾分暗くなっている(相対照度で40%~10%程度)。苗の周りの先駆樹種の伐採は、苗の測定時にのみ行った。

樹冠閉鎖区では皆伐区に比べて、暗いために、乾燥しにくく、植栽直後の生存率は高くなるのではないかと当初予想された。しかし、暗すぎるためか、植栽直後から枯死率は高く、2年後の時点で約5~7割の苗が枯死した。また樹冠閉鎖区ではイノシシによる被害も多数見られた。皆伐区の2年後の枯死率は3~5割程度であった。樹冠閉鎖区では毎年1定の割合で枯死しているのに対し、皆伐区では枯死率が下がる傾向が見られた。枯死率は菌根のついている苗を植えた場合には低下した。特に皆伐区では7割以上の菌根苗が生き残っている。また生育を停止する苗の割合も菌根のついた苗では低くなつており、植栽時の損傷やその後の乾燥等のダメージに対して強いと考えられた。

植栽後2年目の成長は、樹冠閉鎖区でも若干生育が良くなつた。これは主に、生育の悪い個体がかなり枯死して、生育条件の幾分良い所の個体が生き残ってきたためである。しかし、樹冠閉鎖区では全般に成長が悪く、強度に被陰され

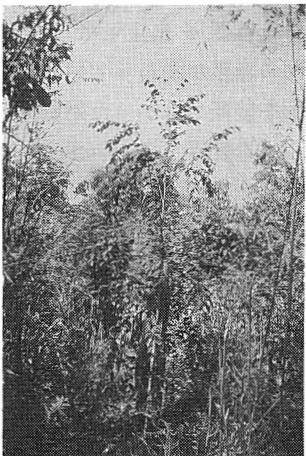


写真2 植栽2年後の *Shorea acuminata* の苗(中央)。周囲は先駆樹種の *Trema* sp. 等の雑木。

ていた。このため樹冠閉鎖区では菌根苗でもついていない苗でも成長の差はほとんど見られなかった。しかし、皆伐区では菌根のついた苗の成長が良く、特に3mを越える高い個体の割合が高くなっていた。

樹種間の差では *S. parvifolia* の成長が最もよく植栽2年後の時点でのものでは4mを越えていた(写真2)。次に *S. macroptera*, *Shorea* sp. の順となった。

植栽2年後の苗の菌根量について調査を行ったところ、菌根についてはその殆どが表層10cmのサンプルに含まれていた。根量も深くなるにつれて急速に減少していた。また樹幹からの水平距離に応じた根量の変化については、樹幹から20cm以内に大部分の根が分布していた。しかし菌根量については、特

に個体が200cmを越えて大きくなると、樹幹から30~40cmの範囲まで多く分布する傾向が見られた。基本的には *S. macroptera*, *S. parvifolia* の両種の菌根量は地上部量と相関していた。ただし相関は *S. macroptera*の方が高かった。菌根量については個体差がかなり見られた。

また成長の良い *S. parvifolia* 及び *S. macroptera* の根元に *Scleroderma* のキノコが発生しており、植栽後も定着しているのが確認できた。

5. おわりに

フタバガキの成長と菌根形成について

苗畠における菌根菌の接種試験から、樹種によって差は見られるものの、菌根形成により、苗の成長は促進された。フタバガキの成長は、マツ等の針葉樹に比べて、非常に早いために、接種の効果が数か月で明確になる。ただし、苗畠等の試験では、一度菌根菌が苗畠に広がってしまうと、未感染状態で苗を保持することが難しいため、結果が明瞭に出ない場合がある。

菌根菌のこのような成長促進効果は、菌根菌により、植物の根だけでは利用できない範囲のリン等の土壤養分を吸収することができるようになったためと考えられる¹⁷⁾。これはT/R比が大きくなることや、苗の元素分析の結果からも

明らかで、菌根のついた苗の方が個体当たりの養分吸収量が多く、また組織中の濃度も樹種により高くなっていた。濃度変化の見られない種は吸収量が増えた分だけ新たに成長していく性質を持っている樹種と考えられる。ただし一部の樹種では菌根菌が感染するまではほとんど生育を止めてしまうようなものも見られ、養分だけではなく、菌根菌が、植物成長制御物質を生産¹⁸⁾して生育を促進している可能性もある。

苗畑では菌根菌の種類としては *Scleroderma* 属が優占することが多く、ジャンビ州の苗畑では 9 割以上の苗がこの菌によって感染していた。この菌根菌はボルネオ島東カリマンタン州の苗畑、またマレーシア中部の苗畑でも優占しており、熱帯に広く分布する種と考えられた。いずれも裸地に設定した苗畑で、林間苗畑の場合には、発生は少くなり、裸地に適した菌根菌である。また焼き畠跡地等の野外への植栽試験からもこの菌の有効性が確認され、少なくとも植栽後数年間はこの菌根菌は安定して苗木と共生関係を維持できる。

またこの菌は多くの樹種と親和性をもっており、使いやすい菌根菌と考えられる。フタバガキの樹種と菌根菌の種の間の親和性については殆どわかっていないが、SMITS らの調査¹⁾からは、宿主範囲の狭い菌根菌も多くいると考えられる。温帯以北では宿主範囲の広い菌根菌としては、*Pisolithus tinctorius*¹⁹⁾ や *Laccaria* spp. 等が知られているが、いずれもどちらかというと、裸地化したような場所を好み、樹木の生育ステージの初期段階で共生する菌である。*Scleroderma* もこれに似た性質を持っていると思われる。そのため野外植栽した後、数年から数十年後には他の菌に遷移していくと思われる。*Scleroderma* の接種によって植栽直後の成長を速めることができれば、下刈りなどの手入れをしなければならない期間を短縮することができ、造林コストを減らすと期待される。

フタバガキの菌根と窒素固定細菌について

フタバガキの苗木の菌根圈から分離された窒素固定細菌はほとんどが *Beijerinckia* に属するもので、熱帯ではこの属の菌が一般的であること、土壤が弱酸性であることから、菌根圈で主に活動しているのはこの属の菌であると考えられた。菌根菌は一般的に弱酸性を好むために、菌根に施用する際には弱酸性で生育も窒素固定活性も高いこの属の菌の有効性が高いと思われた。

菌根圈では数はそれほど多くないが窒素固定細菌の比率が高いことや、菌根圈での窒素固定活性は非菌根のそれに比べて高いことなどから、幾分窒素固定細菌にとって好適な環境になっていると思われた。しかし、天然更新稚樹では

窒素固定細菌数は非常に少なかったことなどから、菌根菌の種類や土壤条件によって、大きく影響を受けると考えられる。窒素固定細菌と菌根菌との組み合わせとしては、苗畑で優占していた *Scleroderma* とは親和性が高く、*Scleroderma* が裸地を好む菌根菌であることから、窒素固定細菌の接種の点からも *Scleroderma* は造林に適した菌根菌と考えられる。苗畑の苗や天然更新稚樹の窒素固定活性は、針葉樹等の根圈での窒素固定活性^{9)~12)} に比べて低かった。しかしながら、接種試験を行って、強制的に窒素固定細菌をつけてやると、根圈の窒素固定細菌数は大きく増加し、根圈での定着、増殖が可能であった。また窒素固定活性も増加した。ただし、その効果は数か月程度では現れず、半年以上かかった。これは根圈の窒素固定活性が、共生的窒素固定に比べるとずっと低いためと思われる。しかし、窒素は多量に必要とされる元素なので、貧栄養土壤では、少量ずつの窒素の供給でも、苗の生育にとって重要な働きをしている可能性がありさらに研究が必要である。

- [引用文献] 1) SMITS, W.T.M. : "Mycorrhizas in ecosystems", Read, D.J., LEWIS, D.H., FITTER, A.H. and ALEXANDER, I.J. eds. CAB International, 283-299, 1992. 2) SINGH, K.D. ed. : "Forest resources assessment 1990: tropical countries", FAO Forestry Paper No. 112, 101 pp. 1993. 3) HARLEY, J.L. and SMITH, S.E. : "Mycorrhizal symbiosis", Academic Press, 483 pp. 1983. 4) MARX, D.H. : "Ectomycorrhizae", MARKS, G.C., & KOZLOWSKI, T.T. eds., Academic Press, 351-382, 1973. 5) YAZID, S. M., LEE, S.S. and LAPEYRIE, F. : For. Ecol. Manage. 67, 339-343, 1994. 6) SMITH, W. T.M. : "Dipterocarpaceae : Mycorrhizae and regeneration", Stichting Tropenbos, 243 pp. 1994. 7) 小川 真 : 热带林業(新), 22, 29-36, 1991. 8) RICHARDS, B. N. and VOIGH, G.K. : Nature 201, 310-311, 1964. 9) FLORENCE, L.Z. and COOK, F.D. : Can. J. For. Res. 14, 595-597, 1984. 10) LI, C.Y. and HUNG, L.L. : Plant Soil, 98, 425-428, 1987. 11) AMARANTHUS, M.P., LI, C.Y. and PERRY, D.A. : Can. J. For. Res. 20, 368-371, 1990. 12) CHANWAY, C.P. and HOLL, F.B. : Can. J. Bot. 69, 507-511, 1991. 13) PACOVSKY, R.S. : Can. J. Microbiol. 35, 977-981, 1989. 14) BALDANI, V.L.D., ALVAREZ, M.A., BALDANI, J.I. and DOBEREINER, J. : Plant Soil 90, 35-46, 1986. 15) HARDY, R.W.F., HOLSTEN, R.D., JACKSON, E.K. and BURNS, R.C. : Plant Physiol. 43, 1185-1207, 1968. 16) KRIEG, N.R. and HOLT, J.G. : "Bergey's manual of systematic bacteriology. Vol. 1", Williams & Wilkins, 311-320, 1984. 17) BOWEN, G.D. : "Ectomycorrhizae", MARKS, G.C., KOZLOWSKI, T.T. eds., Academic Press, 151-206, 1973. 18) GAY, G., ROUILLOON, R., BERNILLON, J. and Favre-Bonvin, J. : Can. J. Bot. 67, 2235-2239, 1989. 19) MARX, D.H. : Can. J. Microbiol. 23, 217-223, 1977.