

熱帶樹木の生長と炭

小川 真

はじめに

炭が植物の生長に効くといい出してから 10 年になる。私にその研究のきっかけを与えたのは元林業試験場木材炭化研究室長の杉浦銀治さんである。当時杉浦さんは亡びゆく炭を救わんものと、師の岸本定吉さんと一緒に悪戦苦闘の最中だった。目黒の研究室へ炭をもってこられたが、その頃は林業試験場が筑波移転の準備で仕事どころではない。生返事をくりかえして投げておいた。同室の山家義人さんに手伝ってもらって、ショウロウ栽培を試し、ダイズ栽培に使い出したのは 1982 年に入ってからだった。杉浦さん達の話をきき、自分で確かめてみるにつれて、これはえらいことだと思い始めた。

炭を砂に埋めるとショウロウの菌根ができる、きのこがぼこぼこと出てきた。わずかな肥料を含ませて畑の土にまくと、ダイズの根粒がふえ、化学肥料で栽培したのとかわらない収量がえられた。おまけに話題になり始めていた VA 菌根までがよくつくようになった。松本久二さんに野菜をつくってもらい、データをとるのが待ち遠しいほどおもしろかった。

この頃から農業では農薬や肥料の過剰施用が問題になり、それにかわって有機農法や自然農法が広がり始めた。研究テーマも微生物の能力を利用しようという方向へなびき出し、風が吹き出したのである。

炭の粉の施用が農業技術の中にとりこまれ、土壤改良材となり、林業の分野では木炭の生産が息を吹き返し始めた。技術研究組合ができ、研究の成果が集まり、追試してくれる人もふえていった。ゴルフ場騒ぎもこれに拍車をかけた。

今から思うと、林業試験場に 20 数年いて、広くお役に立ったのはこの炭の仕事だけかもしれない。最近は調子づいて JICA の技術協力で出かける度に外

OGAWA, Makoto : Charcoal and Tree Growth in the Tropics
関西総合環境センター生物環境研究所

国でも炭の粉を吹きまくり、おかげでインドネシアとフィリピンでマメ類の栽培に試してもらえるようになった。

よく話すように、炭を畑にまくという行為にはきわめて大きな意義がある。そのひとつは昔から灰糞^{はいごえ}などで知られるように作物を育て収量をあげることである。もうひとつは植物が同化した炭酸ガスを炭等にかえ、土に還元し、化石燃料によって放出された炭素をとじこめることである。この炭はまた微生物のすみ家となって作物や樹木の生長を促がし、さらに炭酸ガスの同化をすすめる。農業という世界中どこでも、いつでもやっている場面に長年にわたって使うという点も重要である。もし、炭酸ガスを同化する微生物や植物を大量に育て一時的に固定したとしても、腐らせたり、焼いたりしたのでは何にもならない。化学的に固定しても、そのものが利用できなければ、かえってエネルギーを無駄使いし、逆に環境を悪化させることになりかねない。

もっとも単純な方法ほど、元手もかからず、ひとにも判りやすく、誰にでも、どこでもいつでもできるという大きな利点がある。炭を焼く方法も次々と改良されており、あらゆるもののがかなり大量に炭化できるようになった。

農林業の基本はリサイクルにある。自然の生態系がそうであるように我々の住んでいる系も可能な限り無駄のないリサイクルシステムにおきかえなければならない。私達は大昔から狭い土地を耕やし、無駄なく物をつかい、列島という閉鎖系の中で生きてきた。そこで培ってきた知識や技術が役立つのは、これからである。環境問題が解決されないうちにおそってくるもっと深刻な問題は人口増による食糧と資源の不足である。古くさいとか、泥くさいといわず、新しい方法や考えをとり入れながら、今こそ我国ないしはアジア独特の農林業を創り出すべきだと思うのだが。

1. マンギウムアカシアと炭

インドネシア東カリマンタンのサマリンダにある JICA の熱帯降雨林研究計画を手伝うため、1989年2月に出かけた。バリクパパンからサマリンダへの道沿いはほとんど焼畑の跡で、森林らしい森林がない。ムラワルマン大学の演習林を通りすぎる頃になると、ようやく伐り残した木や植えられた早生樹が現れるが、これもすぐ終ってしまう。

しばらくゆくと、前の年に植えたマンギウムアカシアの造林地が見えてきた。鮮かな大きい緑色の葉がしげり、大きいものは2メートル近く育っている。しかし、生長のむらが大きく、悪い所はほとんど伸びていなかった。なぜこんな

なむらが出るのだろう。普通は地形によって生長差が現われ、尾根や平坦地で悪く、斜面で良くなるのだが、そうとは限らない。苗に差があったのかという人もいたが、苗畑を見る限りそんな大きな差はないし、根粒菌もほぼ例外なくついていた。

どうも土がちがうらしいと思って、茂みの中へもぐりこんでみた。生長の悪いところは斜面でも土が露出しており、雑草のアランアランが見える。良い場所では土はさほど肥えていないのだが、何となく消し炭が目についた。帰って現地の人聞くと、造成する時にやぶを刈り払って火をつけ、完全に燃してから兵隊に植えさせたという。悪い場所は焼畑をやっていた場所

でほとんどもえるものもなかったが、生長の良い場所はやぶが残っていた所だという。要するに消し炭の量がちがったせいらしい。

この植栽地も昨年の異常乾燥の間に火が入り、かなり燃えてしまった。草地が燃えた跡は表土がこげるほどで、ほとんど裸地化し、わずかに灰が残っているだけだった。一方、木が残っていた所では朽ち木がくすぶりつづけており、消し炭の量もずっと多かった。

マンギウムアカシアは大きなひょうたん形やこん棒形の根粒をつける。実験林の苗畑にはメルクシマツとマンギウムアカシアが被陰のために植えてあるが、さほど地表に根が多いわけでもない。この木の間に屋根をつくり、地面にポリ袋のポットを並べて、フタバガキ科のショレアやホペアの苗を育てる実験を始めた。ポットの土に炭の粉をまぜると、菌根のつき方がよくなりそうに思えたので、少し多目に入れてみた。約半年たって見にいってみると、ほとんど効果がなく、むしろ害が出ている。炭が多すぎたと思ってポットをあけてみると、



写真-1 山火事あと

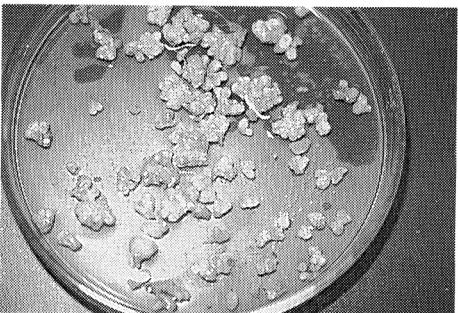


写真-2 根粒

菌根のかわりに根粒がごろごろと出てきた。

近くに育っているマンギウムアカシアの根がポットに入りこみ、炭に接触して大量に根粒を作っていたのである。そのためにショレアの根が伸びず、地上部の生長も抑えられたらしい。後に述べるように炭のやり過ぎは有害でもあるが、こんな思いもかけないことも起る。

この現象からみても、アカシアの育苗に炭の粉が良いことははっきりしている。予備的にマンギウムアカシアとアルビジアの苗をもらって炭の粉を土にまぜ、植えてみると、根粒がよくつき、生長もよくなつた。ただし、2.5%が限界で、それ以上加えると害が出た。同時に *Glomus* spp. がつくる VA 菌根もふえるので、マメ科植物を育てるのには良い方法である。

私自身は炭の粉を使ってマメ科樹木の苗を大量に作った経験はまだない。しかし、タイではモミガラくん炭をポットの土にまぜ、アカシアやアルビジアの苗を育てていた。目的は粘土質の酸性土壤を改良したいからということだったが、根粒もきれいについていた。このように炭の入った土がついた苗を植えると、下ばえにもマメ科の草本植物が入るという効果がある。もし、マメ科植物で地表をカバーしようとするなら、モミガラくん炭のような安価なものを表土にまいておくとよいかもしない。

2. モクマオウとハンノキ

モクマオウは東南アジアからオセアニアにかけて分布しており、アフリカ、中南米などで広く植えられている。日本では沖縄や九州、本州の太平洋沿岸などで育ち、東京でもかろうじて生き残っている。

モクマオウはハンノキ属やヤマモモなどと同じように放線菌のフランキアと共生して根粒を形成するとされている。根には小さなこん棒形の根粒がたくさんついており、中にいるフランキアが空中窒素を固定するので、半砂漠地帯や海岸にも植えることができる。

このフランキアも根粒をつくるリゾビウムと同様、炭好きで、育苗の際ポットに炭の粉を入れると、根粒ができやすい。モクマオウではまだ実験されていないが、ヤシャブシやヤマハンノキでは確かに根粒の量がふえた。一般にフランキアがヤシャブシにつくる根粒はそれほど多くなく、数か所にできた根粒が何年もかかってくす玉状になるのが普通である。しかし、炭の粉を入れると、ダイズなどの根粒と同じように根粒の形成頻度が上り、木の生長もよくなる。おそらく、モクマオウでも同様の効果を期待できるだろう。

台湾、インドネシア、パプアニューギニアなどでモクマオウの根粒を採集し、放線菌の分離培養を試みたが、成功率は低く、それらしいものがえられたが、接種実験はまだである。フランキアは一般に分離培養がむずかしく、培地にのりにくいとされているが、最近は培養に成功したという報告が相次いでいる。系統によって窒素固定能が異なり、多いものでは標準の7倍にもなるというから、良い系統をみつけて利用することも夢ではない。

熱帯ではモクマオウ以外のものをあまり耳にしないので、フランキアと共生する樹木は主として温帯から北の半砂漠地帯にむいていると思われる。

3. ラワン：フタバガキ科樹種の育苗

熱帯降雨林の主役、フタバガキ科の樹木につきあい出してから数年になる。か弱い苗、見上げるほどの大木、くるくるとまわりながら落ちてくる種子をみていると、えもいわれぬ親しみがわいてくる。この蒸し暑い熱帯できのこと仲良く暮しているのをみると、ますますけなげに思えて、肩を入れたくなってしまった。

初めてムラワルマン大学を訪れた日に苗畑の隅にうえてあったショレアの根元で、*Scleroderma columnare* というきのこを見つけた。このきのこはニセショウロの仲間で、袋状の子実体をつくり、中に灰色の胞子をつくる。傘形のきのことちがって、胞子がとびにくいで利用するには好都合である。土の中に白いよく発達した根状菌糸束をつくり、フタバガキ科の苗、少なくともこれまでのところ、*Shorea*, *Hopea*, *Dipterocarpus* などの12種に同じ形の白いふさ状の外生菌根をつくる。

ごく近い種、タマネギモドキが日本のクリ、コナラ、シイなどによく似た菌根をつくって出てくる。以前、頼まれてクリの立枯症と菌根の関係を調べていた時、このタマネギモドキを実験材料にしていたので、すぐ分離培養や接種実験にかかることができた。また、タマネギモドキがアルカリに強く、炭の中でもよく生長したので、すぐ炭を試してみることにした。

苗畑に植え残した苗があるので、菌根をしらべようとビニールポットをはがし、根を洗ってみた。すると、驚いたことに消し炭にしっかりと根がからみ、そこに白い菌根ができていた。予測が適中したので、炭をつかって菌を接種する実験を始めた。

市場に売っている炭を買ってきて、ウリンという木の板にはさみ、体重にまかせて押しつぶす。フルイでふるって粒度をそろえ、胞子をとかした液を加え、

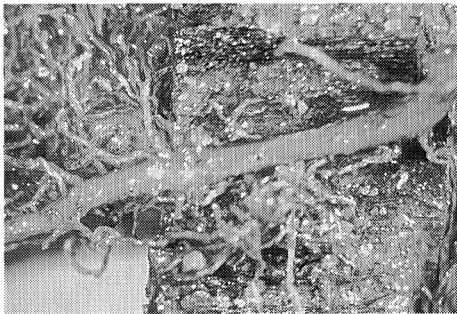


写真-3 炭にからむ菌根

それを土にまぜてポットにつめた。炭の量を 10, 5, 2.5% としたが、炭の質が悪く、5% では苗がうまく育たなかった。2.5% でも最初は害がでた。日本からもって行った炭の粉ではさほど害が出ないので、炭の質によるらしい。これでは炭焼きから始めなければならないので大変である。もっとも簡便なのは

はタイのようにモミガラくん炭を使うことだが、インドネシアにはその習慣がないので、今、くん炭の製造をすすめている。本格的に使うようになると、のこ屑はすでに不足しているので、ヤシガラやモミガラを使うことになるだろう。

Scleroderma columnare 以外のきのこ、例えばカレバキッネタケやキツネタケなどもフタバガキ科の苗に菌根をつくるが、これらのきのこのも炭好きである。菌根菌を使った育苗技術をより確実にするためには炭のような適当な媒体を使って複数の菌をつけるのが望ましい。

ところで、フタバガキ科が更新するメカニズムはまだよく知られていないが、火事の現場ときのこを見ていると、火による更新があるように思えてならない。フタバガキ科の大木はかなり大火事にならない限り、生き残ることができる。火が走った跡をみると、樹皮はやけ、葉はかなり落ちているが、完全には死んでいない。樹の下はすっかり焼けて土が露出し、灰や炭が散乱している。

火事が頻発するような年は乾燥がひどく、次の年には種子がなりやすい。地表に落ち葉がつもり、動物が多いと、落ちた種子もすぐ腐ってしまうが、裸地の場合は育ちやすい。炭好きの *Scleroderma* などが若い苗の根を包んでくれれば、苗は早く育ち、かん木との競争にも勝てる。種子は母樹の下に落ちるのだから、菌根菌が母樹の根から移る頻度も高いはずである。

どうみても、完全に草地化した所へ種子がとんではえるのではない。火の跡に更新する所以なければ、マカラングなどの2次林にとびこんで更新するはずだが、マカラングの中に幼木が育っているのを見たことがない。幼木が多いのは林道沿いや土がくずれたあとなど、成木に近い裸地状の場所である。木ときのこ、炭の関係をみていると、その間に巧妙な仕組みが隠されているように思えるのだが、まだ確かなことはわからない。

4. マツとショウロ、コツブタケ

マツ属は総じて北半球の温帯に多く、熱帯での分布は山地に限られている。熱帯の各地にマツが植えられているが、見かけはよく育っていても、菌根が少なく、根は健全とはいえない。パプアニューギニアのカリビアマツの造林地ではほとんど菌根菌が見られず、とくに若い林分や火が入った跡ではランダムサンプリングをして調査すると、菌根の形成率は0になった。20年近くたった林分では30%程度にあがるが、菌の種類は少なく、ベニタケ属の菌根、おそらく、ノトファグス (*Nothofagus*) 林からうつったものがごくわずかに認められた。ほかのマツ林でも同様で、メルクシマツやオーカルパマツなどでは幼木の間に枯死したものが多かった。

インドネシアの東カリマンタンでもメルクシマツが植えられているが、土壤が悪いために生長が悪く、菌根菌も少ない。出てくるのはチチアワタケだけで、ほかのきのこはない。根の大半が菌をつけないまま伸びるために黒変して枯れしており、健全とはいえない。苗畑のメルクシマツをみると、チチアワタケの菌根があるものは大きいが、菌根がつく頻度は低く、形成率は50%以下であった。

タイとマレー半島の苗畑でマツの苗を調べると、菌根の形成頻度は高く、タイ北部では菌根菌の種類も量も格段に多かった。ただし、南部ではインドネシア同様、形成率が低かった。これらのことから、東南アジアの熱帯地域、とくに平地や南部でマツを造林する場合は何らかの方法で菌を接種しなければならない。

マツに菌根菌を接種する方法には大きくわけて、①自生地の土を接種源としてポット土壤や苗畑の土に加える方法、②胞子を集めて胞子の懸濁液をつくり、それを散布する方法、および③培養菌糸をピートモスなどに加えて固め、ポットの苗に接種する方法がある。①と②の方法はごく普通に古くから行なわれており、今も実行で



写真-4 チチアワタケ

きる安価な方法である。③は主としてコツブタケ, *Pitholitus tinctorius*についてマークスらが開発した方法で、一時市販されたことがある。しかし、効果が不確実なためにあまり広がらなかった。

菌を接種する場合の留意点をあげると、次のようになる。(1)用いる菌が対象となる寄主植物に対して確実に有効か否かを知っておくこと。もし無効な菌を接種すると、かえって苗の生長を阻害することがある。(2)可能な限り、在来の菌を用いること。外国から輸入した菌を用いると、多くの場合在来のものに負けて感染できない。また、もし感染力が強すぎると、在来種を追い出すので、自然破壊につながりかねない。(3)接種に用いる菌は複数であること。コツブタケの場合のように一種だけを用いると、土地や気候によって感染しないことがあるので、代替がきくよう数種類を混ぜることが望ましい。(4)何よりも安価で、扱いやすいこと。また、汎用性があり、マツ属全般に有効なものであること。

以上のような留意点はマツに限らず、すべての菌根の接種法に共通する問題である。その点で、炭の粉を用いる方法は優れているといえる。

クロマツ林に炭の粉を埋めると、ショウロの菌根ができる、生長もよくなり、きのこもとれるというのがわかったのは10年ほど前のことである。日本ではショウロの栽培法ができたという程度の意味しかないが、熱帯や半砂漠などへマツを造林する1種の造林技術としてみると、おもしろい。

クロマツやアカマツに共生する菌根菌の大部分は酸性土壌を好むので、炭を埋めると消えてしまう。しかし、海岸や石灰岩山地、山火事の跡など、土壌が中性からアルカリ性になる所ではキツネタケ、ウラムラサキ、ショウロ、コツブタケ、キシメジ、アセタケ属、シメジ属、ワカフサタケ属など、アルカリ好きのきのこが出てくる。これらのきのこは炭の中でふえるので、特定の菌根菌の接種源にも応用できる。

これらの菌をポットで接種する際は底に土を入れ、中間に炭のうすい層をつくり、これに胞子の懸濁液をかけ、さらに土を入れて苗をうえる。炭の中にはほかのきのこが入りにくいので、根がそこに達すると菌根ができる。もうひとつの方法は炭の粉を胞子の懸濁液でねってタドン状にし、これをポットの土の中に埋めて苗をうえる。このようにすると、根が炭の近くで発根し、胞子がすぐ発芽して菌根ができる。ただし、日本のように菌根菌が多いところでは、わざわざ接種しなくとも十分菌根ができるので、問題はない。

ショウロやコツブタケは海岸や荒廃地によく出るので、マツの菌根菌として

利用するのに適している。これらのきのこの子実体は袋状で、胞子が完熟してから飛散する性質があるので、胞子がとりやすく、乾燥にも強いので、保存が効く。熱帯や南半球でマツの育苗を試みる際に用いて効果的と思われるのは上の2種とウラムラサキ、チチアワタケ、ヌメリイグチ、キツネタケなどである。苗に十分菌根をつけて出せば、初期生長もよく、乾燥や貧栄養状態にも耐えることは証明ずみである。

5. 燃畑の不思議

数年前から「なぜ熱帯で燃畑は可能か」というテーマが頭を離れなくなった。炭の粉を畑の土に与えると、アゾトバクターがふえ、わずかでも窒素固定が進むらしい。リゾビウムが炭の中に入り、根粒ができ、次いでVA菌根菌が炭の上でよく発芽して感染することがわかり始めた。リゾビウムが空中窒素を固定し、菌根菌がリン酸やミネラルの吸収を助けるので、ダイズやマメ類の生長がよくなるのである。炭の粉にごく僅か肥料を加えて土に入れるとマメだけではなく、他の作物にも効果が現れた。日本で実験を重ねるにつれて、間違いないという確信がえられたので、インドネシアで試してもらうことにした。

JICAを通じて関西産業という滋賀県にある会社で製造した簡便なドラム缶型のモミガラくん炭製造器をボゴールの農業チームへ送ってもらった。チームリーダーの五十嵐孝典さんらがポット実験や圃場実験をくりかえし、ダイズについてはこれまでの説が熱帯でも正しいことを証明して下さった。さらに、ダイズの跡にまったく何も施用しないまま、トウモロコシを植えたところ、炭と石灰が入った区で高い収量がえられた。どうみても窒素の要求量の高いトウモロコシが追肥なしで、これほどとれるとは思えないというのが大方の意見だった。土の中、とくに炭の周辺で何かが起っているらしい。

フィリピンでもJICA農業チームの高橋達児さんがビーンズにモミガラくん炭を使ってリゾビウムとVA菌根菌を接種する実験をして下さった。モミガラくん炭はVA菌根菌の接種に効果があるらしく、炭の入った区でビーンズの生長がよくなった。また、シルバーボランティアの宮永萬吉さんは炭を使って花が食用になるマメ科のかん木を草原に栽培し、チガヤを退治するのに成功したそうである。熱帯ほど、炭の効果が大きく現れるというのはどうやら事実らしい。

最近、3年間、場所をかえて熱帯土壤の微生物、とくにアゾトバクターなど、窒素固定能をもつ細菌の分布をしらべてみた。日本の土壤、とくに林地ではほ

とんど出現しないこともあるが、熱帯では高頻度に出てくる。焼畑の土にも、炭の粉を半年ほど埋めておいた土からもアゾトバクターが検出された。もし、この結果が間違いでなかったとしたら、大変なことである。熱帯で焼畑が可能になるのは土の中に空中窒素固定菌や共生菌が多いからだということになる。

話はかわるが、昨年の夏、23年住みなれた林業試験場を離れて、現在の職に移ることになった。荷造りをしていると、一冊のぼろぼろになった本が見付かった。すっかり忘れていたが、この本は前任者の植村誠次さんが亡くなった時、ほかの本と一緒に頂いたものだった。表紙には「空中窒素固定菌に関する研究報告」、大正十四年 農商務省とあった。序文によると、農商務省が東京大学農学部に委託した研究で、代表者は麻生慶次郎教授、大正十二年の震災で焼けたので、残ったものだけを刊行したそうである。

見事な報告で、第一章はアゾトバクターの分布に関する研究である。当時の樺太から台湾まで、克明にアゾトバクターを分離し、その検出頻度を調べている。北の方では10%以下と低く、南へ下るほどふえ、九州では50%，台湾では60%台になっている。延長すると、当然熱帯ではもっと上るはずである。さらにおもしろいことに、特に多かった地点には備考の欄があって、木灰使用、貝がら使用、石灰使用とあった。この関係については気づかなかつたらしいが、今、我々がいっている事とまったく符合している。アゾトバクターが炭や石灰などで動いているらしいのである。この報告のおかげで、10年はかかると覚悟していた分布調査を省略することができただけでなく、大きな自信がもてるようになった。

焼畑というのは自然の力を十二分に生かした実に合理的な農法だったのである。過ぎたるは及ばざるが如し。今では地球環境破壊の元凶のようにいわれているが、もっととともにとりあげ、研究する価値があるようだ。熱帯の植物がなぜあれほど早く、あれほど大きくなるのか、光や水、温度だけでなく、下から支えるものがいるからではないだろうか。木を木として考えるのではなく、木をとりまく周辺も含めて、幅広く考え、新しい技術をつくり上げなければ、ほんとうの生態学的林業はいつまで待っても生れてこないだろう。

〔参考文献〕 小川 真：作物と土をつなぐ共生微生物。農文協、1987 小川 真：ラワンときのこ。熱帯林業 22号、1991