

*Tropical Ecology Letters*

日本熱帯生態学会 Japan Society of Tropical Ecology Feb. 15 1994

## 熱帯アメリカにおけるタケ資源の動向

大阪市立大学理学部附属植物園 内村 悦三

## 熱帯地域のタケ類

熱帯林研究のなかでタケ類のことが論じられる機会は極めて少ないと思うのであるが、世界の気候区分にしたがって中形もしくは大形の稈を持つタケ類の分布域を求めてみると生育している竹の総面積の70~80%は広葉樹と混交して熱帯雨林やアジアのモンスーン林で見出すことができる。残りのほぼ20%はアジアの暖温帯に分布しているものの、前者と違ってそれらはむしろ純林となっている。

一般に低地熱帯に生育しているタケ類は数十属にもおよび、生育型からは既存の稈の地中部に着生している大形の芽子が仮軸分岐して地下茎を長くのばさずに直ちに地上に立上るため株立ち状となる。したがってこれを連軸型のタケあるいは熱帯性タケ類と呼んでいる。これに対して暖温帯に分布するタケ類の多くは地中を長く這う地下茎に着生している芽子が地上にタケノコとして伸び、単軸分岐するために地上部での稈の配置は散稈状を示す。このため単軸型のタケ類、もしくは温帯性タケ類と称している。なお、ここで付言しておく、高地熱帯に生育しているタケの属は低地熱帯の属に比べてごく限られたものだけだといえよう。

このような熱帯性タケ類は生育型で温帯性のもとは異なっているだけでなく、その形態や生態的な面でも幾つかの相違点を持っている。例えば葉の支脈が平行していること、極めて大形の葉の種があること、染色体数が多いこと、種

子の発芽率が高いことなどが挙げられる。しかし、最大の相違はその増殖法にあり、“さし木”が容易にできることである。このことが、近時、熱帯地域でタケ類を森林資源の1つとして具体化し、利用する要因となっている。そこで、こうした傾向の例を最近の熱帯アメリカの調査事例から述べてみることにする。

## 熱帯アメリカのタケ類

北アメリカの南部に位置するメキシコとこの国の南側に続く中央アメリカおよび南アメリカ大陸の国々に加えて、カリブ海上に点々と並んでいる小さな島しょ国を総称してラテンアメリカと呼んでおり、この地域の陸地面積は地表全体のほぼ7分の1を占めている。しかし、熱帯域となると北側はともかくとして、南側はチリーやアルゼンチン国内の途中で終わってしまうが、この熱帯域内のタケを考えてみると、そこには在来種のタケと導入種のタケがともに生育している。なかでもGuadua属、Chusquea属は在来種の代表種であり、前者では、*G.angustifolia*が経済的にも有用な種となっている。稈の平均直径15cm以上、高さ30m以上に達する肉厚で強固なこのタケはメキシコから南下してコスタリカ、コロンビア、エクアドル、ペルーなどバナナを生産する多湿な低地域で見られ、建築材となっている。また*G.amplexifolia*はニカラグアの東岸からホンジュラスにかけて分布し、バナナの支柱として利用されている。このほか、

*G.aculeata*も同様に中央アメリカ各国で見られる。

しかし、在来種の多くは河川敷や湿潤地に僅かなクランプが各地で散見されるにすぎない。一方、*Chusquea* 属には多くの種があり、メキシコからチリーにかけて連なるシエラネバダ、マドレー、アンデスなどの各山脈の標高約3000m前後の高地帯に分布している。直径が8cm程度になるものもあるが概して中径級以下の種が多く、*Quercus*属の下層部を占める植生として混生している。ただこれらについては高地のものであり、ここでの話題から遠ざかるので省略する。

一方導入種も多く、例えば*Bambusa vulgaris* やその変種である*B.vulgaris var.lotiflora*などはラテンアメリカではごく自然に見られる導入種であるが、既に馴化して後述するように産業面での利用価値が高いものの1つとなっている。このほかにも多くの種が導入されているが、ラテンアメリカのなかでも中央アメリカや南アメリカには低地とともに標高1000mから1500mほどのところに台地を伴った国が多く、こうしたところではホテイチクなどの温帯性タケ類も導入されて造園用材料などとなっている。

### 栽培されるタケ類

今日、わが国や台湾のタケ産業界は中国大陸の安い品に圧迫されて、沈滞気味であるが、ラテンアメリカでは、その様相が多少違っている。その理由はタケ類の多くが“さし木”によって簡単に増殖できること、一旦栽培すれば無性繁殖によって毎年林分材積の25%程度の稈の生産が可能であること、さらにタケによる緑環境の保持とその利用価値がここに来て再確認されたからでもある。

既に十年近く前のことになるが、かつてブラジルのバイア州へ香料作物の調査に行ったときのことである。バレンサからサルバドール市へ向かう途中で広大な*Bambusa vulgaris*の林がこつ然と目の前に現れてきたのである。もとも

と*Bambusa vulgaris*というタケは、熱帯雨林の高木林層の林冠からもれる光を受けて小さなクランプを形成する種であるが、熱帯のタケにしては表面が滑らかで刺がないため取扱いやすいということや稈の材質部が薄いために加工したり、運搬しやすいこと、さらにさし木による活着率が高いなどの利点から、庭園や加工用原材料として各地で造林されている。

このバイヤ州の場合はパルプ用の原料にするためであり、材質部分が薄いことから収量は低い、上述のメリットを生かせることから当時ですら100ha以上造林されていた。所有地が幾らかでもあるから今後もどんどん拡張していくという声が聞けただけに、その後も引き続いて植えられているようである。同様に各国のバナナ栽培地では果実が実って来るとバナナの重量で茎が傾き始めるので、その支柱として以前はロープを他の茎に結びつけて引っ張ったり、細い木の支柱を使っていたが近頃は、タケを支柱に用いるために各地で造林されている。例えばコスタリカのカリブ海側にあるリモン市郊外、フィリピンのダバオ市郊外などで何カ所も数十ha以上の造林地を見たことがある。

つぎに*Guadua angustifolia*についてはコスタリカで国家プロジェクトとして、タケの造成が行われている。この種類は稈の直径が太いだけでなく、材質部が肉厚で耐久性があるため農村地帯のみならず都市でも通常の住宅建築よりも低価格で作ることができるのである。

さて数年前にスタートしたこのプロジェクトはコロンビアにあるタケで作られた住宅にヒントを得たものであるが、材料になる*Guadua angustifolia*そのものが天然には数十本のクランプとして点在するのみで、計画とされる年間500軒の建築材料を求めるには全く不足していたのである。そこで、建築に拘わる材料作りから始めなければならないようになったが、当時、現地ではこの種の技術手法は必ずしも十分ではなかった。今から約5年前の話である。

それから4年後の1993年8月上旬にコスタ

リカの東部に位置するダイヤモンドと呼ばれる農牧省の試験地を再び訪れる機会を得た。実はこの一角を借りて最初のさし木実験と植栽をプロジェクトの人達に教えていたので、その後の成長の様子を知りたかったのである。その当時、何の変哲もない雑木林であったそのあたりの川沿いには数個のタケのクランプが育っていた。極めて簡単に樹木を伐採して地ごしらえを行った後に苗木を植栽したが、その後も引き続き毎年苗木生産と植栽を行っていて、現在までに約50ha分の植栽を終えたということだった。

国内の各地に住宅を供給するためには全国に数カ所の材料林を造成する必要があるだったので、他にも太平洋側のゴルフコースや中央台地のアレナルという場所にも造林地が造成されている。

さてグアピレスのダイヤモンドに案内されて、まず驚いたのは雑木林はすっかりなくなって、そこに *Guadua angustifolia* の立派な林が予定通り50ha完成していて、すでに柱用の稈が多数搬出されていた。伐採には年齢と残すべきタケの配置も考慮されていたので、写真でも明らかのように放任された林とは違って管理されて緑鮮やかな、いわゆる生産林地ができ上がっていた。とくに興味を引いたのは開花して自然落下した種子が発芽していたり、林内に放置された枝や切株から発根したものが根付いて育っていたことであった。

プロジェクトで計画された家の構造材は主要

な柱材にこの *Guadua angustifolia* が利用されている。モデルハウスの壁面は以前はこのタケを割り、それを張りつけてからモルタルを塗り込んでいたが、今では木材で枠組みを作り、その中にカーニヤ・ブラバと呼ばれるヨシの1種を張ったパネルを作り2×4工法よろしく、所定の場所へユニット風に組み込んでからベニヤ板やモルタルを塗っているのが都市内でも地方でも周囲の家と比較して何ら損色のないものとなっている。タケの家だけに天井、内装材、床などにもタケが使われているし、近頃は家具まで進出してタケの利用開発が進められている。

コスタリカには中央アメリカの火山の南限が中央部のトリアルバまで来ている。このため地震も多く、数世紀前にカルタゴ市を襲ったものは首都を現在のサンホセ市に移させたほどであった。最近では1990年5月のプンタレーナス県のコパノ、同年12月のサンホセ県のプリスカルで中程度の地震があったほか、1991年にはカリブ海に面したリモン市を中心に大きな地震があったことも記憶に新しい。こうした経験から家屋の倒壊による被害を軽減するために、この国では屋根に瓦を乗せることに制限を加えている。したがって、むしろタケの家には上部からの重い荷重がかからないことも幸いして、これまで地震による被害が現れていないと報道されたため、廉価で頑丈というイメージを与え、目下生産に追われているという話であった。これも毎年伐採を繰り返すだけで不必要な経費を



造成された *Guadua angustifolia* の林(植栽後4年目)。



竹を主材料として建てられた住宅。

要しないことと緑の保続ができる資源利用だということによって好感を持たれているようである。

コスタリカにおける *Bambusa vulgaris* の造林についてはこれより先に実施されていて各地に人工林が完成しているが、それらは伐採するだけで何ら加工することなく、そのままバナナの支柱とするために大量の稈が搬出されている。加工抜きでは耐久性に乏しいが使い捨てでも毎年更新してくるので心配ないとのことであった。こうした利用はジャマイカ、プエルトリコ、トリニダード・トバコなどの諸国でも行われている。

このように本来、自然植生では純林として分布していない熱帯性タケ類が、植栽されて各地に人工林ができ、長年月の間に馴化すると持続的可能な森林は残されて地球環境の維持には役立つが、植物地理学を研究する人達にとっては

頭の痛い問題となることだろう。

いずれにしてもタケの人工林造成の動きは熱帯アジアでもあり、最近になって熱帯アフリカの1部の国までがタケの利用と人工林造成に興味を示してきている。しかし、タケを栽培し、経営的な管理ができるような林分に育てるには熱帯地方では少なくとも年間1000mm以上の降水量と月平均降水量200mmを確保できる月が3カ月以上なければ十分でないと考えている。熱帯アフリカでタケを利用したい地域は多いようであるが植物を育てるには立地条件と環境条件を十分考慮した上でなければ実施すべきではない。樹林地だって当然であり、樹種選択を間違わなければ何とか成功するだろうとする考え方は長期的にみれば気候変動の大きな、とくに降水量の変動の大きな熱帯地域だけに注意が必要である。

## ブラジル陸水の概要と調査で学んだこと

新潟大学教育学部 福原 晴夫

熱帯湖沼学の概略とインドネシアの湖沼については、沖野外輝夫氏(信州大学臨湖実験所)がレターNo.12(1993)で、ブラジル湖沼調査の現状や問題点については故須永哲雄氏(香川大学)がレターNo.8(1992)で詳しく紹介しておられるため、私は、あまりふれられていなかったブラジルの陸水の概要を紹介し、特に、私の分担した底生動物の研究に限定して感じてきた点を、感想的につづってみたい。本レターが最新の知識や情報を中心としている点にそぐわないのではないかと危惧している。

私自身の熱帯湖沼の調査は、須永氏によって紹介された日本(代表：西条八東氏)―ブラジル(G.J.Tundisi氏)共同調査(1983,1985,1987)のブラジルと、JICAで短期間派遣されたインドネシアジャワ島(1993)におけるものであり、少ない

経験からのものであることをお許し願いたい。

なお陸水学でいう熱帯湖は、表面の水温が年中4℃以上の湖で、琵琶湖もその一つとなる。以下で言う熱帯湖は熱帯地域に分布する湖沼という意味で使っている。

### ブラジルの陸水の概要

南米大陸の主要な陸水系は、図1に示すようにアマゾン水体とラプラタ水体の2つに分けられている。前者にはアマゾン河やサンフランシスコ河などの大河の集水域を含み、後者にはラプラタ河流域のパラグアイ、ウルグアイなどの国も含まれる。ブラジル国内の主要な自然湖沼群は前者に属するアマゾン湖沼群、リオドッセ湖沼群と後者に属するパンタナル湖沼群である。まずこれらの概略を述べてみたい。

## アマゾン湖沼群

周知のようにアマゾン一帯は広大な熱帯降雨林地帯を含み、ブラジル国土の約半分を占めている。その系統的な陸水学的研究はマナウスを根拠地とした Max Planck の Sioli グループによってなされた(Sioli, 1984)。彼らはアマゾン流域の水をその色によって Whitewater, Black-water, Clearwater の三つに分類し、それぞれの特徴と生産力の関係を明かにした。Whitewater は Solimoes 河や Jurua 河のようにエロージョンによる無機物を多量に含む中性の濁度の高い黄土色を、Blackwater は Negro 河に代表される腐植質を多量に含む酸性(pH約4)の黒褐色(まさに泥炭地の池塘の色)を、Clearwater は Xingu 河のような中性から酸性の透き通った色を特徴としている。生産力は Whitewater, Clearwater, Blackwater の順である。この水色による分類は、生産力との関係は不明であるが、インドネシアの湖沼にもそのままあてはまると思われる。

マナウス市はちょうど Negro 河と Solimoes 河の合流域であり、空からもまた船で横断するこ

とにより、くっきりと両河川の色の違いを見ることが出来る。合流付近を船で横断したが、この地点にはプランクトンが豊富で魚類も多いらしく、アマゾンカワイルカのダイビングを見ることができた。アマゾンの陸水学的研究はマナウスの国立アマゾン研究所(INPA)で、ブラジルの若い陸水生態学者を中心に、Whitewater, Blackwater の典型的な湖沼が選ばれ精力的に行われている。ここでは、水位変化が諸現象を解くひとつのカギである。

アマゾン流域の湖沼は基本的には flood-plainlake であり、雨期の水位上昇時には広大な *Várzea, Igapó* (熱帯雨林の湛水した状態) と呼ばれる大氾濫原になるが、水位の低下に従って徐々に湖沼が分離独立したり、河と水路で連結した湖沼となる。この水位変化はマナウス付近では約 10m 程であり(6月が最大)、この水位上昇期に湖水は停滞し、又周囲からの落葉などの有機物が大量に供給されるため、底層では無酸素となり  $H_2S$  が 6 月を中心に発生することが知られている。

この他、アマゾンに巨大ダムが建設されつつあるが、この問題点は須永氏のレターに紹介されている。

## パンタナル湖沼群

最近テレビなどで放映され、ご存じの方も多いかと思われるが、パンタナル(Pantanal-湿原を意味する)は南米大陸の中央部より西側に位置する、パラグアイ河上流のブラジル、ボリビア、パラグアイにまたがる面積 250,000km<sup>2</sup>(本州と九州を合わせたぐらい)の熱帯、亜熱帯気候に属する大湿地帯である。この平らさは、南北の傾斜がわずか 15-30cm/km であることから推察できよう。ラプラタ水体に属し、アマゾンとは分水を境にする。年平均気温は 23-25℃、降雨量は 800-1700mm でやはり雨期・乾期の水位変化があるが、アマゾン程でなく 2-6m(普通 4m)であり、無数の河、水路、ラグーン、湖沼が出来たり消失したりしている(図2)。水生植物

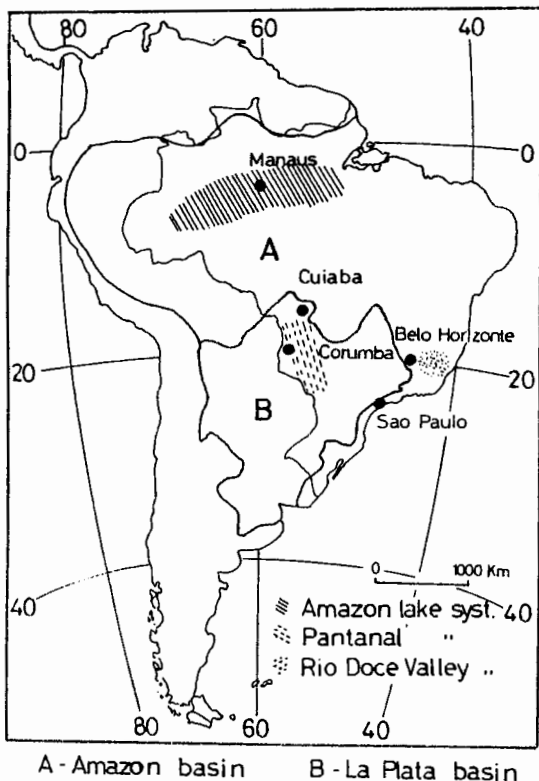


図1 南米大陸の陸水系とブラジルの湖沼群。

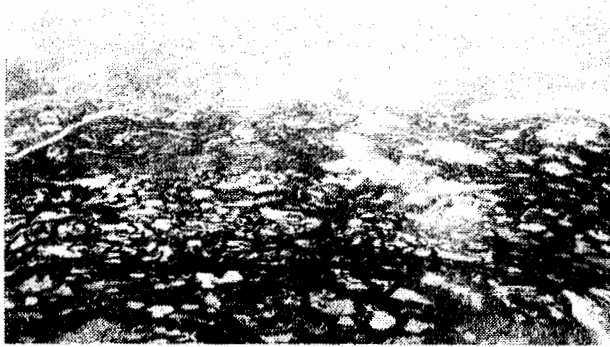


図2 パンタナル北部(1986年1月).

を担当した千葉大学の生嶋氏によれば河辺林, 氾濫原性湿生草原, 季節的乾燥落葉林, セラードの複合体よりなっているという. 実際には, 陸のように見えても広大なタデ科の水草地帯であったり, 蔦のからまる森林でもその下は浸水している状態などのくりかえしであった. この大湿原の保護の問題は, 1983年より本格的に取り上げられ, パンタナル開発財団が対応している. アマゾンと比べ, パンタナルの陸水学的な系統化は, 全くと言っていいほど進んでいない.

### リオドッセ湖沼群

私達の主要な調査対象となったリオドッセ湖沼群には, ブラジル東部のミナスジェライス州の南緯19-20度付近に分布する大小約150の湖沼を含む. 年平均気温は20-22℃, 年平均雨量は1200-1500mmで10月から4月までが雨期に当たる. ここの水位変化は小さく約1m未満であり, 大きな氾濫原にはならない. ここには, すでに湿地化したものから, 深さ33mのものまで様々な大きさと深さの遷移段階にある湖が存在し, これら熱帯湖の遷移過程を調べるのに格好の場所である.

私達はこのうち, 水深の異なる四湖を選び比較調査をおこなった(Saijo & Tundisi, 1985, 1987, 1989).

### その他の水体

この他にブラジル国内には貯水池が数多く存

在し, サンパウロ州の多くの貯水池は我国同様 *Microcystis* のブルームや富栄養化の問題をかかえ, Tundisi教授グループらによる広範な研究が進んでいる. 特に同教授グループが精力的に研究を進めているサンカルロス市のBroa貯水池はブラジルにおける陸水学的研究のメッカとも言うべき場所で, 数多くの業績を生み出すとともに, 若手の訓練や地域の環境教育の場となっている. 私も故日野孝三氏とともに南半球で初めてエックマンバージを降ろし, フサカが優占することを確かめたのもこのBroaであった.

### 熱帯の陸水環境

このように見てくると, ブラジルの陸水(湖沼)には, 大別すると, 私達が普通に見ているほとんど大きさの変わらない貯水型のいわゆる湖と, 雨期に果てしなく広くつながり, 一時的に湛水する真の湖とは言えないかも知れない洪水型のものがあることになる. 雨期, 乾期のはっきりした熱帯の他の地域においても程度の差はあっても同様なことが言えよう. 温帯地域で主に発達してきた, 貯水型の湖沼のいわゆる陸水学・湖沼学の手法は同じ型の熱帯湖沼にもある程度は適用が出来るであろう(あくまである程度である. これを誤解するといわゆる温帯湖で失業した(?)研究者の熱帯湖調査になってしまいかねない). しかし, 洪水型には, 従来の陸水学の手法はそのまま, 適用出来ない.(どころか考えを変えないと有害かも知れないと私は思う). パンタナルやアマゾンの広大な氾濫原を目の前にして, 途方に暮れてしまったのを, 今でも鮮明に思い出す. パンタナルでは, まずは, 正確な水位変化のデータとりから始めなければならないであろう.

この氾濫原の陸水学には, 森林・草地・土壌生態などさまざまな方面からの研究が必要であろうが, 私の分担した底生動物のことに言えれば, 実は, 氾濫原を目の前にして, また, 草原にちらばる貝のカラを見て, いったい底生動物とは何なんだろうと考え込んでしまった(す

ぐにはない。2回目くらいからである。ここに貯水型(温帯湖)という既成概念を抜けてられない壁があった)。

### 底生動物

底生動物とは、湖沼や海洋、河川の泥やれきを基質として、その表面や内部に生活している動物群のことで、温帯湖沼の代表選手はユスリカ幼虫やイトミミズ類である。どちらも分類がやっかいで、熱帯となるとほぼお手上げの状態である。しかし、いつもやっている通り、採泥器をおろし、泥を採集し、篩をふれば、いつもの通りのデータは出る。しかしこれで、熱帯湖沼の底生動物の特性が捉えられることになるのであろうか。あの氾濫原の水の下には動物はいないのか。そんなことはない、水に浸かる前、いわゆる土壌動物がたくさんいたであろう。最近、アマゾンのINPAを拠点に活躍しているAdis(1989)によれば、湛水する前の熱帯林の土壌中には $42,300/m^2$ の動物がおり、その95.5%は節足動物であるという。では彼らは水が来た時、どうなるのか、いったい、繰り返される洪水(flood pulses)にどのように適応した生活史を持っているのか。もしもなんらかの形で残る動物がいるとするなら、それも底生動物として扱う必要があるのでは。いやもともと陸上動物なんだからこれはオミットしよう。いやもうこうなったら、区別するのがおかしくなるのではないかと、こんなように実感として熱帯を考えられたのは、実はブラジルを訪れて3回目くらいからである。確かに、文献的には記されていても、温帯湖の底生動物の調査方法から抜け出ていけないのである。

私自身は、氾濫原での陸水生物の調査を手がけられなかったが、上記の問題は、熱帯地域の昆虫の生活史が注目を浴びようになってきて(Wolda, 1988; 中村, 1993), 横浜のINTECOLでもホットな話題でもあったし、Adis(1992)は、土壌動物の面から、いくつかのパターン分け出来るまでに種を追ってきている。数百万年前か

らの湛水と乾燥のサイクルにみごとに適応し、進化した生活史が土壌動物については明らかにされつつある。

### 安定環境下での生活史

では、貯水型の熱帯湖の底生動物調査には問題がなかったのか。勿論、熱帯湖では酸素が不足がちであり、そのため、沿岸部のfaunaはユスリカを中心に比較的豊富であるが、現存量は低く、湖心になるにつれ、フサカ幼虫が優占するかまたはほとんど何もいなくなるというのは、温帯湖のやり方で、エイヤツと採泥器を降ろせばわかる。(し、実際そうであった)。しかし、これも熱帯の特性を部分的にしかつかんでいない。熱帯湖での底生動物の生活史はいつまでかどうなっているのでしょうか。熱帯湖は高温で表水層と深水層の差が小さく、年較差が小さいのである。私達の調査した南緯19度のドン・ヘルベシオ湖の場合でも雨期で表層約26℃、上下の差が約5℃であり、雨期乾期の表面水温の差は約3℃であった。さらに低緯度の湖沼では差が小さくなるであろう。ちなみに沖野氏のレターに載っているデータでは、インドネシアのボン湖(水深450m)の場合表層約27℃で、上下の温度差は約1℃とのことである。通常これを温帯湖の感覚で捉えると、底生動物の生育期間は高温のため短く、生活史に季節性を与える温度差や日長差が小さいため、生活史はバラバラで、いつでもユスリカやフサカなどは羽化していると考えたくなる。熱帯では水中の環境は、陸上よりもさらに安定しているであろう。Woldaの仕事は中村(1993)の中でも紹介されているが、パナマの多くの昆虫は多様な季節性を有しているという。水中のような極めて安定した環境下でも生活史の同調性があるのだろうかと、はたと思いついたのは調査3回目であった。温帯湖の既成概念の裏返して、温度が極めて一定な環境では頭から季節性は無いと信じこんでいたのである。

わずか1ヶ月の期間ではあったが、材料とし



てフサカを選んで羽化の同調性をエマエゼンストラップで調べてみた。Woldaの使っているライトトラップはどうしても光の影響、行動の差などが加わり、正確に羽化時期を決定するには不適當だからである。結果は本誌Fukuhara et al.(1993)で報告したように1種の羽化がどうも新月の夜に起こり、生活史に極めて同調性をもっているものがあるようなのだ。(と、今だから言えるが、その時には連日の無収穫にもうダメかと思った時に、突発的に大量羽化が起こり、その要因に皆目見当がつかなかった)。これほど厳密な調査ではないが、アフリカの熱帯湖沼でもユスリカやフサカ、カゲロウの仲間にやはり月の周期に同調するのが報告されている。考えてみると、水温変化のほとんど無い、日長差の小さい比較的安定した環境下では、月の周期は極めて正確な良い同調因子なのかも知れない。なぜ新月に、どのようにして、なぜ同調性が必要なのかはここで置くとしても、まさに熱帯らしい適応ではないだろうか。動物プランクトンなどではどうなのだろうか。近縁で全然同調していない種がいたとしたら、どういう戦略で生き延びているのであろうか。等興味がつきない。

と、思って帰国したとき、では温帯では昆虫などの季節性が大まかに温度や日長に規定されていても、特に大量羽化などの開始はすべて温度や日長で説明できるのかと、思いはじめた。海洋の生物については潮汐を介した月の影響は多く知られているが、陸水の動物などは関係無いのだろうか。特に夜行性の水生昆虫などでは月光の影響などどうなのだろうか。この点、Gliwicz(1986)の、アフリカのダム湖で動物プランクトンの密度変化が月のサイクルに一致し、これが魚の捕食圧に関係して起こっているとする報告は示唆的である。手始めにやはりフサカで羽化を調べ始めたところである。

### おわりに

いずれにしても、私はブラジルでの調査で、い

かにいつもの(温帯での)やり方に慣らされていて、温帯的なデータしか挙げられず、熱帯的なものが実際に見えてこないのかを痛感した。勿論私の能力不足のためである。しかし、これはブラジルやインドネシアの陸水研究者が逆であることをどうも意味しないようである。Wetzelの教科書で彼らが学ぶかぎり、それは温帯の湖沼学なのである。

また熱帯での経験で、私達はあまりにも温度や日長に慣れすぎていて、何か、見落としている因子があるのではとも思っている。

### 引用文献

- Adis, J. & Ribeiro, M.O.A. 1989. Impact of deforestation on soil invertebrates of floodplain forests in central Amazonian Brazil, and their strategies for survival during long periods of flooding. Bol Mus. Para. Emilio. Goeldi. ser. Zool. 5(1):101-126. (In Portuguese with English summary).
- Adis, J. 1992. Überlebensstrategien terrestrischer Invertebraten in Überschwemmungswäldern Zentralamazoniens. Verh. naturwiss. Ver. Hamburg. 33:21-114.
- Fukuhara, H. et al. 1993. Initiation of mass emergence of a tropical *Chaoborus* (*Edwardsops*) *magnificus* (Insecta, Diptera) at new moon. Tropics 2:29-34.
- Gliwicz, Z.M. 1986. A lunar cycle in zooplankton. Ecology 67: 883-897.
- 中村浩二. 1993. 熱帯における昆虫の生活史と個体群動態. 科学 63: 802-810.
- Saijo, Y. & Tundisi, J.G.(eds.). 1985, 1987 & 1989. Limnological studies in central Brazil. 1-3rd report. Water Res. Inst. Nagoya Univ.
- Sioli, H.(ed.) 1984. The Amazon. Dr. Junk, 763pp.
- Wolda, H. 1988. Insect seasonality. Ann. Rev. Ecol. Syst. 19:1-18.



# 土壌学から生態学へのアプローチ

高知大学農学部生物資源科学科生物環境化学講座 櫻井 克年

## はじめに

1990年に日本熱帯生態学会が設立されて以来、これまでに3回の年次大会が行われた。私は当初からのメンバーであるが、年次大会の講演の中に土壌学関係の発表がほとんどないことについて不思議な気持ちを覚える。多くの土壌学関係の研究者が熱帯で歩き回っているから尚のことである。確かに、熱帯学会ではなく、熱帯生態学会であるため、少々敷居が高いのは事実である。土壌科学の諸分野において学問領域が細分化されているために、生態学の領域に踏み込むのがおっくうになっているのかもしれない。しかし、国際援助関係の仕事に携わる研究者が増え、有効な援助はハイテクノロジーだけでなく、一見ありふれているようでこれまで見過ごされてきた視点を持ち、フィールド調査を含めた基礎研究を進めることが非常に重要であると感ずる。

## 土壌学と生態学

“これまで見過ごされてきた視点”の実態は、“土壌学からみた生態学観”が確立されていないことに通じるのではないだろうか。経験豊富な土壌学関係者が見たらおまえのような青二才が何をいうかとお叱りを受けるかもしれない。私の理解では、土壌学と生態学との接点は土壌と動植物の相互作用の領域にあると思う。小稿ではこれを土壌生態学と呼ぶことにする。以下に簡単にこれまでに行われてきた土壌生態学の研究について振り返ってみる。

生態学研究にとっての土壌は植物や動物の棲みかとしての位置付けである。もっとも盛んに行われてきたのは、炭素や窒素などの物質循環についての研究であろう。この場合、土壌は地上植生を支え、植生から供給される落葉・落枝を無機化し植物に還元する場である。落葉・落枝の分解者としての土壌動物、微生物の研究が

古くから続けられてきたが、このような生物が森林土壌のA<sub>0</sub>層を作るという観点からの研究の余地が残されているように思う。また、土壌微生物を専門に扱う生態学以外の分野の研究者は有用な微生物をスクリーニングする目的で土壌を捉えてきただろう。造林を目的とする場合、植林木の生理・生態を活かし順調に育成するための培地として、土壌の肥沃度や物理性が注目されてきた。この造林学は土壌学が植物関係の研究者と最も強い接点を持ってきた分野であろう。

一方、土壌学研究者が自然土壌を取り扱う場合は、植物や動物が分泌する有機成分と土壌中の無機成分の相互作用を中心に、森林での物質移動を基にした土壌生成論が展開されてきた。また、植物が分泌する他感作用に着目した研究は、栽培作物の連作障害対策として、さらに、作物にとっての有害土壌生物の積極的な駆除方策の一つとして展開されている。しかし、自然の森林ではどのような生態学的なダイナミズムが働いているかといった基礎的で普遍的な事象に、土壌学の研究者が取り組む必要があるのではないだろうか。

先にも触れたように、炭素、窒素、リン酸、バイオマスなどの物質収支の研究領域ではこれまでも多くのケーススタディが行われており、基礎データの蓄積も十分ある。従って現在なすべきことは、具体的なインパクトがかかった場合、これらの物質収支がどのような変化を遂げるかを明らかにすることであろう。そのためには、インパクトがかかる前の状態を客観的に評価できなくては意味がない。つまり、安定な生態系とは何か、安定な生態系は何故安定なのかという命題を土壌・植物・動物の領域から総合的に評価しておく必要がある。その評価を基にして始めて、自然のインパクトと人為のインパクトを的確に評価することが可能になる。

安定な生態系を維持するためには、あるいは維持できているところでは植物も動物も多様であることが必要条件であると考えられている。土壤の健全さもまた然りである。「良い土壤とはどのようなものですか?」と尋ねられたら、「保水性・排水性が共に良好で、各種の無機元素の賦存量と養分保持力が高く、有機物の量が多く、かつその組成が複雑で、生物相が多様である土壤です。」と答えると思う。質問の対象となる土壤が農業であるか自然であるかによって多少の程度の差はあるが、基本的には同じ答えになるだろう。ただし、農業は作物を収穫するための手段であるという宿命があるので、いくら環境に優しい農業を展開しようとしても自然に近い健全な土壤を維持することには所詮限界がある。良い土壤の実態をより具体的に説明しようとする、安定な生態系の中の土壤についてまだまだ解明されるべき点が多い。なかでも、フィールドに根ざした生態学的な土壤学研究をこれから積極的に展開し、動植物と土壤が共通の言語で理解し合うためのインターフェイスを設計し構築しなければならない。

### フィールド研究

動植物生態学関係の研究者はフィールドでデータを収集する。一方、土壤学関係の研究者はフィールドでサンプルを収集するが、その大部分は研究室に持ち帰ってから分析を行いデータを得る。サンプルを分析する人はフィールドを知らなくてもできる。つまり、フィールドと密接に関わっていなくても仕事はできる。このあたりに、土壤学が自然を対象に研究する際の限界があるように思う。もともと、土壤学は農芸化学や農学の中で確立されてきた研究分野であり、理化学的な分析結果をもとに直面する問題を解析してきたのである。土壤学が生態学の領域に深く入り込むには、フィールドに学び、分析に頼らないで現地を見つめる姿勢がより重要になってくる。フィールドの仕事で最も得意な分野は土壤断面の観察である。1 m四方、深さ

も1 m程度の穴を掘り、断面形態の観察から土壤の発達程度や物質移動の痕跡を知ることができる。土色も参考になる。土壤中の粘土含量も5 %程度の誤差で触感により判定できる。粒径の大きな礫や水分の多少、根の展開形態と量、有機物含量の高低などもある程度判定できる。これらの物理性だけでなく、近年市販されるようになった携帯用機器を用いれば、pHや電気伝導度は実験室レベルの値が得られるし、あまり正確な値は得られないものの、酸化還元電位などの測定もフィールドで簡単にできる。土壤学研究者も「歩く実験室」としてそこそこ活躍できるはずである。「土壤やさんはいつでも、どこにでも穴を掘る」と思われているかもしれないが、それなりの根拠があることがお分かり頂けたらどうか。

土壤断面の形態変化は数百年の時間スケールでゆっくりと起こるため、地形・母材・植生等の典型的で対象的な地点を数箇所選び、採取した土壤の分析結果から全体の物質の流れを推定してきた。自然は大きなゆりかごのようにゆったり構えている。従って、この手法は有効で、土壤の生成に関する「哲学」が産みだされ、今日に引き継がれている。しかし、これまでの仕事で根本的に欠けているのは、フィールドにまともな期間腰を据えて観察を続けることである。季節の循環や各種のインパクトが励起され続けることで最も激しく動いているのは養水分である。現在の植生を支えている養水分の動態を、2年とか10年とかいう中長期のタイムスケールで調べることが、今後生態系の動態を考える場合に役立つことであると思う。これまで主に理化学機器の野外での長期継続利用を考えた場合に、それに耐えうるセンサーの開発が不十分であるというハード面の制約を受けてきた。また、かりに高精度のセンサーが利用可能でも、予算上の制約のため利用できなかったことも大きな原因であったかもしれない。できるだけ費用をかけずに有効なデータを得ようとするとはやはり人力による継続的な観察に望みを託さなけ

ればならない。

### 【土を見て森を見ず】

「木を見て森を見ず」という言葉があるが、むしろ「土を見て木を見ず」という言葉が私自身を含めて多くの土壌学関係者に当てはまるような気がする。動植物のことを知りたいのだが、その訓練を受けた経験がほとんどないので知ることができないのである。その解決策の一つは他部門の人と一緒に仕事をする事、つまり、学際共同研究であろう。文部省科学研究費の交付を受けた重点領域研究や国際学術研究には様々な学問領域の人が含まれており、新鮮で刺激的な環境の中で学際的研究を楽しむことができる。

私が生態学関係の人と一緒に初めて仕事をしたのは、1981年に京都大学理学部植物生態研究所の田端英雄先生と一緒に同志社大学田辺校地の調査をした折である。「植物生態学をやっている人はなんてやくざなんだろう」というのが率直な感想であった。田端先生は土壌と植生の関係に興味を持って観察しておられ、特に、水と砂が植生のタイプを決めているのが面白いと強調しておられたのを今になって思います。当時、土壌学の「ど」の字も知らなかった私は、「ふうん」と思った程度であった。次の機会は、1987～1989年に大阪市立大学の依田恭二教授を代表とする科学研究費(国際学術研究)の交付を受けたプロジェクト「タイ国の荒廃地土壌における生物生産性の回復」に参加した折に訪れた。「毎木調査」という単語と意味と労力を初めて知った。植林木だけならいざ知らず、森の木まで1本1本測定するのですっきり驚いてしまった。この頃には土壌学の「ど」程度は知っていたと思う。単に私が生態学に無知であったことを紹介するためにこれらのことを書き綴ったのではない。これまで土壌学の研究(専門領域は土壌化学)をやってきて如何に生態学と無縁であったか、また、無縁でも済んだかということ、生態学の断片に触れてたくさんのカル

チャーショックを受けたことを伝えたかったのである。

1993年8月に、文部省科学研究費の交付を受けた創成的基礎研究の研究協力者としてマレーシア、サラワク州のランビル国立公園を訪れた。立派な森林の中にたたくツリータワーとウオークウェイは私にとっては巨大な自然の遊園地であった。「楽しいことするなあ」が感想である。約3週間滞在し地形や土壌を体感するために、サンプリングもせず自分なりの感想をメモしながらランビル丘陵を一人で歩き回った。もっとも印象深かったのはあちこちに巨大な倒木があることであった。こんなに多くの木が倒れてよく森が維持していけるものだと、感心と驚きが交錯した。もちろん木の名前はさっぱりわからなかった。しかし、国立公園内に設置された50haプロットでは直径1cm以上の木に番号がついており、いわゆる「毎木調査」のデータがあるので安心である。また、ツリータワー周辺の大きな木にも番号がついておりやはり「毎木調査」のにおいがした。50haプロットの内部には、10数年前にピーターアシュトン博士らのグループによって開かれた土壌のプロファイルがあった。落葉に埋れ、その中から新しい生命が吹出していた。人為的に作られた地表のギャップで生育を開始した *Dryobalanops lanceolata* の幼樹であった。森林内で自然に生れるギャップがどのような役割を担っているのかを垣間みると同時に、自然の生態系を知るために、土壌を攪乱せずに土壌を知ることが如何に難しいかを自覚する契機にもなった。

この調査の直後、9月末に塩害に関する調査のために東北タイを訪れた。乾季の始めで、塩害地の広がりには判別しにくかったが、逆に恒常的に塩害の影響を受ける場所とそうでない場所の判別が可能であった。このように荒廃の進んだ土壌を如何に回復し、管理するかもまた土壌学研究者の重要な仕事の一つである。ランビルの自然林を歩いた後にこの調査を行ったことから、次の二つのことに改めて気付いた。一つは

自然に近い生態系と、極度に攪乱を受けた生態系の違いを見ることで、人為のインパクトのものを再確認できたことである。環境の保全や回復を目指すためには、様々な生態系や地域社会を的確に把握する必要がある。いま一つは調査時期の問題である。乾季と雨季の差の大きい熱帯アジア諸国では、土壌中の諸現象も気候の影響を大きく受ける。また、年間の気温・地温の格差も冷温帯地域に比べれば小さいもののやはり重要な因子である。これらの問題を解決するためには長期のモニターが必要となる。ある一時期のみを観察して生態系や土壌を判断しないように心掛けたい。

### 何をしたらいいのだろう

私個人としては、土壌学からの生態学へのアプローチとしてさしあたって次の二つのことを始めようと考えている。その一つは土壌水分の動態のモニタリングである。いま一つは複雑な地形と土壌の関係を詳細に調べることである。いずれもフィールドで実施可能である。過湿も極度の乾燥も植物に与えるストレスが大きく、その強度や期間がストレスの程度を左右する。微地形の違いはほんの数m離れた地点でも異なる水分条件を作り出す。しかし、農業に関連する問題を主な研究対象としている間は、たとえフィールドでの水分動態が詳細にわかったにせよ、水分環境をキメ細かに制御し収量増を目指すことの経済的メリットが少ない場合が多い。そのために全体的な傾向を把握し実行可能な方策作りを目指すことになる。自然の解析を目指せば事情は完全に違う。微地形の解析は植物の立地の可否の判定につながるかもしれないし、微地形を反映した土壌の多様性が植物の多様性を決める最も重要な要因であることがわかるかもしれない。

また、土壌有機物の予備軍であり、動物活動の盛んな地表に積った落葉落枝の量を、地形や植生の関係からどう評価したらよいかということも、いずれは手を付けようと考えている。ま

た、これらが土壌動物・微生物のはたらきで分解されて溶出する低分子の有機酸は、土壌中でおこる全ての化学反応に関わる最も活性の高い画分である。加えて、根は養水分の吸収の目的で様々な溶出液を土壌中に供給している。これらの有機物の動きは物質レベルで詳細に検討しなければならない。土壌溶液は現地で比較的容易に採取できるし土壌の攪乱もごく僅かですむのでフィールド中心の研究にはうってつけである。土壌溶液中の養分や有機酸含量の迅速定量法が確立されつつあるのも心強い。

土壌動物の研究は既に精力的に行われているが、土壌微生物のはたらきについてはまだまだ不十分であろう。最も一般的なものは炭素循環の解析を目的に行われてきた土壌呼吸の測定であるが、二酸化炭素発生源である微生物種の同定はもちろん、主要な微生物による呼吸速度の違いがあるかどうかもわかっていない。また、土壌呼吸のうち根の呼吸量のみを分けて評価するのも難しい。ここでもやはり土壌有機物の組成や量、微生物の種類と呼吸量、樹種、根量、微地形や水分環境など、土壌を中心としたヘテロな系の客観的評価がきわめて複雑であることを認識せざるを得ない。しかし、少しずつ解決しなければ現状は変わらないままである。

具体的に研究を進めるにあたっては、フィールドの選択が最も重要であり、その必要条件は、動植物に関する詳細なデータが得られることである。地形、地質や気象の詳細なデータがあるとさらに助かる。現在のところ、それらのデータを系統的かつ効果的に土壌と結びつけて解析する方法は確立されていない。ともかくフィールドとラボを結びつけて各種のデータを解析し、大規模な事象と小規模な事象を結びつけ、地球規模のダイナミクスにまで発展させる努力を続けることが、今最も必要な研究姿勢であると考えている。「自然情報解析学」あるいは「土壌情報解析学」が現在の私の研究目標である。1994年はマレーシア、サラワク州のランビル丘陵の他に、タイの東北タイの南縁にある

サケラートの森林で調査を行う予定である。将来は、インドネシアのパソーヤスマトラ、パナマのバロ・コロラド島などの大規模プロットにも足を延してみたい。もちろん、国内の仕事も手掛けたい。

いずれにせよ、ある程度広範に適応可能で、学生にでも容易に実行可能な研究手法を確立しなければならない。ごく少数の研究者だけで生態系の中の土壌を様々な角度から検討するのは不可能である。そのためには、土壌生態学への関心を広げる必要がある。幸い、現在は生態学がひとつのブームになっている。この機会に多くの土壌学関係者が“生態系に乱入”してくることを願う。また、植物生態学関係のみならず、動物生態学関係の人の土壌学に対する興味を刺激するような仕事もしたい。いわゆる生物学へのアプローチである。

以前、京大の助手をしていた頃、砂浜のカニの食う土と食わない土の分析をしたことがある。カニが自分の巣のバリケードとして集める

土の方に若干有機物が多かったように記憶している。また、岩田山のサルの土舐場所とそれ以外の土を分析したこともある。この時は有機物・無機物含量ともにはっきりした差は認められなかった。カタツムリにエサの一部として与える土と糞塊として排出される土の分析もした。カタツムリの体内を通過した後にはカルシウム、マグネシウム含量が激減していることが分った。しかし、食べる土と食べない土との差ははっきりしなかった。これらは、限られた例にすぎないが、私にとっては非常に興味深く楽しい経験であった。それと同時に、これまで私が無頓着であった分野の人の中にも、土壌の性質を知りたいと考える人がいることを知る機会となった。

土壌学から生態学へのアプローチは依然として未知数だらけであるが、行く手を探りながら、じっくりと楽しみながら取り組みたいと考えている。