

スラウエシのサル調査と最近の研究事情

渡邊 邦夫 (京都大学霊長類研究所)

インドネシアのスラウエシ島は、面積にして 18 万平方キロ、本州の 5 分の 4 ほどである。この島の中にニホンザル (*M. fuscata*) と同じマカカ属のサル 7 種が、生息域を分け境界を接しながら、詰め込まれたかのように生息している。これらの種の総称をスラウエシマカクと呼ぶが、その形態的な変異と種分化の実態は、古くから多くの研究者の注目を集めてきた。

特にスラウエシ北半島先端部に棲むクロザル (*Macaca nigra*) やゴロンタロモンキー (*M. nigrescens*) は口蓋部が大きく突出しており、アフリカのヒビと似た風貌をしている。一方、南部に棲むムーアモンキー (*M. maurus*)、ブーツモンキー (*M. ochreata*)、ブトンモンキー (*M. brunnescens*) の 3 種はマカカ属のごく一般的な形態に近い。この中間にヘックモンキー (*M. hecki*) とトンケアンモンキー (*M. tonkeana*) の 2 種が分布しているが、それぞれに特殊化した形態的特徴をもちながら、少しずつ変わっていく。つまり、北から南に向かうにつれ、より特殊化した種から一般的な形態の種へと、種間での連続した変異が認められるのである (図 1 参照)。

マカカ属は現在、霊長類の中ではもともと優勢な分類群の一つで、分布域は広く、中国から日本、台湾、インド、スリランカ、インドシナ半島、東南アジアの島嶼部へと分布を広げている。化石が出てくるので、地質時代にはヨーロッパや中東にも広く分布していたはずだが、現在は北アフリカとジブラルタル半島にバーバ

リマカク (*M. sylbanus*) がいるのみである。マカカ属には、アカゲザル (*M. mulatta*)、ブタオザル (*M. nemestrina*)、カニクイザル (*M. fascicularis*)、チベットモンキー (*M. chibetanus*) 等、全 19 種が含まれる。興味深いことは、スラウエシマカクはマカカ属全体の分布域のわずか 5% を占めるにすぎないけれども、その形態的な変異は他種全てを含んだ変異幅に匹敵し、かつその変異はサイズではなく形 (シェイプ) の違いに基づいているということである (Albrecht, 1978)。

スラウエシマカク 7 種の違いと種間雑種の存在

スラウエシマカクにおける形態的な変異の大きさは少なからず初期の分類学者を悩ませたらしい。特にスラウエシ島の開発はマカッサル (ウジュンパンダン) を中心とした南西半島と、北半島の先端部メナド周辺の地域のみが大きく先行していたため、たくさん標本が集まったのはクロザルとムーアモンキー、つまりいちばん特殊化した種と一般的な形態を保った種に偏っており、その間に様々な標本が混じり込むという状況だったからである。1960 年代末までは北半島に生息する種は別属 (*Cynopithecus*) に分類され、マカカ属とは区別されていた。

1969 年になってフーデンが世界各地に存在するすべての標本を調べ直し、ようやく北から南へと連続して異所的に生息する 7 種が認められること、これらの種は全て同一の系統に属するものと考えられることなどを明らかにした。

それによってスラウェシマカクの種類上の位置が定まったわけだが、なぜこのような特殊化が起こったのか、また種の違いがどのように形成され、かつ維持されているのかという点については、不明なことが山ほど残されている。またスラウェシマカクはウォーレス線を超えて東に分布している旧大陸系の種であるが、スラウェシ島がかってボルネオ島とは陸続きになったことはないと考えられていることから、遠い過去に祖先が何らかの理由、つまり流木に乗って運ばれるなどしてたどり着いたのだらうと言われている。それにしても、いつ、どこに上陸したのか、祖先形はどうだったのかなど、はたして一度だけの移住だったのかなど、興味ある問題は多い。

とりあえずスラウェシマカク種間に認められる形態上の主な違いを挙げておくと、1) 顔面：北の種ほど口蓋部の突出が大きい。2) 体毛の色のパターンが種によって明らかに異なる。3) 尻ダコの形と色が種によって異なる。特に北のクロザルからゴロンタロモンキー、ヘックモンキー、トンケアンモンキーの間でその差が大きい。4) 尾はいずれも短いが北の種では木の切り株状になる。5) 南の種には尾の両側、尻ダコの上にグルティアルフィールドと呼ばれる毛のない部分がのびている。その他にも、頭頂部に長くのびた毛の房があるとか、尻に大きく目立った白毛の部分があるとか、それぞれの種毎にいくつかの特徴がある(表 1)。

これらの種の間には種間雑種が存在することはフーデンの論文の中でも示唆されていた。ほんの 1~2 例ではあったが種間の中間的な特徴を持った標本が確かに存在したのである。それを手がかりに、グローブス(1978)が種の境界域を実際に踏査してみた。そうしたところ、ふた通りの種の組み合わせ、北からクロザルとゴロンタロモンキーの間、そしてヘックモンキーとトンケアンモンキーの間で種間雑種と思われる個体が存在した。また南東半島のブーツモンキーとその南の島に棲むブトンモンキーとは海峡によって隔てられているが、形態の違いはごくわずかである。こうした事実に基づいて彼はスラウェシマカクを 4 種に分類しなおした。

種間雑種の認められる組み合わせについては亜種の違いであるということを提唱したわけである。

私たちが初めてスラウェシ島に入ったのは 1981 年だが、当然こうした種の違いや種間雑種の存在ということを意識せざるをえなかった。共同研究者である竹中修京大教授が全域を回って、住民がペットとして飼っているサルを調べて歩いた。この当時は、ジャワやバリ、ロンボクからの移民が大量に送り込まれており、あちこちで開墾が行われていた。だからその過程で捕獲され、ペットとして流通しているサルもかなり多かったのである。3 回ほどの調査行で島内をほぼくまなく歩き回り、250 個体ほどのサンプルを集めることができた。ところがその中には 1 頭も雑種と思われる個体は含まれていない。だから調査グループの中では、むしろ種間雑種の存在そのものを疑う意見の方が強くなっていた。

これら 250 個体ほどは形態的な特徴からすべて 7 種のうちのどれかに分類可能だった。だが、血清蛋白の遺伝的な分化を調べてみると、まるで種の違いは検出できない(Kawamoto, 1996)。北から南へと少しずつ変化していくけれども、種間のオーバーラップが大きく、またそれぞれの種の特徴となるマーカーは全く見つからない。むしろこの結果からは、スラウェシマカク全体として一つの種であり、その中に地域的な変異があるというぐあいに考えた方がいいということが示唆されたのである。

スラウェシマカクはどの種も熱帯林に棲み果実食中心の生活をしていて、はっきりした生態的な違いはない。その熱帯林も種の境界域を含んで南から北まで連続しており、これらの種が最近になって二次的な接触と交雑を強いられるような攪乱があったとはどうしても考えられない。しかし外見ではっきりわかる違いは明らかに存在するし、また集団間でなきかわすラウド・コールにも種間の差があつて、耳で聞いただけで簡単に区別できる。

こうしたことから、再度種間雑種とおぼしき個体がないかどうかを念入りに調べてみた。まず中部スラウェシ州でトンケアンマカクとヘック

モンキーのペットザルをシラミ潰しに調べてまわり、百頭余のサンプルを集めることができた。そうしたところ、2頭だけ雑種と思われる個体が見つかった(Watanabe et al. a, 1991)。これらの個体が見つかったのは2種の分布域からすればほんのごく一部、北半島の基部を東西に連結するスラウェシ縦貫道に沿った、せいぜい幅 20~30km ほどの地域である。どうやら交雑が認められるにしろ、そう大規模なものではないらしい。だとすると、2種の交雑帯ではどのような種間の交渉が認められるのだろうか。

別の種の組み合わせでも、境界域にはやはりごく少数だが疑わしい個体がいる。どうやらスラウェシマカクは種間の境界域では交雑しながらも、全体として大きな形態上の違いを維持しているらしいのである。こういうものを1種とすべきなのか、あるいはやはり明確な形態的相違に基づいて7種とすべきなのだろうか、それが問題になった。

交雑帯のサルの特徴

トンケアンマカクとヘックモンキーの間に交雑帯がある。それはスラウェシ縦貫道沿いの直接観察からもすぐ明らかになった。野生の群れの中には、どちらともつかない個体ばかりが認められるのである。ただバードウォッチング用のフィールドスコープでやっと確認するだけでは、何とも心もとない。そこで群れの捕獲調査を行った。道沿いに1991年から1995年まで、合計で7群8回の捕獲を行ったが、驚いたことにわずか10数キロほどの間で、東側はトンケアンモンキーに近い群れ、西側にはヘックモンキーに近い群れの存在が確認されたのである。

いずれの群れにも、比較的トンケアンマカクに近い個体もヘックモンキーに近い個体もいる。しかし一方の種の特徴を完全にそなえた個体はほとんどいない。様々に両種の特徴を混ぜ合わせたような個体、あるいはそれとは少し違った特徴を持った個体が混在しながら、全体として少しずつ変わっていくのである。この地域に生息している個体が全て種間雑種ばかりであることは明らかである。だがどう見ても雑

種第1代なのか2代目なのか、そのへんは判断しようもない。群れにはコドモやアカンボもいるから、こうした雑種個体が群れ内で持続的に再生産されていることもまた明らかである。それでいて隣り合った群れ間でも、明らかに形態上の有意差が認められる場合がある(図2)。何と云っても形態的変化のクラインは急激で、ほんのわずかな地域内でどんどん変わっていくのである。

しかし一方で、血液サンプルからはまるで遺伝的な集団間の違いが検出されなかった。要するにこの地域のサルの遺伝子はよく混じり合っていて、黙ってこれだけの資料を見せられたら、一つの種としか判断できないという。それはスラウェシマカクの種間でみられる遺伝的な変異性と共通している。不思議なことはまだあって、mDNAの変異からはこの地域のサルは全てヘックモンキーに由来するものである可能性が高いという。Y染色体も調べられたが、こちらはトンケアンモンキーのタイプもいるが、やはりヘックモンキーに近いという。だとするとヘックモンキーの群れにトンケアンモンキーのオスが入り込んで交雑しているということになるのだが、どう考えてもそんなことはありそうにもない。交雑帯内部にはトンケアンモンキーに近いオスも多数存在するし、何よりももともと東側の群れの個体はほとんどがトンケアンモンキーに近い形態をもっているのである。

要するに交雑個体を調べていると、我々が確認している形態的変異はごく少数の遺伝子によっているのだということが見えてくる。そしてその形態的な相違をもたらすであろう遺伝子以外はけっこうよく種間で混じり合っているらしいのである。だとすれば形態的な変異が維持されているのはどのような機構によるのだろうか。これらの種が最近になって新たな接触を持つようになったのではないということはすでに述べたとおりである。この交雑地帯には昔から牛車が通うぐらいの道があった。第2次世界大戦時にも大砲を引いて、日本軍が通ったという。しかし本格的に車が通るような道が開かれたのは1960年代になってからである。その頃はまだ鬱蒼とした熱帯林が道を覆っていた

し、サルの群れは現在よりもはるかに多かったという。だから少なくとも数百年以上前から、2種の接触は連続として続いていたと考えられるのである。

交雑群の観察

種間雑種の個体には形態的中間形だという以外にもいくつかの特徴があった。まず第1に気がついたのはどのサルも汚いということである。なぜかというと、皮膚病が多い。そしてダニがついて耳や乳首、脇腹などにいろいろな病変部がある。顔の上半分が皮膚病であるとか、額に毛のない部分があるコドモだとか、左耳が真っ白なサルだとか、ひどい例になると頭から体幹部、手足まで毛が無くなって裸同然のサルもいる。さらに奇形個体が多数いる。睾丸が片方しかない個体、下顎ばかり大きくてかみ合わせがうまくできない個体、額がゆがんでいて明らかに右と左では顔つきが異なっている個体など、一つの群れの中だけでも何頭か変な個体がいるのである。

その他にも、赤血球数が少ないとか、麻酔にかかりにくいとか、あるいは精巣組織を調べてみたら、精子形成がうまくいっていない個体がいるなどということも明らかになった。こういうことは全て、雑種個体が何らかの生存上不利となるような特徴を持っていて、それが結果として交雑が広がり、種間の違いが無くなるのを妨げているのだということを示唆していた。

ただこの種の研究で難しいのは、それが母種とは違って本当に異常なのかどうかを確かめる必要があることである。つまりもともとの母種両方も調べなければならぬから、それだけで手間が3倍になる。さらに難しいのは、最初から何が起きているのかを推定することはどうも不可能だということである。一から手探りで探し当てていくしかない。だから型どおりの調査を一度済ませればそれでいいということにはとてもなり得ない。我々はこの交雑帯から北へ100kmほど行ったところで、ヘックモンキーの対照群を調査しているが、はたして外部寄生虫のついた個体や、赤血球数の少ない個体が見つかった。精子形成のうまくいっていな

い個体もいる。ただし程度の差は明らかで、交雑帯のサルでは明らかにひどい。ただ有意差がでるかどうかというそんな結果になる。質的な差が明らかであれば少数のサンプルでもいいが、量的な比較が必要だとすると多数のサンプルを集めなければならない。特に精子形成の問題などは、百頭単位でサンプルを集めて比較しなければ、本当に正確な差は出せないというから、そうすると殆んど絶望的である。

本当に種間雑種にはなんらかの異常があって、それが交雑帯の拡大を抑えているのかどうか、それを確かめるためには二つの方法が考えられた。一つは典型的な交雑群を群れごと実験室に移して徹底的に調べ上げること、もう一つは野生群を継続観察して実際に彼らの生き死を、あるいはその繁殖状況を確認することであった。第一の方法だと、物価の安いインドネシアでも1頭あたり1日1ドルほどの経費がかかる。日本に連れて帰ることは現在ではどうも困難である。インドネシア国内では、設備に投資してもそれが様々に膨れ上がるであろうことは目に見えているし、内々に交渉したところではせいぜい5頭程度までだったら野生サルの実験室への持ち込みも認めるということだった。それでは結局現象の一部しか見ることはできないであろう。

結局、交雑帯の中に餌場を設けて、長期観察を行うという方法をとらざるを得なかった。人に慣れすぎるとを防ぐため、ダンボールを使ったシェルターに隠れて、常に多少の距離を維持するという観察になった。紆余曲折を経ながら、2001年1月から餌付けを始めたのだが、幸いなことに2群が同時に餌付いてくれた。1群は34頭、もう1群はそれより多少大きく40頭程度の群れである。これらの群れの特徴はオトナオスが非常に多いことだった。だから社会的性比は1:1に近い。これまでに観察された他のスラウエシマカクの例では、社会的性比は1:3から1:4程度である。そしてその中の第一位オス1頭が交尾を独占している。

まだ観察は継続中なので、2002年5月までの途中経過を述べておくと、この間21頭いたオトナメスのうち3頭が死亡した。マカカ属のオ

トナオスは本来群れ間を移動して歩くものだが、ここでもそれは同様で数頭のメンバーチェンジがあった。餌付いた 2 群間を移籍したオスもいる。2001 年の出産は 2 群あわせて 7 頭(出産率 33%)、その内 3 頭が死亡している(幼児死亡率 43%)。この数字は明らかに繁殖状況が悪いことを示している。ちなみに南スラウェシで 1987 年以降継続観察を続けているムーアモンキーの例では、オトナメスはほぼ 2 年に一度出産しているし、幼児死亡率は 10%を少し上回る程度である(Okamoto et al., 2000)。

またオトナメスの死亡が多く、このペースで行くと 7 年で全ての個体が入替わる計算になる。実はこれには伏線があって、今餌付けが行われている場所は、かつて 1991 年と 1995 年に 2 度群れ捕獲が行われた場所である。4 年間の間において捕獲されたのだが、外見上前にいたと思われる個体がおらず、また遺伝的な性状が一致する個体もいなかった。だから違う群れが捕獲されたものと思われていた。しかしメスが高頻度で死亡するとなると話は別である。実際、交雑群ではオトナオスの比率が異常に高い。死亡したと思われるメスであるが、一例だけ理由が推定できるものがある。出産後に脱肛が起り、最初は黄色っぽい腸が出たままになり、その後は赤く色が変わって、3 ヶ月以上続いた後でいなくなった。だからおそらく何らかの感染症が起こったものと考えられる。こんな症例は半世紀にわたるニホンザルの観察でも聞いたことがないが、実はこの交雑群では 1991 年の調査時にも確認されているのである。なおムーアモンキーの場合は、1987 年にいたオトナメス 7 頭中、10 年間で 3 頭しか死亡していない。

このような繁殖状況が毎年同じように見られるのかどうか、年変動があるにはずだしそれがどの程度なのか、まだ不明のままである。どうやら先が少し見えてきたとは思えるが、結論を下すにはなお数年の調査が必要になろう。

野外研究をめぐる最近の状況変化

野外調査を遂行する上では、そのつど採ってくる各種のサンプルが大きな意味を持って

いる。今回の調査でも、いったん収集されたサンプルは研究室に保存され、必要に応じて様々な分析に使われてきた。しかし最近になって大きな規制がかかるようになってきている。2001 年の 2 月にボゴールで森林省自然保護局(PKPA)の会議があった。その席で、あらゆるサンプルを採取しようとする調査は大臣の認可事項とするということが伝えられたという。これはサイテスがらみの話だと後で聞いたが、サンプルという言葉でひとくくりにするところ、またすぐに上級者に決済を引き上げるところがいかにインドネシアらしい。生態調査に必要な植物標本だって、サル糞を洗った標本だって、何もかもがサンプルである。国内の研究機関にも全て適用されるから、森林省が大学に依頼して行っている調査も例外ではない。

折しも、雑種群のコントロールとして母種からのサンプルを得たいと思っていた時であり、我々はすでに通常の調査許可はインドネシア科学庁(LIPI)からも、森林省からの自然保護区域内での調査許可も得ていた。しかしトンケアンマカク捕獲調査の件を話すとその調査地であるローラカラマンタ国立公園事務所に、けんもほろろに断られてしまった。提出した調査許可願いに”サンプル”の単語がある。したがって、森林省大臣の許可が必要であるということだった。いまさらジャカルタに戻って、繁雑な役所まわりをしていたらとうてい調査期間間に合わない。こういった突然の政策変更にも泣かされるが、一方中部スラウェシ州自然保護局の局長は、今回は見逃してやるというありがたいお話であった。それによって何とかヘックモンキーの捕獲調査ができ、予定通りサンプルを得ることもできたからである。

だが後で考えてみると、この話には二つの深刻な社会状況の変化が隠されていた。一つはローラカラマンタ国立公園の危機的な管理問題、もう一つは地方自治の促進に伴う中央政府の弱体化である。ローラカラマンタ国立公園は中部スラウェシの州都パルから南下した山岳地帯にある。国立公園設置にあたって周辺 20 数町村の住民との了解がなかなかとれず、結局はスハルト時代の強権によって支えられ

て成り立っていたようなものである。もともと森林内部に住んでいた山地住民たちが、国立公園内部で少しずつ耕地を拓けていたし、折からのポソ県で起こった住民紛争もあって、人口の急激な増加を従来の可耕地だけでは支えきれなくなっていた。

2001年6月には、地域の住民がいっせいに押しかけてこれら20数町村の農家全てに2haの耕地を保証するよう要求した。とうていそのような要求がのめるはずもなく、交渉は決裂したのだが、もっとも要求の激しかったカマローラ地区からシントタ地区にかけては、国立公園職員の駐在所が焼き討ちにあってしまった。直接の原因は国立公園側の対応に、縁故主義や情実による依怙最良があったということだが、いずれにせよ私が調査許可を申請した頃はすでに火の粉が舞っていたのである。

この混乱がどれほど深刻なのかということだが、1年たった現在も国立公園職員は全く手出しができず、この地域は野放図な森林伐採・農耕地化が限りなく進められている。前述した国立公園事務局長は日夜電話などで脅迫され、まず妻子をジャワに帰し、最近では本人も月に数日いるかどうかだという。さらには所長交代の時期が来ているのだが、こうした状況でなり手がいない。まさに国立公園の管理体制そのものが崩壊寸前なのである。似たような例はスラウェシ各地だけでなく、スマトラやジャワなど至る所から聞こえてくる。まだローラカマラン国立公園の混乱も一部地域にとどまっているが、早く立て直さないことには、手遅れになってしまうであろう。

同様なことは、中部スラウェシの自然保護局でも起こっていて、レンジャーたちが言うには局長たちがデモ隊が押しかけるのを恐れて、彼らが密猟や密伐を取り締まるのをひかえるように命令しているという。各州出先機関の長には普通ジャワ島人が派遣されてくるが、昔から各地域住民には”ジャワ人による占領”という陰口がたたかれていた。それが地方自治のかけ声の中で、どんどん力を無くしてきている。現在は、中央政府と直接つながっている州長官よりもそれぞれの地方名士がなる県の長官

(クブパティ)の方が、ずっと利権に近いと言われるようになった。州の長官は土地や住民を直接持っていないが、県の長官は直接そこからの利益を手にすることができるというのだ。

こうした出先機関の弱体化を思わせるのは、最近よく聞くようになった役所内の暴力沙汰である。職員にとっての臨時収入と直結する役所内でのプロジェクト分配や、中央政府からの種々の分配物、そういうものをめぐってスラウェシ自然保護局の副局長は何度も殴られたという。局長が止めようとしても、かえってくつつかられるのがおちで、どうにもならない。こういうことを聞いていると、インドネシアもいったいどうなるのやらと思うのだが、かろうじてまだ一応の体裁は保っている。

昔から知っている自然保護局員は、金をもらってデモに参加した経験話を話してくれた。数年前まではこの国でデモなどほとんど見たことがなかったが、彼は2万ルピア(300円ほど)もらって、覆面で顔をかくし、中部スラウェシ州政府前で”森林を守れ”というデモに加わったという。ちなみに音頭取りのリーダーは15万ルピアだったとか、資金は外国のNGOから出ているのではないかなどと言っていたが、真偽のほどは定かでない。

こんな状態だから、中央政府の出す調査許可も地方に行くと簡単に無視されてしまったり、地方が独自に出してしまったりする。現在インドネシア科学庁の調査許可を得ると、一回のインドネシア訪問につき100ドルが手数料として徴収される。ところが南スラウェシの自然保護局は独自に20万ルピアほどで調査許可を出してくれる。おまけにその調査許可書には、インドネシア科学庁宛のコピーまでついてくるというのだから、我々には何とも理解に苦しむところである。

私のインドネシア側対応者であるボゴール農大のスタッフと共に、中部スラウェシのタドゥラコ大学で学長を交えた懇談会をしたことがある。このボゴール農大の教官は、本気で地方大学の離反を恐れていた。今のうちにきちんとした体制を作らないと、地方大学は自分たちの権利ばかり主張するようになるだろうし、イン

ドネシア科学庁はどんな許可でも出し与えるだろう、だから收拾がつかなくなるし、ジャワ島の有力大学も島外でこれまで築き上げてきた基盤を失いかねないということであった。

インドネシアの政変から数年経ち、今ようやく隔々にまでその影響が広がってきている。一つだけいい方向の変化をあげれば、役所の仕事スピーディになったことである。民主的な政権による健全な立ち直りを期待したいが、当分はハラハラしながらの調査行が続きそうである。先行き不安なことばかりを書いたが、一般のインドネシア人そのものが決して良心を失っているわけではない。それなりの常識を持って、向上心に燃えている。またインドネシアという共通の国家的基盤はもはや簡単には覆らないであろう。暖かく見守りつつ、できるだけ支援をしていきたいものである。

文献

Albrecht, G., 1978. The craniofacial morphology of the Sulawesi macaques - multivariate approaches to biological problem. *Contri. Primatol.*, 13:1-151.
 Fooden, J., 1969. Taxonomy and evolution of

the monkeys of the Celebes (Primate: Cercopithecidae). *Bibliotheca Primatol.*, 10:1-148. Karger Basel.

Groves, C. P., 1978. Speciation in Macaca: the view from Sulawesi. In: *The Macaques; Studies in Ecology, Behavior and Evolution*, D.G.Lindburg (ed.) van Nostrand Reinhold., New York, pp.84-124.

Kawamoto, Y., 1996. Population genetic study of Sulawesi macaques. In: *Variation in the Asian Macaques*, Shotake, T., & Wada K., eds., pp.37-63.

Okamoto, K., S. Matsumura, & K. Watanabe, 2000. Life history and demography of wild moor macaques (*Macaca maurus*): a summary of ten years' observation. *Intl. J. Primatol.*, 52:1-11.

Watanabe, K., H. Lapasere, & R. Tantu, 1991. External characteristics and associated developmental changes in two species of Sulawesi macaques, *Macaca tonkeana* and *M. hecki*, with special reference to hybrids and the borderland between the species. *Primates*, 32:61-76.

表1. スラウェシマカク7種の外部形態特徴の違い

	クロザル (<i>M. nigra</i>)	ゴロンタロモンキー (<i>M. nigrescens</i>)	ヘックスモンキー (<i>M. hecki</i>)	トンキアンモンキー (<i>M. tonkeana</i>)	ムーアモンキー (<i>M. maurus</i>)	ブーツモンキー (<i>M. ochreata</i>)	ブトンモンキー (<i>M. brunnescens</i>)
突顎の程度	非常に顕著	非常に顕著	顕著	多少目立つ	目立たない	目立たない	目立たない
頭頂部クレスト	長く直立	長く後方へ伸びる	あるが目立たず	さほど目立たず	なし	なし	なし
体の色	黒	茶褐色	黒	黒	茶褐色	黒	褐色
腹部の色	黒	黒	茶褐色	黒	茶褐色	黒	褐色
頬の色	黒	黒	茶褐色	白	茶褐色	黒	褐色
手の色	黒	黒	茶褐色	黒	茶褐色	白	白
足の色	黒	黒	淡褐色	黒	茶褐色	白	白
ランブパッチ1	なし	なし	小さい 色は茶褐色	大きく目立つ白 毛は周囲より長い	小さくあまり 目立たない	大きく白い 毛は周囲より短い	大きく白い 毛は周囲より短い
尻ダコ	そら豆形 鮮やかなピンク色	長く伸びた卵形 黒褐色	そら豆形 灰色	卵形 ピンクオレンジ	卵形 ピンクオレンジ	卵形 ピンクオレンジ	卵形 ピンクオレンジ
グレイアル フィールド2	なし	大、尻ダコから 斜め上に伸びる	なし	大、尻ダコから 上に伸びる	大、尻ダコから 上に伸びる	大、尻ダコから 上に伸びる	大、尻ダコから 上に伸びる
尾の長さ	短 (1-3cm)	短 (1-3cm)	短 (1-3cm)	長 (4-6cm)	長 (3-5cm)	長 (3-6cm)	長 (3-6cm)

Fooden (1969), Albrecht (1978), Watanabe & Matsumura (1989)による。 1) 尻の体毛が周囲と違って目立つ部分、 2) 尻ダコの上に伸びる毛がないか、非常に薄い部分。

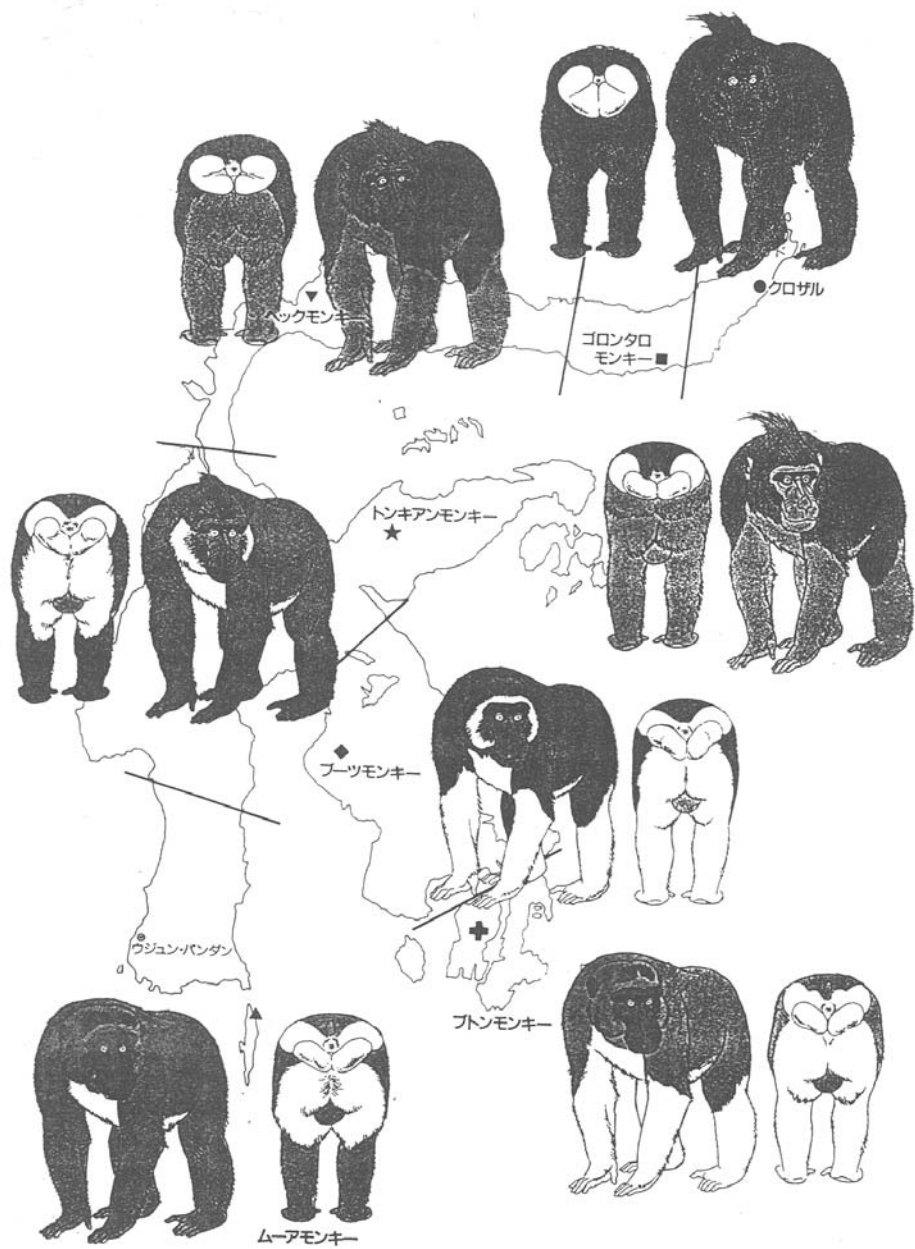


図 1. スラウェシマカク 7 種とその分布

荒廃熱帯林のランドスケープレベルでの リハビリテーションに関する研究

植田 愛美・小林 繁男(独立行政法人森林総合研究所)

今年度から環境省地球環境研究総合推進費による新規プロジェクト「荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究」がスタートしました。このプロジェクトのサブテーマ4の担当として、どのような研究なのか、具体的な内容はじめ、今後のビジョンなどをご紹介します。

はじめに

森林の減少、それに伴う自然環境の劣化は深刻な問題です。特に熱帯地域では加速度的に森林の荒廃が進んでいます。熱帯林が荒廃すると、森林資源の減少ばかりでなく、生物多様性の激減や環境保全機能の劣化などが、その地域だけではなく、地球規模での問題となります。つまり、熱帯林の保護・保全は地球環境問題として考えられます(写真1~4)。

現在、熱帯林に関する社会経済・研究のニーズには、地球温暖化防止対策・持続可能な森林管理・生物多様性保全・砂漠化防止・木材認証制度等があります。これらは、COP6(京都議定書)、モントリオールプロセス(基準指標)や ITTO2000(持続的森林管理)などで協議されている通り、一連の国際条約等と密接に関連しています。また、持続的な熱帯林の管理については国連森林フォーラム(UNFF)では基準指標を設定し、それに対するモニタリング・アセスメント・リポーティングという方針を検討しています。さらに、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)では「土地利用の変化と林業(LULUCF)」という課題で検討もしています。このように、熱帯林の減少・劣化が地球環境に与える多大な影響についての協議は進んでいるものの、荒廃した熱帯林の修復の検討は、まだ少ないのです。

研究の目的・課題

荒廃した森林や農地など、これらの土地では生物多様性の低下、バイオマスの減少、地力の低下が著しく、自然生態系の環境保全機能が劣化しつつあります。このような荒廃地を自然資源供給の場に修復し、修復した森林を利用することで残存する熱帯林への利用圧を減らすことは、自然資源の利用が必須の人間生活にとって、早急に実施すべき課題です。そのためにも、荒廃した森林を修復する技術を開発することは急務であるといえます。

このような森林(荒廃熱帯林)を修復するには、まず、これらの生態系のランドスケープレベルでの修復技術の開発が必要です。このための研究として、択伐跡地・二次林・荒廃灌木林など荒廃林地の修復技術の開発と種多様性の評価、ランテーション跡地などや人手の入った荒廃地の修復と二次林樹木特性の解明、一斉早成樹人工林へのナチュラルフォレストコリドー導入による触媒効果の評価と立地管理方法の開発を行います。さらに、森林修復管理オプションの社会経済的適応可能性の評価と地域住民参加によるランドスケープレベルでの土地資源管理計画策定に関する研究を行うとともに、現存するネットワーク情報の交換やプロジェクトの総合化を行うためにデータベースと国際ネットワーク構築を行います。最終的には、地域の環境保全のための修復技術を統合し、これらの技術が世界各地で利用・応用されることが、この研究の目的です。

具体的な研究課題(サブテーマ)は、次の通りです(図1)。

1. 択伐跡地、二次林、荒廃灌木林など荒廃林地の修復技術の開発と種多様性の評価
 - ・修復技術の開発と生物多様性の評価
 - ・択伐跡地の森林水利機能の評価
2. ランテーションや荒廃草地などのナチュラルフォレストコリドー導入に関する立地管理方法の開発
 - ・ナチュラルフォレストコリドーの樹種選択、設置と成長解析

- ・ 荒廃地における造林技術の開発
- 3. 森林修復管理オプションの社会経済的適応可能性の評価と住民参加による土地資源管理プログラムに関する研究
 - ・ 社会経済的適応可能性の評価
 - ・ 住民参加による土地資源管理プログラム構築
- 4. 地域の環境保全のための修復技術の統合
 - ・ 熱帯林修復技術のネットワークおよびデータベース構築に関する研究
 - ・ 熱帯生態系修復技術のネットワーク化に関する研究



写真1. タイ・カンチャナブリの森林保護区での移動焼畑耕作(陸稲)



写真2. ブラジル・マナウスの森林伐採後、牧草地にした周辺(一部、石英砂が露出し、森林の再生が困難になっている)

実施体制

これらの研究を担当するのは、独立行政法人森林総合研究所、独立行政法人国際農林水産業研究センター、東京大学大学院、独立行政法人国立環境研究所、住友林業株式会社、国際林業研究センター(CIFOR)です。

また、研究を行うに当たり、国内外の研究機関等と連携をはかる必要があります。現在、次に示す関連機関・既存の荒廃森林修復ネットワーク等で情報交換や共同研究などを行って

いますが、今後さらに連携が深まり、新たな参画機関・ネットワークが増えるものと考えています。
 < 関連機関 >

● 国際緑化推進センター(JIFPRO)、● 国際協力事業団(JICA)、● タイ王室林野局、● カセサート大学、● インドネシア林業省、● ムラワルワン大学、● マレーシア森林研究所(FRIM)、● マレーシアプトラ大学

< 修復ネットワーク >

● FAO-RAPA、● ソウル国立大学、● アメリカ合衆国国際熱帯林研究所、● クイーンズランド大学、● CIFOR、● ITTO

期待される具体的な研究成果

上記に示した研究を行うことによって次のような研究成果が期待されます。

まず、林床植生のパターンと遷移方向を明らかにすることにより、修復すべき二次植生を立地区分できるようになるでしょう。また、プランテーション跡地や裸地などへのナチュラルフォレストコリドーの導入が可能となると考えています。やがて様々な二次林の生物多様性が明らかになり、二次林の管理方法が確立しうと思われれます。これらの技術開発により、修復した森林の地域社会・経済への影響が評価され、修復される森林が拡大していくでしょう。

一方、修復にかかわる解析結果をもって、国際ネットワーク化を図り、森林資源の回復、環境保全機能の回復、生物多様性の回復などをデータベース化し、その公開を目指します。このことによって、さらに修復技術・統合が行われるようになり、地域に適応した修復技術オプションをホームページ(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/rehabili/>)でより詳しく分かりやすく解説できるようになるでしょう。

荒廃した森林の修復技術が公開され、荒廃熱帯林の修復に積極的に住民が参加するようになれば、より情報交換が盛んになり、既存並びに新規の技術が利用・応用されるでしょう。そして、森林の価値が人々により深く再認識されるようになれば、荒廃熱帯林の修復の意義が森林保全機能・生物多様性の保全として理解され、地球環境政策に反映していくことにつながると考えられます。



写真3. ブルネイの択伐跡地(残存木も伐採時に折れたり, 割れたりしている)



写真4. タイのユーカリ植林地(林床植物や堆積有機物がなくなり, 侵食が起きている)

図1. 研究の流れ(太い矢印が各研究課題で担当する部分, 両端の矢印は, 各課題の関連を表す)

インドネシア西スマトラ熱帯雨林における Al 集積樹木に関する考察

増永 二之 (島根大学生物資源科学部)

私は 1990 年より西スマトラ州の州都パダン近郊のガド山麓の熱帯雨林において樹木と土壌の養分状態について調査研究を行ってきた(図 1)。調査地熱帯雨林の年間降水量はしばしば 5000mm を超え、年平均気温は 27°C 近くになる。土壌は熱帯湿潤地域の気象条件下で塩基の溶脱が進み貧栄養で土壌は酸性であり pH(H₂O)は 4 程度である。ただし、母材として石灰岩が含まれるため、マレーシアのランビル国立公園の土壌と比べると交換性 Ca の濃度が高い(Masunaga et al., 1998a)。樹木種数は 1ha 当たり同定樹種 170 種と実同定樹種 200 種以上にも達している(Kubota et al., 2000、米田ら調査結果)。本調査地におけるこれまでの研究で、樹木種が多様であると同時にその栄養特性も多様であり、そして特徴的な結果として多くの種が Al 集積樹種として認められた事が挙げられる。ここでは、それら Al 集積樹種の栄養特性やそれらの樹木と土壌の養分状態と

の関係について考察を行う。

樹木の栄養特性

調査地に自生する胸高直径 8cm 以上の樹木 849 個体の内 608 個体の葉および 457 個体の樹皮の分析を行った結果(Masunaga et al., 1997, 1998c)、葉および樹皮中ともに Al の平均濃度が 2g/kg にも達し多量必須元素である S, Mg, P と同レベル以上であった。このことは、酸性土壌環境下において多数の樹木が高い活性 Al 濃度に適応した結果、高濃度の Al を集積している事が考えられた。しかし、Al 濃度は種あるいは個体により大きく変動していた。Chenery(1951)の定義(葉中 Al 濃度が 1g/kg 以上)に基づいて Al 集積樹種を抽出すると、分析した 203 種と 43 未同定樹木(計 608 個体)の内 55 種と 12 未同定樹木(計 139 個体)が Al 集積樹種として認められ、分析個体数の約 23%にも達し Al 集積樹種がかなり優占してい

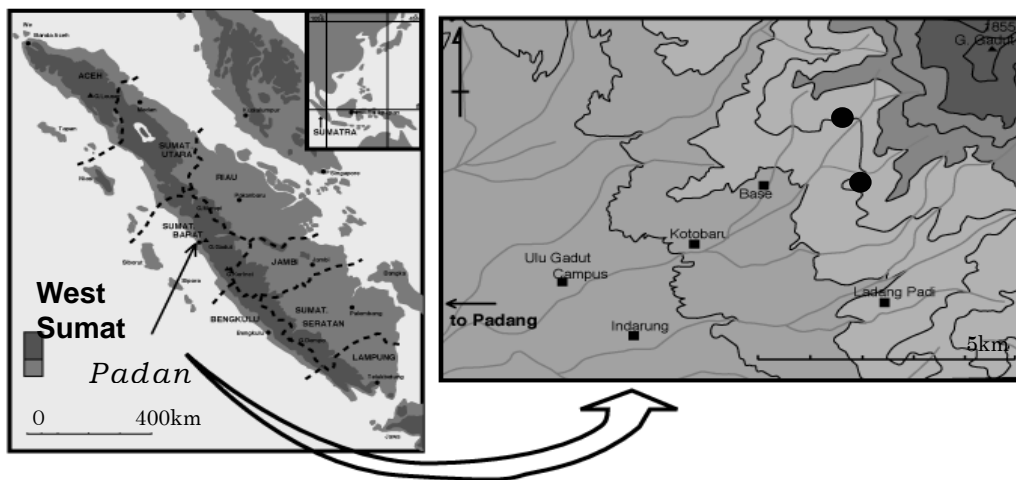


図 1 調査地(右図中黒丸が調査点)

ることがわかった(Masunaga et al., 1998d)。そして、これら Al 集積樹種のうち 33 種は Cheneryら(1976)によって Al 集積植物として報告されている Cornaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Polygalaceae, Proteaceae, Rubiaceae, Theaceae 等の科に属しており科レベルでの遺伝的な Al 集積の特性が示された。他の 22 種はこれまでに報告されておらず、本調査地においてこれらの種が高 Al 条件に対して抵抗性を獲得したことが考えられる。また、上記10科のうち Euphorbiaceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Polygalaceae, Rubiaceae, Theaceae 科に属するいくつかの種は葉中 Al 濃度が 10–20g/kg にも達し、葉中 Al の最高濃度は Rubi. *Mschalocrymbus corymbosus* の 37g/kg であった。

葉への Al の集積濃度の経時的な変化を調べるために、Al 集積樹種 8 個体について展開したばかりの新葉と成熟葉中の Al 濃度を比較したところ、いくつかの種では新葉中にも Al が成熟葉と同レベルで存在し、茶樹のような経時的な集積ではなく早い段階から積極的に Al を集積していることが示された。また、調査プロット外に自生していた Al 集積樹種 *Eurya Acuminata* の複数の枝の先端から根本まで連続する 14 枚(図 2)の葉を採取し分析を行った。葉中の元素濃度の結果を図 2 に示す。Al は葉が成長するにつれ(枝の基部の方になるにつれ)濃度が高まった。Al と同様に、水の吸収に伴って葉に集積すると考えられる Si も経時的に葉中濃度は増加したが、変動が大きく Al ほど直線的な増加傾向は示さなかった。このことは根で吸収された Al が単に水の移動に伴って集積したのではなく、積極的に葉に運ばれ集積されたことを示している。他の元素について、K は Al とは逆の傾向、そして P は先端の 3 枚の未展開の新葉を除いてほぼ一定であった。これらの元素は体内での転流や乾物重が増加するに伴い希釈されるなどして、濃度が制御されていると考えられた。

表 1. Al, Ca, P の樹木地上部・土壤中現存量およびリーフリターによる循環量

	Al	Ca	P
葉バイオマス (kg ha ⁻¹)	9.6	101	6.8
枝バイオマス (kg ha ⁻¹)	48.5	1066	16.8
幹バイオマス (kg ha ⁻¹)	69.6	1425	42.7
合計	127.7	2572	66.3
リーフリター(kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	8.3	88	1.9
表層土壌 0-5cm (kg ha ⁻¹)	105	510	1.4

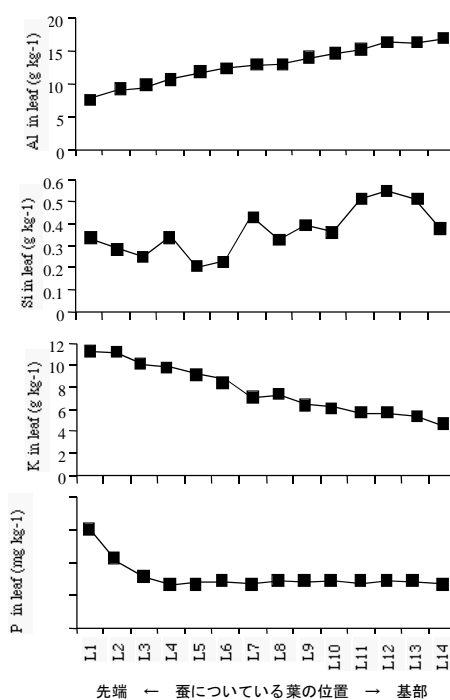


図 2 Al 集積樹種(*Eurya acuminata*)の一枝上の葉中元素濃度

Al 集積と樹木生育との関係

Al 集積樹種は単に Al 毒性に対する抵抗性として Al を集積しているのだろうか？低 pH 適応植物である茶樹や *Melastoma* も Al 集積植物でありこれらの植物は Al 施用により生育が向上することが報告されている(小西ら, 1984: Osaki et al., 1997: Watanabe et al., 1997)。またこれらの種では、Al が P の吸収に有効な作

用を持つことが示された。本調査地の Al 集積樹種中の Al と P の濃度の相関を調べた結果、樹皮と葉両方において Al と P 濃度に正の相関が認められ、Al 集積樹種においても茶樹や *Melastoma* と同様 Al が P の吸収促進し生育を向上させるような Al のポジティブな作用が推察された。しかし、調査地の熱帯雨林現地において Al 集積樹種の生育にプラスに作用しているかどうかについて考察するために、Al 集積樹種と非集積樹種について同サイズの個体(胸高直径 8-16cm 程度)の約 10 年間の胸高直径の増加率を調べたが葉中 Al に関わらず個体間の変動が大きく Al の樹木生育への作用確認は出来なかった。

樹木と土壌中の Al 含有量のバランス

ところで、樹木が吸収する Al は土壌からであり、樹木による Al 集積と土壌中 Al 状態の関係はどうなっているのでしょうか。Al 集積樹種は土壌中 Al(活性 Al)の多い場所を好むのだろうか？また、樹木の Al 集積と土壌中の Al 含有量との間に相関はあるのだろうか？まずは、Al 集積樹種の分布と土壌中 Al の分布の関係を調べたが、種により関係はバラバラで明確な傾向は得られなかった。次に分析した樹木全体で、葉・樹皮中の Al 含有量と土壌中活性 Al 含有量の関係を調べたところ、Al 含有量の高い樹木は活性 Al 含有量の高い土壌に分布する傾向が認められた(Masunaga et al., 1998ab)。このことは、土壌中 Al 含有量が樹木中 Al 含有量に影響を与えたと見ることもできるが、その逆の見方で樹木が土壌に影響を与えたという見方もできる。また、当然例外はあって、Al 集積樹種の中には土壌中活性 Al 含有量が低くとも、Al を高濃度に集積していたことである。

次に、調査地内の樹木-土壌間の Al のバランスを考察するために、土壌表層中(0-5cm)の交換性 Al、交換性 Ca と可給態 P(Bray2)の存在量と樹木地上部バイオマスおよびリーフリター中の含有量を推定した(表 1)。土壌中の元素含有量は調査地内の平均元素濃度と平均密度(Wakatsuki et al., 1986)より算出し、樹木地上部バイオマス中の元素含有量はマレーシ

ア、パプーにおける経験式より推定(Kato et al., 1978)より推定した。樹木地上部バイオマスの推定には土壌中の元素存在量について、total 含有量ではなく交換性あるいは可給態の量を示したのは、樹木-土壌間での養分の循環に直接関わる部分であるからである。土壌中に対する地上部バイオマス中の元素の存在割合は P が Al や Ca よりはるかに高く、本調査地の熱帯雨林生態系において樹木生育に対する土壌中の P の存在量が非常に限られており、そして P が樹木によって非常に効率的に利用されていることがわかる。また、土壌中 P 含量が低い(下層土壌では更に低くなる)、リーフリターを通しての P 循環の土壌 P 含量に対するインパクトが大きいことが推察される。Al と Ca に関して、これらの元素は下層土にも比較的豊富であり、リーフリターによる Al や Ca 還元土壌中 Al 含有量へのインパクトは P に比べはるかに小さいと考えられる。しかし、Al について、上述した様に葉中に数%レベルの Al を含有する種が存在し、樹種による樹木中濃度の変動が大きく、調査地内で個体レベルにおいて Al 循環量にかなり大きな差が存在する。

この種・個体間の Al 循環の差を考察するために、Al 集積樹木と非集積樹木における樹木個体周辺での Al 循環を推定した(図 3)。Al 集積樹種 8 個体の樹冠内外の表層土壌中(0-5cm)の活性 Al である交換性 Al(以下 Alex)および腐植複合態 Al(以下 Alh:ピロリン酸可溶性 Al-Alex)を測定し、単位面積当たりの Alex と Alh の量を推定。樹木リーフリターによる還元量は葉の寿命を 1 年として葉中の Al が毎年循環すると仮定して、また Al の吸収量はリーフリターによる循環量に 1981 年から 1994 年の間の年間の地上部バイオマスの増加量分を加算した量として、Al の循環が樹冠の範囲で起こると仮定して単位面積当たりの吸収・還元量を推定した。樹木中の Al 含有量は濃度と個体サイズに依存するため、非集積樹木でも Al 含有量が 45000g にもおよぶ樹木が存在していたが、単位面積当たりの Al 吸収とリーフリターによる還元量は Al 集積樹木で 6.9 と 4.25g/m²/年、非集積樹木で 0.2 と 0.08g/m²/

年とそれぞれ Al 集積樹木の方が 35 倍と 50 倍非集積樹木より高かった。また、樹木中の Al 含有量の年増加量は 10 倍以上も異なっていた。そして、樹木による Al の吸収・還元量と土壤中 Alex と Alh の量と比較すると、Al 集積樹木では Al の吸収・還元量は Alex の量と同レベルで Alh は 10 倍以上高いものの、10 年も経てば樹木による Al 循環が土壤中 Al 状態に十分に影響を及ぼしうることが推察された。今回対象とした 8 個体の Al 集積樹木は 10 年以上存在しており、その Al 集積樹木の樹冠内の土壤中 Alex 濃度は非集積樹木の樹冠内土壤の濃度より低く、Alh は逆であった。この結果は、Al 集積樹木では Alex 吸収により土壤中 Alex が減少し、リーフリターによる Al 還元により土壤中 Alh が増加したことが考えられる。また、図中には示していないが土壤中の可給態 P 濃度を測定した結果、Al 集積樹木の樹冠内で平均 15.2mg/kg (n=16)、非集積樹木の樹冠内で 13.9mg/kg(n=16)であった。Al 集積樹木でやや高いものの統計的に有意な差は認められず、土壤中可給態Pの状態への影響は不明であった。

樹木の Al 集積の意義

Al 集積樹種の栄養特性を生態学的な視点から考察すると、まず上述したように樹木体内での Al 集積による Al 耐性や P の効率的吸収等により酸性土壤環境へ適応していることが挙げられる。そして体内に高濃度に集積した Al を土壤へリーフリターとして還元し自己の生育する環境に Al を集積することにより、Al 耐性の低い他の種の侵入を阻害し自己の生育空間を確保するという、Al 集積樹種の生存戦略が推察された。Al 集積樹種は熱帯雨林内においては小型の下層木が多く、この自己の生存空間の確保というのは重要な生存戦略である。今後 Al 集積樹種近傍の樹木密度を非集積樹木のそれと比較して、樹木近傍への活性 Al 集積による非 Al 耐性樹種の侵入阻害が実際に起こっているのかどうか調べてゆきたい。

最後に余談ではあるが、本調査地内で最高 Al 含有量を記録した樹木 *Mschalocrymus corymbosus* を調査に行くたびに観察していた

のだが、毎年「この木は全然大きくならないなあー」と思っていたら、1999年から2000年の間に枯れてしまっていた。調査毎に「今年は大きくなっているかな」と会うのを楽しみにしていたのだが、非常に残念である。立ち枯れしたようで、見つけたときはすでにシロアリに原型がないほどぼろぼろ食われていた。枯れた原因は分からないが、Al を自分の生育圏にためすぎて自己中毒で枯れてしまったのではないかとの意見もある。現在、2代目を探しており、今年辺り見つかればと期待している。

参考文献

- Chenery, E.M. 1950. Some aspects of the aluminium cycle. *J. Soil Sci.* **2**:97-109.
- Chenery, E.M. and Sporne, K.R. 1976. A note on the evolutionary status of aluminium-accumulators among dicotyledons. *New Phytol.* **76**: 551-554.
- Hotta, M. 1984. *Forest Ecology and Flora of G. Gadut, West Sumatra*. 220 p. Sumatra Nature Study (Botany)., Kyoto University, Kyoto.
- Kato, R., Tadaki, Y. & Ogawa, H. 1978. Plant biomass and growth increment studies in Pasoh Forest. *Malay. Nat. J.* **30**: 211-224.
- 小西茂毅、宮本倉文 1984. 茶樹の生育に対するアルミニウムの促進効果とそのリン酸吸収特性、日本土壤肥料学雑誌、**55**: 29-35.
- Kubota D., Masunaga T., Hermansah, Hotta M. and Wakatsuki T. 1999. Soil quality characterization in relation to tree species diversity in tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia, I. Comparison of two 1 ha plots. *Tropics* **9**:133-145.
- Masunaga, T., Kubota, D., Hotta, M. and Wakatsuki, T. 1997. The nutritional characteristics of mineral elements of tree species of tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* **43**: 405-418.
- Masunaga, T., Kubota, D., William U., Hotta, M., Shinmura, Y. and Wakatsuki, T. 1998. Spatial distribution pattern of trees and soil edaphic status in Tropical Rain Forest, West Sumatra, Indonesia; I. Distribution of Accumulating trees. *Tropics*, **7**, 209-222
- Masunaga, T., Kubota, D. and Wakatsuki, T. 1998. Spatial distribution pattern of trees and

soil edaphic status in Tropical Rain Forest, West Sumatra, Indonesia. *In* The Proceedings of The 16th World Congress of Soil Science, Symposium 33, Registration No. 1469, Montpellier, France

Masunaga, T., Kubota, D., Hotta, M. and Wakatsuki, T. 1998. Nutritional characteristics of mineral elements in leaves of tree species in tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia, *Soil Sci Plant Nutr.*, **44**, 315-329.

Masunaga, T., Kubota, D., Hotta, M. and Wakatsuki, T. 1998. Mineral composition in leaves and bark of aluminium accumulators in a tropical rain forest in Indonesia, *Soil Sci Plant Nutr.*, **44**, 347-358.

Osaki, M., Watanabe, T., & Tadano, T. Beneficial Effect of aluminum on growth of plant adapted to low pH soils. *Soil Sci Plant Nutr.*, **43**, 551-563.

Wakatsuki, T., Saidi, A. and Rasydin, A. 1986. Soils in the topequence of the G.Gadut tropical rain forest, West Sumatra. *Southeast Asian Studies* **24**: 243-262.

Watanabe, T., Osaki, M. & Tadano, T. 1997. Aluminium-induced growth stimulation in relation to calcium, magnesium and silicate nutrition in *Melastoma malabathricum* L., *Soil Sci Plant Nutr.*, **43**, 827-83

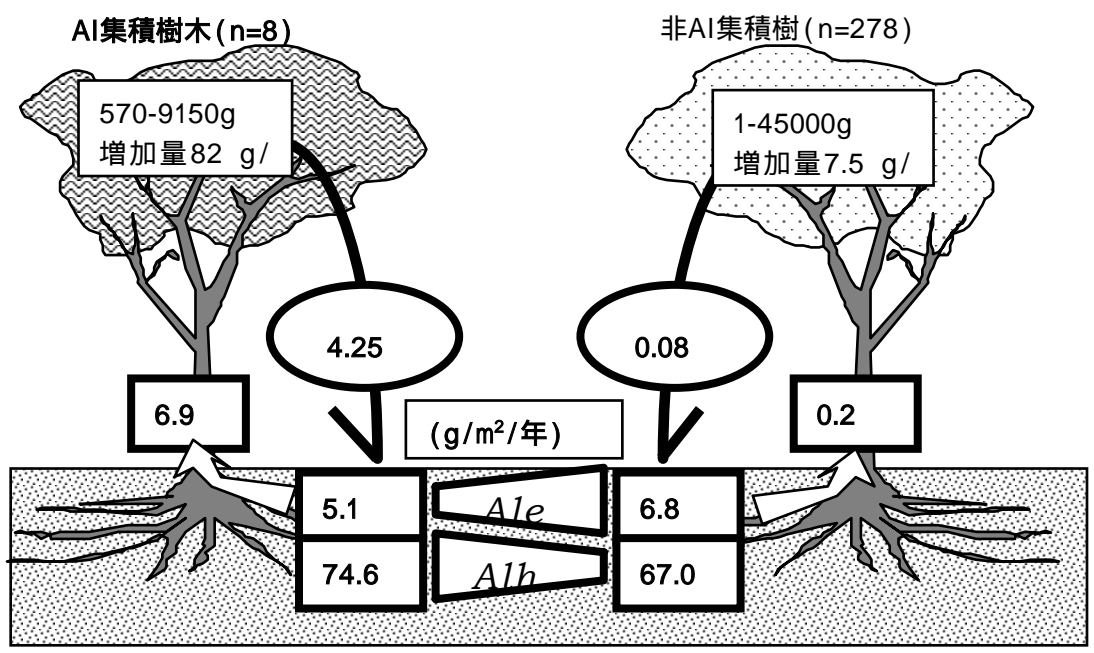


図3 地上部バイオマス中 Al 量と循環量の推定値

Water is Death in Bangladesh

Md. Tajul Islam, Graduate School of Bio applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

General information

Arsenic poisoning in Bangladesh, a country of 130 million people, is undoubtedly the mass poisoning in human history (Annon., 1999). Arsenic is known as "Senko Bish" among the Bengali-speaking people and is also used in medical science. The toxic effect of arsenic in humans has been known for many centuries. During the Middle ages, arsenicals were apparently the preferred homicidal and suicidal agents. After winning the war of Waterloo, the British force reportedly used it to kill French Emperor Napoleon Bonaparte who was exiled at St. Helena island. Artesian well water with high concentration of arsenic has been associated with chronic arsenicism and prevalence of skin cancer in Taiwan (Tseng *et al.*, 1968). Although arsenic contamination of drinking water has been reported from many parts of the world, none has been as widespread as the problem now faced by Bangladesh. Safe drinking water in Bangladesh has been one of the most formidable problems. Arsenic contamination in the ground water, which is found in pumped water from shallow tube-wells in wide-spread regions of Bangladesh, quickly turned out to be overwhelming treat. Recent surveys showed that about 80 million people of the country are living under the risk of arsenic poisoning as the groundwater of a vast region is contaminated with arsenic (Annon., 2002). The actual picture of the severity of arsenic pollution is yet to be revealed as the entire country could not be surveyed till now. The arsenic pollution is not only causing serious health hazard to the people, but also affecting the environment and creating social problem. One potential problem in the near future is expected to be an increase of arsenicals in all types of foods grown in affected areas. Arsenic is a metalloid, chemically close to selenium on

the periodic table of elements (Van Nostrand, 1973). Arsenic appears to be second only to lead in importance as toxicant in farm and household animals. In man, the most common clinical signs of acute or subacute arsenic poisoning include fever, diarrhea, emaciation, anorexia, vomiting, increased irritability, exanthema, loss of hair, in this order. Frequent signs associated with subacute and chronic arsenic toxicosis in humans can summarized as dermatologic (keratosis, melanosis, desquamation, white spots, and fingernail), anemia, leucopenia, and hepatic swelling. The most recent concern is related to the carcinogenic property of arsenic, as observed from occupational exposure to arsenical compounds. Paive *et al* (1999) assessed the levels of arsenic in drilled wells in Finland and studied the association of arsenic exposure with the risk of bladder and kidney cancers. Although our understanding of the problem has improved over the past few years, many uncertainties and wide information gaps still exist. This minireview briefly focuses the present hazardous situation of drinking water contaminated with arsenic in Bangladesh and Bangladesh's response to the arsenic problem and offers how the international community can more efficiently support ongoing efforts in Bangladesh by government, Non-government Organizations (NGOs), and civil society to mitigate the devastating problem.

Presence of arsenic in environment

Arsenic, which has no known vital function, is a ubiquitous element widely distributed on Earth. Nature itself is an adequate source of arsenic. The element exhibits a broad range of chemical reactivity with an ability to form alloys with other elements and covalent bonds. Arsenic is found in the atmosphere, in aquatic environments,

in soil sediments, and in organisms. Different minerals of arsenic are mixed with underground rock. Arsenic contents of the earth crust in 1.5-2mg/kg. However, upto 550mg/kg arsenic can prevail in polluted soil. Arsenic poison can spread in air from the industrial wastes. Generally, natural water contains 1-2 microgram/liter of arsenic. Most foods contain minute amounts, averaging 0.02 ppm, including meats, fish, and poultry (Mahaffey *et al.*, 1975). Trace quantity of arsenic is found in most the fruits, vegetables, fish and meat. But high levels of arsenic exists in seawater. There is a lot of arsenic in the earth's bio-mass. Other sources of arsenic include in lava of volcano, geothermal systems, uranium and gold mines. It also occurs in the air in areas where coal is burnt, particularly near smelters, in which fly ash could contaminate the surrounding soil (Lakso and Peoples, 1975).

Genesis and extent of the arsenic problem

Until recently the arsenic problem was almost unknown in Bangladesh, although in neighboring West Bengal it became evident in mid-1980's. Arsenic specialists in Calcutta, however, predicted that as the younger deltaic deposition stretched from West Bengal into Bangladesh, the latter might also have arsenic contamination of ground water. The prediction held true as they found patients from bordering districts of Bangladesh with arsenical skin lesion going to Calcutta for treatment. They warned the government of Bangladesh and the World Health Organization (WHO) about the presence of arsenicosis patients in Bangladesh in the early nineties and accordingly Bangladesh government began some investigations in this direction, however, it was kept more or less unpronounced and neither the physician community, nor the public knew anything about it until 1996 when Dhaka Community Hospital (DCH) came into the scene. In June 1996, DCH held a camp at Pakshi in the Western part of the country in which several skin patients were suspected of having arsenical skin lesions. Tube-well from that area was tested and found to have high

content of arsenic. DCH informed the local officials and made news paper reports. Following this more news on arsenic began emerging from other districts including rumors and tales, however, nobody seemed to know how real the arsenic threat was. DCH felt the need to respond to the interest of the public health and send a fact-finding team consisting of 8 members including 3 skin specialists and 3 other senior doctors to those areas. They collected water samples from 41 tube-wells and biological samples (hair, nail, skin, and urine) from patients. Water samples were tested at the Bangladesh Chemical Scientific Industrial Research Institute (BCSIR) laboratories, Dhaka, while biological samples were tested at the School of Environmental Studies, Jadavpur University, Calcutta. Among the samples 66% of the water samples and more than 90% of the biological samples water found to have higher than the normal concentration of arsenic. DCH made the results public in a national seminar held at Jadavpur, University, Calcutta in January 1997 and urged the government and other concerned organizations to take immediate steps to face the problem.

Causes of arsenic contamination

Earlier several hypothesis were put forward including one that the arsenic compound treated rural electrification poles were the source of arsenic contamination of underground water and the other that insecticides and fertilizers were the culprit, but these did not found to hold water. Experts pointed out and now it has been more or less generally agreed upon that the source of arsenic contamination is geological with mobilization due to some geo-chemical processes and different development activities- agriculture exploration of mineral resources and their processing-by human being. The emission of arsenic into runoff water from geothermal power plants has been reported to result in the subsequent contamination of rivers receiving such discharges (upto 500 ppm) in Okai, Newzealand (Sabadel and Axtman, 1975). This has also

reported in water contamination with gold mining wastes (Anderson and Clark, 1974).

Affected areas and people

It is unfortunate indeed that our knowledge of the arsenic problem in Bangladesh was, and still is, very limited—otherwise the world could have acted faster. To date 50,000 tube-wells from 64 districts have been tested for the presence of arsenic in underground water by various Government and NGOs. In 47 districts samples were found to have arsenic above 0.05mg/L, the maximum permissible limit, recommended by World Health Organization (WHO) and in 54 districts the arsenic contamination was more than 0.01mg/L, the WHO recommended value for safe water. The total area of these 47 districts is 27,732 sq. km with a population of 76.9 million. The rest are still beyond the survey. At the present state of knowledge it can be safely said that although not only tube-wells are contaminated, there are thousands of pockets of contaminated underground water in at least two thirds of the districts of Bangladesh and the people living there are at real risk of developing arsenic toxicosis. This is truly public health crisis, one of the biggest in this century.

Arsenic Contents in the soils of various countries

The arsenic pollution problem took a severe shape in present world. The pollution has been spreaded more or less in every content. The Table 2 provides a summary of reports on arsenic contents on selected areas in the World.

Although in USA, about 13 million people drink arsenic containing water as well as people of other countries such as Australia, Argentina but their concentration in the waters are far below those in Bangladesh (Annon., 2002).

Social problem

The arsenic pollution has been creating serious problem for the affected people. They virtually become isolated from the society as nobody wants to keep any social contact with

them. Nobody wants to marry any arsenic affected male or female. Some affected housewives are even divorced by their husbands. Affected school children become victims of isolation by their teachers, classmates and are not allowed to attend their classes. Due to ignorance, the villagers consider arsenical diseases as the curse of nature. They do not allow the arsenic patients at social functions. The arsenic affected villages also become isolated zones. So, it can be safely said that arsenic affected people lose everything/or everyone. The tragic stories do not end here. These are only a few of the total reality. Many similar stories are frequently publishing in newspaper.

Efforts in mitigation of arsenic disaster

At present several departments of the governments with international donor agencies like United Nations Development Program (UNDP), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Japan International Cooperation Agency (JICA), DANIDA (Danish International Development Agency), CIDA (Canadian International Development agency); some NGOs, university departments, and private organizations have come forward to study different aspects of the arsenic problem and find out the ways of combating it. However, these are still at the initial stages and an overall gloomy picture has been emerged. The WHO/FAO (Food and Agricultural Organization) recommended limits for intake of arsenic but there is no guide-lines published for other foods and vegetables. Judging from the scattered reports published time to time, many organizations have found unacceptable level of arsenic in ground water from a vast majority of the districts of the country and a large number of patients suffering and dying from arsenicosis. The future will probably see more concentrated efforts to survey the arsenic content of all food products harvested from livestock raised in areas which are considered to have high level of possible exposure.

Concluding remarks

There is certainly no doubt that the

arsenic pollution now in Bangladesh is considered as a great threat to the future generation of the country. Patients are suffering, relatives are desperate and physicians are at a loss. We have already become the victims of arsenic poisoning and are pushing our next generation in to a more dangerous situation. So, it is high time to be aware of the problems and take necessary steps to combat the spread of arsenic pollution. Otherwise, nothing could stop this silent killer. We are optimistic that with joint efforts involving government, national organizations, international agencies, and scientific community some solution will be found that will bring smile to faces of the distressed.

References

- Anonymous. 1999. CBS Television News. June. USA
- Anonymous. 2002. The Daily Ittefaq. May. Bangladesh.
- Anonymous. 2002. May. World Health Organization (WHO) Report, Geneva. Switzerland
- J. E. Sabdel and R. C. Axtman. 1975. Environ. Health Perspect., 12, 1
- J. H. Lakso and S. A. Peoples. 1975. J. Agr. Food Chem., 23, 674
- K. R. Mahaffey, P.E. Corneliussen, C. F. Jelinic and T. A. Friorno, Environ. Health Perspect, 1975.12. 63 p
- P. Kutto, E. Pukkala, H. Kahelin, A. Auvinen and J. Pekkanen. 1999. Environmental Health Perspectives. 107, 9
- Van Nostrand. 1973. Chemist Dictionary, New York

Table 1. Group Means of Heavy Metal Concentration

Food group	Heavy Metal (ppm)					
	Arsenic	Cadmium	Lead	Mercury	Selenium	Zinc
Red meat	0.02	0.0093	0.015	0.0093	0.30	24.50
Poultry	0.02	0.0093	0.015	0.0093	0.10	24.50
Eggs	0.02	0.02	0.005	0.02	0.10	24.50
Dairy products	0.0033	0.005	0.04	0.005	0.10	5.00
Aquatic foods	2.6	0.02	0.6	0.02		24.50

Source: Toxicity of heavy metals in the environment by Fredrick W. Oehme, page No. 9

Table 2. Content of arsenic in soil in different areas of the World

Country	Soil	Number of samples	Range (PPM)	Mean (PPM)
Argentina		20	0.8-22	5
China	All types	4095	0.01-626	11.5
France	All types	0.1-5	0.1-5	2
Germany		2	2.5-4.6	3.5
Italy	Berlin region	20	1.8-60	20
Japan	All types	358	0.4-70	11
	Paddy	97	1.2-38.2	9
Mexico	All types	18	2-40	14
South Africa	Not available	2	3.2-3.7	3
Switzerland	Not available	2	2-2.4	2.2
United States	Various states	52	1.0-20	7.5
	Tiller	1251	1.6-72	7.5

Source: Nriagu, ed., (1994)

事務局通信

日本熱帯生態学会第12回年次大会 総会議事承認についてのお願い

会長 荻野 和彦

日本熱帯生態学会第12回年次大会は2002年6月14日から16日まで、金沢大学において開催され、106名の参加を得て無事終了いたしました。

6月15日の総会では、会長の挨拶に引き続き大会会長が議長に選出され、2001年度事業報告、2001年度会計報告、2002年度事業計画(案)、2002年度予算(案)が討議され、夫々承認されました。この他に、第6回日本熱帯生態学会「吉良賞」受賞者、新幹事等の紹介、編集委員会報告、第13回年次大会の開催地などが報告されました。

ただし、この総会は規約の定めた定員数を満たしておらず、改めて会員各位に諮らなければなりません。各内容についてご異議、ご意見などがありましたら、2002年10月末日までに事務局宛てにご回報下さい。ご連絡のない場合は原案のまま承認いただけたいものとさせていただきます。

I. 2001年度事業報告

1. 研究会、研究発表会の開催

(1)第11回年次大会の開催

2001年6月15日(金)から17日(日)

東京都立大学 大会長: 可知直毅

参加者: 94名 研究発表: 55件

2. 定期、不定期出版物の刊行

(1)会誌(TROPICS)の発行

第11巻 第1号: 2001年9月発行 58pp.

第11巻 第2号: 2002年3月発行 62pp.

(2)ニューズレターの発行

No.43: 2001年5月25日発行 18pp.

No.44: 2001年8月30日発行 18pp.

No.45: 2001年11月30日発行 16pp.

No.46: 2002年2月28日発行 18pp.

(3)TROPICS Monograph Series の発行

Monograph Series No.2 A Revision of the
Bornean Species of the Ant Genus *Pheidole*
(Insecta: Hymenoptera: Formicidae:

Myrmicinae) 2001年9月発行 154pp.

3. 吉良賞の選考

(1)特別賞 松井光瑠氏

(2)奨励賞 増永二之氏

4. 内外の関係諸機関、関連学会との交流

(1)The New York Botanical Garden との雑誌交換
(Economic Botany)を継続。

5. 第7期役員選挙

会長・評議員選挙を実施し、第7期役員が選出された(2002年3月)

会 長: 荻野和彦

評議員: 市川光雄、井上 真、岩熊敏夫、可知直毅、加藤 真、神崎 護、久馬一剛、甲山隆司、小林繁男、鈴木英治、武田博清、中村浩二、中静 透、増田美砂、山倉拓夫、山田 勇、湯本貴和、米田 健、若月利之、渡辺弘之

6. 名簿の発行

会員名簿(2002年3月29日付)を発行した。

7. その他

(1)会員登録状況(2002年3月31日現在。括弧内は2001年3月31日からの変動)

正会員 397(-7)

学生会員 77(12)

外国人会員 29(0)

機関会員 4(-1)

賛助会員 7(0)

合計 514(4)

(2)第11回総会の開催

2001年6月16日(土) 東京都立大学。

2000年度事業報告、2000年度会計報告、2001年度事業計画(案)、2001年度会計予算(案)が仮承認された。同内容については、ニューズレターNo.44(2001年8月30日発行)に掲載し、学会員の最終的な承認を得た(2001年10月31日)。

(3)第11回編集委員会の開催

2001年6月16日(金) 東京都立大学。

(4)第12回評議員会の開催

2001年6月16日(金) 東京都立大学。

監事・編集委員長・幹事の承認、事務局の移転、吉良賞授賞者の決定、第11回総会の

議題について、他。

(5)幹事会の開催
 第35回 2001年6月8日(金)滋賀県立大学。事務局移転に伴う諸報告、第11回年次大会準備状況、2000年度活動報告、会計報告、2001年度予算案、編集状況と体制、他
 第36回 2001年11月29日(木)滋賀県立大学。会計報告、第12回年次大会シンポジウム、他
 第37回 2002年1月25日(金) 星陵会館(東京)。役員改選、12回年次大会とシンポジウム、編集状況、会計状況・会員動向、他
 第38回 2002年3月22日(金) 国立民族学博物館。役員改選結果、第12回年次大会、編集状況、会計状況・会員動向、他

II. 2001年度会計報告

一般会計 予算額 決算額

1. 収入の部合計 6,360,556 5,685,654

(1)会費

正会員	3,184,000	3,457,000
学生会員	408,000	322,500
機関会員	128,000	48,000
賛助会員	800,000	600,000

(2)雑収入 1,120,000 837,598

利息		186
バックナンバー売上		60,000
年次大会収入		27,412
特集号出版収入		750,000
寄付		0
その他		0

(3)前年度繰越金 420,556 420,556

(4)特別会計より繰入 300,000 0

2. 支出の部合計 6,360,556 5,685,654

(1) 運営費

会費徴収手数料	0	19,090
印刷費	25,000	0
消耗品費	20,000	39,360
通信運搬費	100,000	101,312
会合費	7,556	10,290
旅費	200,000	356,500
賃金	300,000	435,320
事務局移転費	100,000	40,670

(2)事業費

年次大会	200,000	200,210
会員名簿	0	174,760
ワークショップ	200,000	0

(3)出版費

印刷費	3,400,000	1,414,140
編集費	600,000	344,582
通信費	900,000	652,193

(4)雑費 0 143,320

(5)役員選挙費用 150,000 42,960

(6)予備費 158,000 0

(6)次年度繰越金 0 1,710,947

特別会計 予算額 決算額

1. 収入の部合計 4,779,707 4,777,642

(1)前年度繰越金 4,775,707 4,775,707

(2)利息収入 4,000 1,935

2. 支出の部合計 4,779,707 4,777,642

(1)吉良賞副賞 450,000 450,000

(2)一般会計繰入 300,000 0

(3)次年度繰越金 4,029,707 4,327,642

III. 2002年度事業計画(案)

1. 研究会、研究発表会の開催

(1)第12回年次大会の開催
 2002年6月14日(金)～16日(日) 金沢大学
 大会会長:中村浩二

(2)ワークショップの開催

2. 定期・不定期出版物の刊行

(1)会誌(TROPICS)の発行

第11巻 第3～4号(66 pp. + 80 pp.)
 第12巻 第1～4号(80 pp. ×4号)
 第13巻 第1号 (80 pp.)

(2)ニューズレターの発行 No.43～46

No.47～No.50(16pp. ×4号)

(3)TROPICS Monograph Series の発行

3. 評議員会の開催

第13回:2002年6月14日

4. 編集委員会の開催

第12回:2002年6月14日

5. 幹事会の開催

第39回:2002年5月15日(水)星陵会館

第40回:2002年6月1日(土)学士会分館	編集費	700,000
第41回以降は随時開催する。	通信費	1,250,000
6. 吉良賞の選考	(4)雑費	100,000
(1)特別賞 該当者なし	(5)予備費	102,947
(2)奨励賞 市榮智明氏	(6)次年度繰越金	0

2003年度の吉良賞募集は2003年2月末締切、自薦・他薦を問わない。奨励賞は原則としてTROPICSに掲載された論文を対象とする。

7. 内外の関係諸機関、関連学会との交流	特別会計	予算額
内外の関係諸機関、関連学会との交流を深めるため、積極的な取り組みを行う。	1.収入の部合計	4,329,142
	(1)前年度繰越金	4,327,642
	(2)利息収入	1,500
	2.支出の部合計	4,329,142
8.学会人事	(1)吉良賞副賞	600,000
幹事会体制の整備	(2)一般会計繰入	300,000
編集委員会体制の整備	(3)次年度繰越金	3,429,142
吉良賞選考委員の一部交替		

9.その他

V. 2002年度監事・編集委員長・幹事

監事 片倉晴雄 甲山隆司

IV. 2002年度予算(案)

一般会計	予算額
1. 収入の部合計	6,802,947
(1)会費	
正会員	3,200,000
学生会員	360,000
機関会員	32,000
賛助会員	600,000
(2)雑収入	600,000
(3)前年度繰越金	1,710,947
(4)特別会計より繰入	300,000
2. 支出の部合計	6,802,947
(1)運営費	
会費徴収手数料	20,000
印刷費	20,000
消耗品費	40,000
通信運搬費	100,000
会合費	20,000
旅費	250,000
賃金	200,000
(2)事業費	
年次大会	200,000
ワークショップ	200,000
(3)出版費	
印刷費	3,600,000

編集委員長	大崎 満
幹事長	岩熊敏夫(庶務幹事を兼務)
広報幹事	鈴木邦雄
次期編集幹事	信濃卓郎
財務幹事	岩坪五郎 小林紀之
総務幹事	阿部健一 奥田敏統
	小林繁男 増田美砂
会計幹事	藏崎正明

VI. 編集委員会からの報告

TROPICS Vol.12から北海道大学で編集・出版を行う。編集委員会をEditorial BoardとAdvisory Boardから構成する予定である。また投稿規定の改正を検討中である。

VII. 第13回大会の開催地と日程

鹿児島大学で2003年6月に開催予定。

第6回日本熱帯生態学会「吉良賞」 奨励賞を市榮智明氏が受賞

第6回日本熱帯生態学会「吉良賞」受賞者として、奨励賞に市榮智明氏が選考され、金沢大学サテライトプラザで開催された第12回年次大会において受賞者の紹介が行われました。尚特別賞は該当者がありませんでした。7月18日に北海道大学大学院農学研究科において会長より市榮氏に奨励賞が伝授されました。受賞理由は以下の通りです。

市榮氏は、これまでに一貫して熱帯樹木の貯蔵物質に焦点を当てて研究を行ってきた。オヒルギでは胎生種子におけるデンプンの消長を長期間に亘って測定し、貯蔵物質は、実生の成長に不可欠であるばかりではなく、被食や物理的環境要因の変動などの外的圧力による損傷からの回復にも有効であることを示した。*Dryobalanops lanceolata* では発芽時、実生の初期成長過程における養分の分配を

調べた。種子に由来する子葉に高いデンプンと脂肪の含有率を有しており、成長とともに減少し、本葉が開葉する時には消失してしまうこと、さらに、子葉の養分が消失すると成長は休止し、光合成産物の多くは根に分配され、その後、根に蓄えられた養分を利用して成長を開始するとの結論を得た。また *Dipterocarpus tempehes* はこれまで、開花・結実には樹冠の枝に蓄積されている養分を利用していると考えられていたが、貯蔵器官の挙動の研究により、大量に根に蓄積されたデンプンが開花・結実の際に消費され、いっぽう枝に蓄積されている養分は、もっぱら枝の伸長成長に利用されることが示された。

このように市榮氏は、熱帯樹木の種子から実生、成木にわたり、貯蔵物質に着目し、その成長における物質の挙動を定量的に測定することにより、これまででは不明確であった樹木の貯蔵物質の役割を明らかにした。今後も類似の研究を継続して行うことが期待でき、より研究を発展させる可能性が大であると考えられる。