

日本学術会議シンポジウム

# 世界の土壌資源の現状と問題点

講演資料



土を耕すマリの農民 (by Tanaka, U.)

日時：2000年6月16日(金) 13:00～17:00

場所：日本学術会議講堂

主催：日本学術会議土壌・肥料・植物栄養学研究連絡委員会

社団法人日本土壌肥料学会

## プログラム

- 13:00 開 会 岡崎正規(研連幹事：東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所)
- 13:00～13:10 本シンポジウムのめざすもの  
久馬一剛(研連委員長：滋賀県立大学環境科学部)  
安西徹郎(研連委員：千葉県農業試験場)
- 司 会
- 13:10～13:50 東南アジア熱帯林の土壌生態 –森林伐採と土壌–  
太田誠一(森林総合研究所)
- 13:50～14:05 コメント：熱帯林の修復–タイ南部荒廃湿地での取り組み–  
丹下 健(東京大学農学生命科学研究科)
- 14:05～14:45 中央アジアの灌漑農業と水・土資源 –アラル海の悲劇–  
石田紀郎(京都大学アジア・アフリカ地域研究研究科)
- 14:45～15:00 コメント：塩類土壌・アルカリ土壌のひろがり  
中井 信(農水省農業環境技術研究所)
- 15:00～15:20 休 憩
- 司 会 渡辺弘之(研連委員：京都大学大学院農学研究科)
- 15:20～16:00 アフリカの砂漠化最前線 –サヘルにおける土壌劣化の現状と対応–  
田中 樹(京都大学大学院農学研究科)
- 16:00～16:15 コメント：乾燥地での植生回復の試み  
–西アフリカにおける緑資源公団の砂漠化防止対策調査–  
月井芳文(緑資源公団海外事業部)
- 16:15～16:55 大規模畑作下のセラードの土壌 –熱帯アメリカの土壌問題–  
久保田 徹(国際農林業協力協会)
- 16:55～17:10 コメント：熱帯畑作の安定性  
有原丈二(農水省農業研究センター)
- 17:10～17:30 質疑応答：司 会  
安西徹郎(研連委員：千葉県農業試験場)  
渡辺弘之(研連委員：京都大学大学院農学研究科)
- 17:30 閉 会 吉羽雅昭(研連幹事：東京農業大学応用生物科学部)

## 目 次

本シンポジウムをめざすもの-----	1
久馬一剛(滋賀県立大学環境科学部)	
東南アジア熱帯林の土壌生態 - 森林伐採と土壌 - -----	3
太田誠一(農水省森林総合研究所)	
コメント：熱帯林の修復 - タイ南部荒廃湿地での取り組み - -----	18
丹下 健(東京大学農学生命科学研究科)	
中央アジアの灌漑農業と水・土資源 - アラル海の悲劇 - -----	21
石田紀郎(京都大学アジア・アフリカ地域研究研究科)	
コメント：塩類土壌・アルカリ土壌のひろがり-----	25
中井 信(農水省農業環境技術研究所)	
アフリカの砂漠化最前線 - サヘルにおける土壌劣化の現状と対応 - -----	28
田中 樹(京都大学大学院農学研究科)	
コメント：乾燥地での植生回復の試み	
西アフリカにおける緑資源公団の砂漠化防止対策調査-----	40
月井芳文(緑資源公団海外事業部)	
大規模畑作下のセラードの土壌 - 熱帯アメリカの土壌問題 - -----	43
久保田 徹(国際農林業協力協会)	
コメント：熱帯畑作の安定性-----	53
有原丈二(農水省農業研究センター)	

## 本シンポジウムのめざすもの

日本学術会議 土壌・肥料・植物栄養学研究連絡委員会  
委員長 久馬一剛(滋賀県立大学環境科学部)

われわれが今期に開催した過去2回のシンポジウムでは、いずれもわが国の土壌環境問題を取りあげ、わが国の土壌の健全な管理に資することを目的とした。すなわち、土壌-水系の硝酸問題では施肥の適正化が主題となったし、土壌汚染問題では重金属や有機化学物質による汚染の実態を踏まえて、レメディエーションによる土壌の健全性の回復を志向した。今回のシンポジウムでは、一旦目を外に転じて、現在世界の土壌にどんな問題があり、それにどう対処すべきかを考えることを目的としている。

国連の推計などによると、世界の人口は最終的に100億前後におさまりそうである。とするとこれを養うために現在の世界の穀物生産量20億トンに加えて、さらに10億トンの穀物を生産することが必要になる。果たしてそれが地球のもつキャパシティの中で可能なのかどうか、われわれの現在最大の関心事である。すでに現状でも地球の全陸地面積の37%は農業と牧畜に利用されており、森林は31%にまで縮小している。農地をこれ以上外延的に拡大する余地は、どの大陸にもほとんどないと思われる。世界の人口の60%以上を養い、今後も大きな人口増の見込まれているアジアについては、とくにそうである。こういう状況の中で土地の集約的利用が図られねばならないことは明らかであるが、そのときに世界の土壌資源は今まで以上の大きな負荷に耐え得るであろうか。われわれが本シンポジウムを通じて検証したいのはまさにその点である。

今回のシンポジウムでは東南アジア熱帯林の伐採に伴う土壌劣化の問題、中央アジアの大規模灌漑農業のもたらす水資源と土壌資源へのインパクト、西アフリカのサヘル-サバンナ帯における砂漠化最前線の様相、そして南米で急速に拡大しているダイズの大規模栽培の中での土壌問題を事例としてとりあげ、それぞれの地域で長く調査・研究に従事してこられた方々から、現状を分析しその問題点を洗い出していただくようお願いしている。また、それぞれのスピーカーのご講演に対しこれまた経験豊富なコメンテーターをお願いして、少し異なる角度から問題の広がりを考え、あるいは問題の解決へ向けての示唆を与えていただきたいと考えている。

熱帯林はその見かけの豊かさにもかかわらず、多くは極めて貧栄養の土壌の上に養われている。東南アジア熱帯林の重要な構成要素である湿地林を例にとると、このことは最も明瞭であり、何百トンにもものぼるバイオマスを支えているのは極めて貧栄養な木質泥炭である。実際、材として伐り出せるほどの大きな木が、どうしてこんな貧しい泥炭の上に立っているのかを理解することが難しいぐらいである。恐らくは長い時間の中で養分を蓄積し、それを遷移の中で維持しながら現在に至ったものであろうが、ひとたびこれを伐採すると植生の回復は極めて難しく、恐らく数百年の時間を必要とするものと思われる。太田氏が研究対象としている山地の森林ではこれほど極端ではないであろうが、やはり伐採に伴う土壌生産力の劣化や林木再生の難しさには共通点があると思われる。太田氏のご講演を受け、丹下氏には攪乱を受けた熱帯林の修復についてコメントをいただく。

中央アジア・カザフスタンの灌漑農業は旧ソ連時代の1950年代に始まった大自然改造

計画の中で拡大し、綿花の一大産地を形成した。本日のスピーカーである石田氏のカザフスタン調査は1980年代の終わり、まだ旧ソ連の極めて難しい時代に開始され今日に続いている。もともと琵琶湖の100倍の湖面をもっていたアラル海はこの間にも急速に縮小し、今日では半分ぐらいになっているが、この間の水資源の配分問題、それとともに灌漑農地の塩害問題はいずれも深刻さを増し、アラル海は消滅をまつほかなす術もない状況に置かれているという。石田氏からは中央アジアの水及び土壌資源の現状をもたらしたものが何であったのか、今後どういう方向にいこうとしているのかをおうかがいする。また、中井氏からは、灌漑に伴う土壌の塩類化やアルカリ化の問題と、世界的に見たその広がりについてコメントをいただくことにしている。

砂漠化は、アジアでもたとえば中国の北部、黄土高原や内モンゴル地方で深刻な問題となっているが、やはり砂漠化という言葉のそもそもの発祥地であるアフリカ・サヘル地方の状況に世界の関心は集まっている。アフリカはもともと土壌資源に恵まれない大陸である上に、乾燥に偏った気候条件の下にある。砂漠化はこういう乾燥気候下での土壌劣化現象として定義されるが、その原因に過耕作とか過放牧のような人為が大きく関わっていることが重大な関心となる。西アフリカのマリ、ブルキナファソなどで現地調査を続けている田中氏には、いったいどんな条件のところで、またどんな経過をたどって砂漠化が進行するのか、どこまでが自然でどこからが人為なのかなどについておうかがいしたい。同じ地域で活動を続けてこられた月井氏には、砂漠化した土地の生産力回復のための取組みについて、コメントを頂戴したいと考えている。

湿潤熱帯の畑作の難しさはよく知られている。1960年代から70年代にかけて、わが国の大商社がインドネシアのランポン州で大規模なトウモロコシ栽培を試みた。人にも資材にも資金にも不足はなかったはずであるが、結局この試みは失敗に終わった。このことは熱帯畑作における土壌的な制約と雑草害、病虫害など生物的な制約とを乗り越えることの難しさを教えてくれた。しかし、いま南米のブラジルからパラグアイにかけて、古い大陸の台地の瘠せ土の上でダイズの大規模生産が拡大しつつある。経営的に成り立っているからこそ栽培面積が広がっているのであろうが、一体その持続性に問題はないのか、土壌肥沃度はいかにして維持されているのかといった点について、セラード農業の技術援助に携わってこられた久保田氏からおうかがいする。また有原氏には、長い熱帯圏での経験を踏まえて、一般に熱帯畑作の持続性を達成するために何をなすべきかについてコメントをいただくことにしている。

はじめにも述べたように、世界の人口を養うためには穀物の生産を全世界の平均で50%増大させねばならない。しかも、それを地球の環境資源への過大な負荷をかけずに達成する必要がある。現在、水資源の将来を危ぶむ論調がしばしば聞かれるが、これは資源の枯渇によるのではなく、人間による配分や用法の不適切さに起因する問題であろう。その意味で土壌は水とは異なり本来有限の資源である。土壌の生産力は天与のものであって簡単に枯渇するものではないと考えられがちであるが、農耕地の場合、それは人間による適切な管理があって初めて可能になることであって、無条件に保障されているものではない。本日のシンポジウムが、世界の土壌資源の置かれている問題状況の幾つかの局面を明らかにすると同時に、土壌生産力の永続性を確保するためには適正な管理が必要であることをあらためて認識していただく機会になることを願っている。

# 東南アジア熱帯林の土壌生態

## － 森林伐採と土壌 －

森林総合研究所 太田誠一

### 1. はじめに

地球の全森林面積の約 1/4 を占める熱帯林は依然として危機的状況にある。FAO によれば 1990～1995 年の間の開発途上地域の森林消失面積は 6500 万 ha と見積もられており、熱帯林の減少にはまだ歯止めはかかっていないように思われる。熱帯林の消失は、バイオマスの燃焼と土壌有機物の分解による二酸化炭素の発生、他方植生の消滅による二酸化炭素吸収固定能の喪失によって、大気中の二酸化炭素濃度を増加させ地球温暖化を直接加速するだけでなく、そこを棲みかとする多くの動植物種の絶滅をもたらす恐れが強い。また、動植物種ばかりでなく森林を生活の場としてきた人間の生存を脅かし、その文化をも危うくしている。多くの場合、熱帯林の消失には社会経済的問題が密接に関係しているが、その背景に熱帯林とその土壌に関する知識の欠如がある場合も少なくない。では、東南アジア熱帯林の土壌特性はどのようなものであり、伐採や土地利用などのインパクトは土壌に対しどのような影響をもたらすのだろうか。ここでは東南アジア湿潤熱帯林の土壌生態と森林の劣化・消失に伴う土壌変化について、筆者らがインドネシア東カリマンタンで得た知見を交えながら概観することとする。

### 2. 熱帯雨林の土壌

熱帯林の土壌は多様な地質・気候・地形等を反映して多くの変異を含んでいる。しかし肥沃な土壌地帯は大部分が農地化され、歴史的に熱帯林は風化・洗脱が進み貧栄養な Oxisols や Ultisols 等の土壌地帯に追いやられて来た。東南アジアの約 64% は Ultisols によって覆われており (Sanchez, 1976), その分布域は低地常緑雨林の分布域はほとんど重なっている。このように、湿潤熱帯アジアの森林土壌の代表格が Ultisols であり、この地域の丘陵や山地の森林地帯で見られる赤や黄色の土壌のほとんどは Ultisols と考えてよい。このアジア熱帯雨林を特徴付ける Ultisols は化学性に加えて、表層の粘土が下層へ移動した結果表層土の受食性が高いという重大な欠点を持っている。しかも熱帯アジアでは他地域よりも傾斜地面積の占める割合が大きいことが (斜度 8-30% が 26%, 30% 以上が 33% を占める) (Sanchez, 1989) この土壌を更に侵食され易いものとしている。一方、Ultisols には粘土含量の多寡に伴い養分環境や内部排水の良否に大きな変異が存在している。筆者ら (Ohta and Effendi, 1992a, 1992b; Ohta et al., 1993) の東カリマンタン低地フタバガキ科林の Ultisols を対象とした研究によれば、図-1 にその結果を例示したように、粘土含量は N, P, 交換性の Mg や K の蓄積レベルのみならず土壌の物理性や土壌水分環境をも規定する最も重要な因子であり、粒径組成や地形はこれに起因する養分環境の違いを通じて熱帯雨林の構造、樹種構成の不均一性を生み出す重要なエージェントとなっていると考えられる。しかし、樹

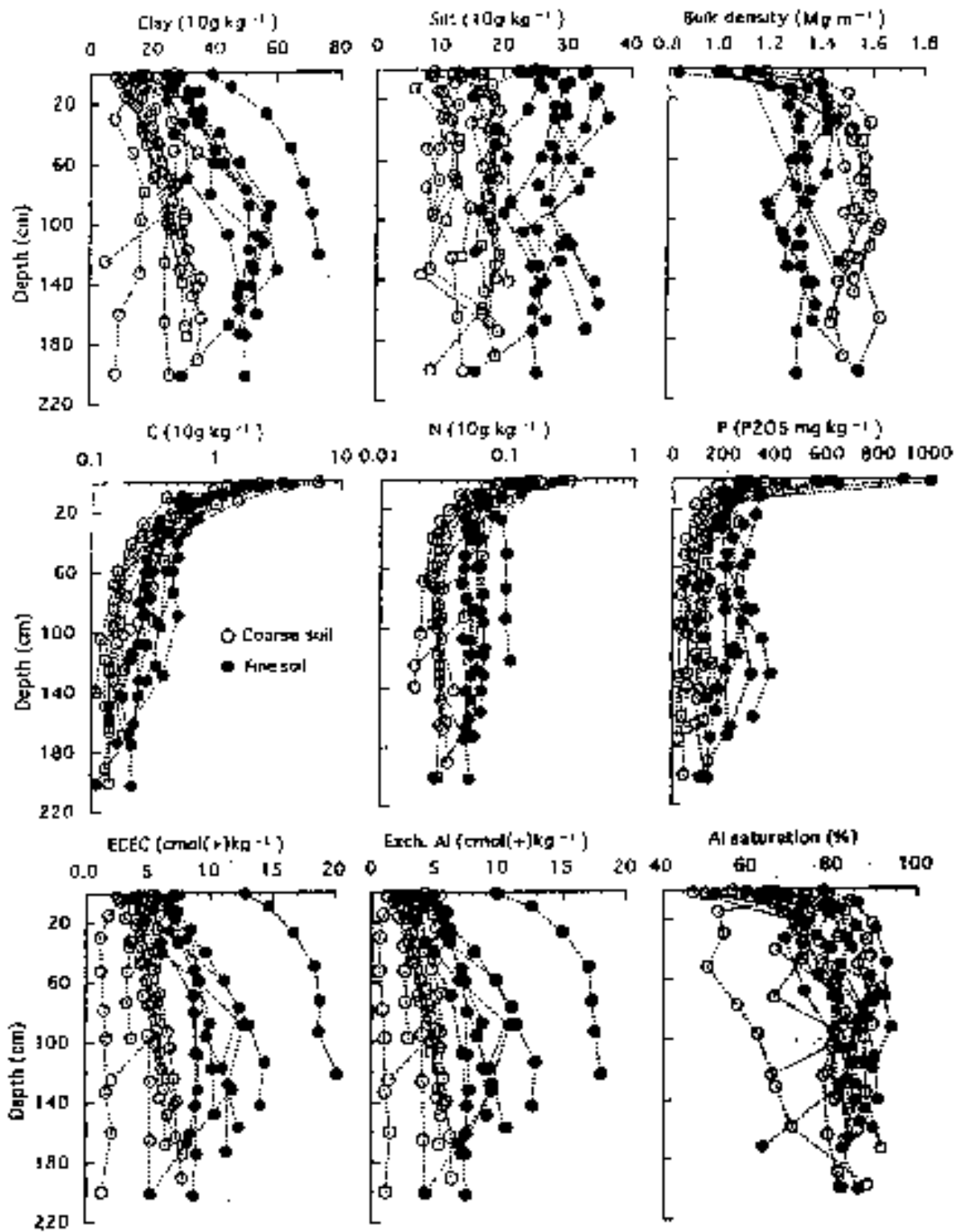


図-1 フタバガキ科天然林の粗粒質 (○) ならびに細粒質 (●) ULTISOL の性質  
(Ohta and Effendi, 1992a, b; Ohta et al., 1993)

種分布の不均一性などに各種土壌要因が関連しているとしても、樹種と各要因の対応関係等、その具体的内容については多くが未知であり、今後の研究にまたなければならない。

### 3. 熱帯林土壌の養分蓄積と循環

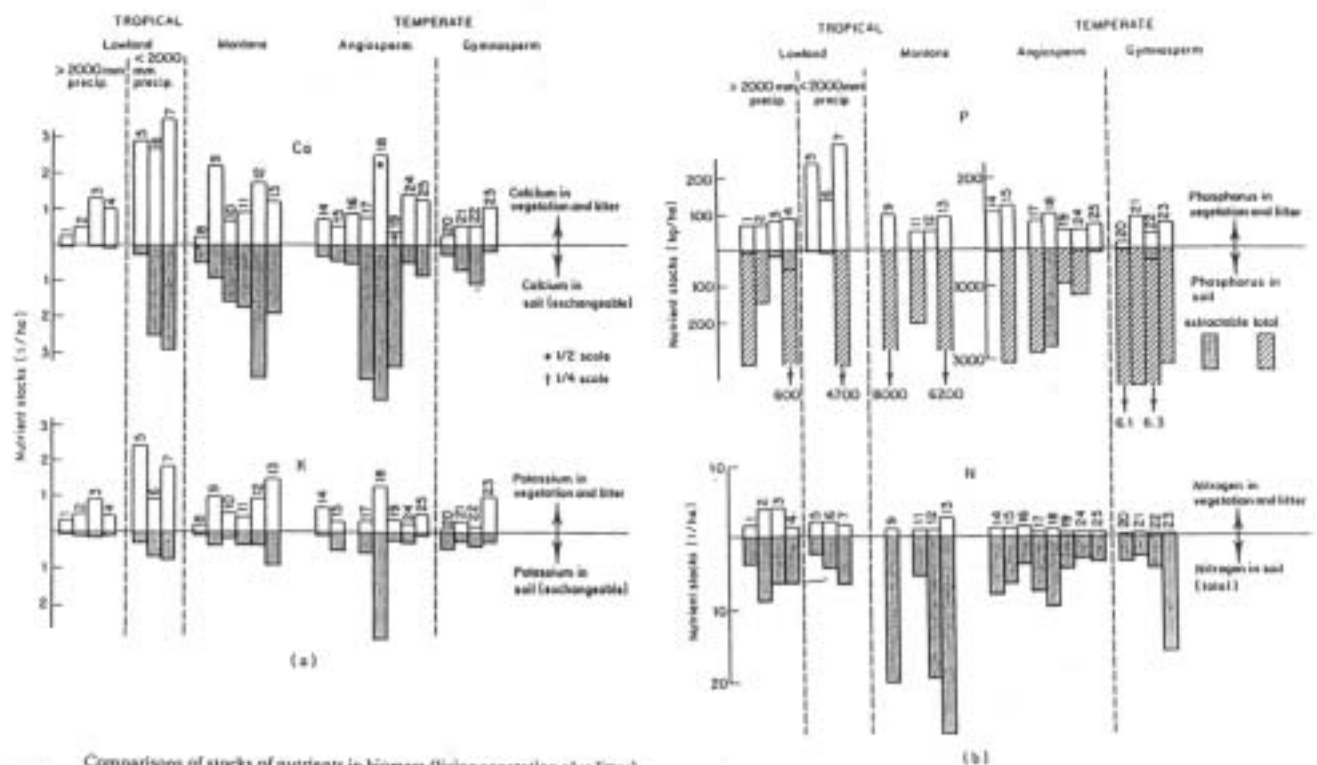
#### <熱帯林土壌の養分蓄積>

アメリカのジョージア大学生態学研究所の Carl F. Jordan は 1960 年代半ばからアマゾン、カリブ海地域やメキシコなどにおいて現地調査を行い、1985 年に多年の成果を「熱帯林生態系における養分循環」(1985)として出版した。Jordan の主張する基本的命題は、湿潤熱帯の植物生産力を規定する最重要な要因は植物養分の欠乏であり、それはあたかも水が乾燥地域における最大の生産力規定要因であるのと同様であるという点にある。湿潤な熱帯林地域では、高温多湿な条件下で、土壌母材の風化と土壌からの養分の溶脱・流亡が進み、土壌が極端な貧栄養状態になり易い。湿潤熱帯で森林は多くの養分保持機構を通じて極端な貧栄養条件へ適応していると考えられている。例えば、土壌が貧栄養になるほど、樹木は地表の堆積腐植層や薄い表層土中にルートマットを形成し、落葉枝や土壌有機物の分解によって解放される養分を直接吸収するような適応をしている。その極端な例として、Stark と Jordan (1978) はアマゾンのヒース林ではカルシウムとリンの大部分が表層のルートマット中で吸着・吸収され、僅か 0.1% だけしか流亡しないという結果を報告している。さらに熱帯多雨林のほとんどすべての樹種は内生菌根と共生し、またフタバガキ科林やヒース林では広く外生菌根との共生が起こっており、菌根菌との共生による養分の獲得と保全も貧栄養環境に対する重要な適応機構と考えられている。

熱帯林はその他様々な適応により養分を獲得・保持していると考えられているが、熱帯雨林の重要な養分保持機能の一つとして「熱帯雨林の養分は大部分がバイオマス中に存在し、これを土壌との間で速やかに循環させることで養分損失を抑え、大きな一次生産を可能にしている」とする仮説がこれまで広く支持されて来た。これに対し Jordan (1985) は既往の多数の研究成果を図-2 のように整理して熱帯林と温帯林の Ca, K, P, N の 4 主要養分元素の土壌-橋物系における分配を比較し、一般的には熱帯林では積極的なバイオマス中への養分蓄積を立証し得ないとしている。しかし、詳細にみれば、K は熱帯林では植生中の蓄積が土壌中よりも大きく特に低地熱帯林でそのことは明瞭であるし、P に関しても抽出性あるいは有効態の P について見れば、1 例を除いて常に植生中の蓄積量の方が大きく、熱帯林はもちろん温帯林でも植生が系の有効態 P のプールとして重要であることが分かる。また、N については温帯・熱帯を問わず、植生より土壌中での蓄積が大きいことは明らかであるが、これは森林下での土壌中有機物蓄積量の大きさの反映であり、植生中に蓄えたものではないが、植生の存在自体が土壌中の窒素蓄積に絶対的に重要な点を看過してはならない。このように、Jordan の主張とは異なり、やはり植生が熱帯での養分の洗脱・流亡傾向に抗して養分を貯留する上で大きい役割を果たしていると考えられるべきであろう。

また、湿潤熱帯林下の土壌では養分元素は表層土壌中に偏在し、養分循環はもっぱら表層土壌と植生の間で成立していると考えられているが、各種養分の土壌断面中での分布を克明に調べたデータは多くない





Comparisons of stocks of nutrients in biomass (living vegetation plus litter) and soils of tropical and temperate forests. The sites and references are: (1) rain forest, Venezuela (Uhl and Jordan, 1984; Jordan, 1985); (2) rain forest, Manaus, Brazil (Klinge, 1976); (3) moist forest, Pará, Brazil (C.E. Russell, 1983); (4) Banco plateau forest, Ivory Coast (Bernhard-Reversat, 1975); (5) 'old forest', Thailand (Zinks *et al.*, 1978); (6) 40-year-old forest, Ghana (Nye and Greenland, 1966); (7) seasonal forest, Venezuela (Hae and Fölster, 1982); (8) montane forest, Puerto Rico (Jordan *et al.*, 1972); (9) rain forest, Costa Rica (Gessel *et al.*, 1977); (10) montane forest, New Guinea (Manner, 1976); (11) slope forest, Colombia (Fölster *et al.*, 1976); (12) montane forest, New Guinea (Edwards and Grubb, 1982); (13) montane forest, Venezuela (Grimm & Patschender, 1981); (14) beech forest, Sweden (data of Nihlgård in Cole and Rapp, 1981); (15) beech forest, Germany (data of Ulrich in Cole and Rapp, 1981); (16) hardwoods, New Hampshire, USA (Likens *et al.*, 1977; Bormann *et al.*, 1977); (17)

yellow poplar, Tennessee, USA (Henderson *et al.*, 1971; Cole and Rapp, 1981); (18) oak forest, Oklahoma, USA (Johnson and Risser, 1974); (19) oak forest, Viréelles, Belgium (Duvigneaud and Deneyer-DeSmet, 1970); (20) 30-year-old pine forest, Ontario, Canada (Foster and Morrison, 1976); (21) Douglas fir, Washington, USA (Cole *et al.*, 1967); (22) spruce-fir, British Columbia, Canada (Kimmis and Krumholtz, 1976); (23) montane fir, Washington, USA (Turner and Singer, 1976); (24) mixed oak, Tennessee, USA (Johnson *et al.*, 1982c); (25) aspen-maple, Wisconsin, USA (Pastor and Bockheim, 1984).

図-2 熱帯林と温帯林におけるバイオマス（リター含む）と土壌中の養分ストックの比較

ので、この問題について明瞭な結論を得ることは難しい。しかし、筆者ら(Ohta and Effendi, 1992b; Ohta et al., 1993)の東カリマンタンの低地フタバガキ林のデータでは、図-3に示すように深さ150cmまでの蓄積に表層30cmの蓄積が占める割合は炭素では45%と高いものの、全Nで27%、全Pで25%、交換性のCa 20%強、Mg30%、K20%に過ぎず、ほぼ均一に断面内に分布している。これに比べて有効態のNとPは炭素と同様明瞭に表層に偏在している。この結果から筆者らは、熱帯多雨林下の土壌では養分元素の大部分が極薄い表層部に遍在するとする仮説は交換性塩基類では成り立たず、養分循環における下層度の役割を考慮する必要のあることを指摘している。しかし、同じく筆者らの、やはり東カリマンタンのアガチス林下のポドゾルにおける炭素、チッソ、リン、交換性塩基の断面内分布を示した結果(図-4)をみれば、ここではこれら元素のほぼ全量が林床に厚く堆積したH層あるいは0a層(7~10cm)中に存在しており、根の大部分もこの層に集中してルートマットを形成しており、このような極端な貧栄養条件下では、上に述べた熱帯林土壌表層への養分集中の仮説が成り立っているといえる。

#### <養分元素の一次的給源>

ところで熱帯雨林生態系の成立と維持を保障する養分の一次的給源はどこにあるのであろうか。一般的な回答としては大気起源のNは生物的固定により徐々に蓄積されたものであろうし、土壌起源の元素は土壌圏に易風化性鉱物が存在する場合には根系から吸収され徐々にプールを拡大して行ったのであろう。幸いP, K, Ca, Mgなど必須多量~中量元素は地殻中に多く存在し、しかも多くの熱帯多雨林は多かれ少なかれ傾斜地に分布するためにcreepやland slipによって土壌は常に若返っており、母材が極めて貧栄養でない限りその生態系は岩石の風化により継続的にこれら養分の供給を受けているといえる。しかし、上記の砂質ポドゾル上の森林などでは下層からの養分供給はほぼ見込めないし、中央アマゾンの極めて深く古い第三紀堆積岩の風化物上に成立した森林の場合でも、風化に伴う養分供給は無いが、仮に深部にはあったとしても根の分布範囲をこえている。このような場合、養分の給源は大気がほとんど唯一のものとなる。Golley(1983)は、成熟した熱帯多雨林の植物体中に存在する養分元素量と大気から供給される量を表-1のように比較し、植物体に含まれる養分がもっぱら大気から供給されるためには数十から数百年を要するが、一方森林そのものが成熟するにも数百年を要することから、大気からの供給だけで森林の養分を賄う可能性を指摘している。しかし実際には表面流去水や溶脱による損失を差し引いた正味の供給量を見極め、それがヒース林などの養分要求を賄い得るかを確かめなければならない。

以上のように養分の一次的給源をどの程度母材や土壌、大気に求めているかは、生態系によってさまざまであり、その違いに対応して熱帯多雨林の養分循環には、ほぼ完全に閉鎖したものから、部分的に開放したものまで多岐にわたる。一般に、養分の給源をもっぱら大気に依存しているポドゾル上のヒース林のような森林では、養分循環はほぼ閉じている一方、その他のほとんどの熱帯多雨林では、母材からの養分供給の多少に応じて開放型の養分循環系が広く成り立っていると考えられている。しかしいずれにしろ、熱帯雨林が旺盛な一次生産を維持できるのは、土壌が貧栄養であればあるほど多くの適応機構を発達させることで限られた養分を効率良く獲得・保全しながら速やかに循環しているからに他ならない。そして恐

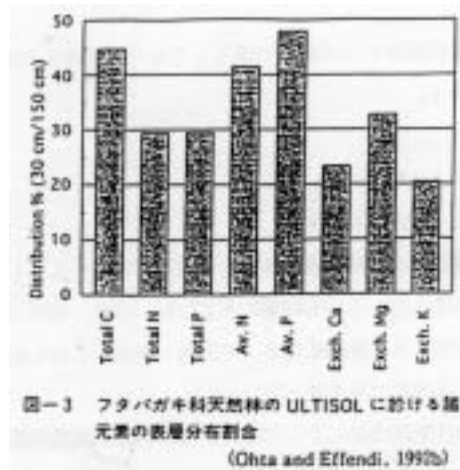


図-3 フタバガキ科天然林の ULTISOL に於ける諸元素の表層分布割合 (Ohta and Effendi, 1992b)

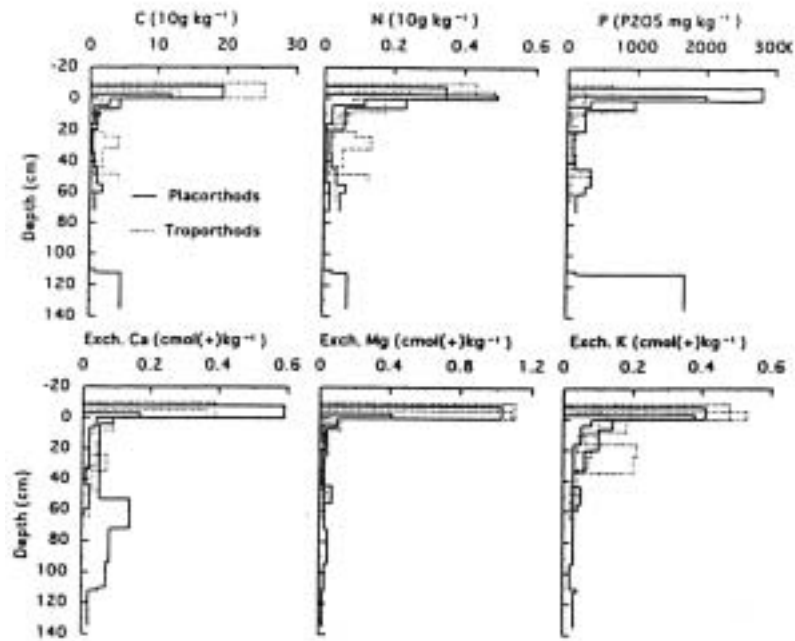


図-4 アガチス林の SPodosOL に於ける諸元素の断面内分布 (Ohta and Effendi, 未発表)

表-1 ,降水による養分供給と成熟した熱帯雨林中の養分量の関係(kgha<sup>-1</sup>) (Golley, 1983)

Element	Biotic inventory	Rain input	Years of input to equal inventory
P	164	1	164
K	3.103	9.5	327
Ca	4.103	29	141
Mg	429	4.9	88
Na	55	31	2
Co	12	2	6
Cu	2	0.5	3
Fe	18	3	6
Mn	29	0.4	73
Sr	21	0.1	210
Zn	8	0.9	9

らく生態系の多くの部分がその機能に関係しており、伐採などの攪乱はこれら機能の損傷もしくは喪失さを招くことになる。

#### 4. 熱帯林の攪乱と土壌

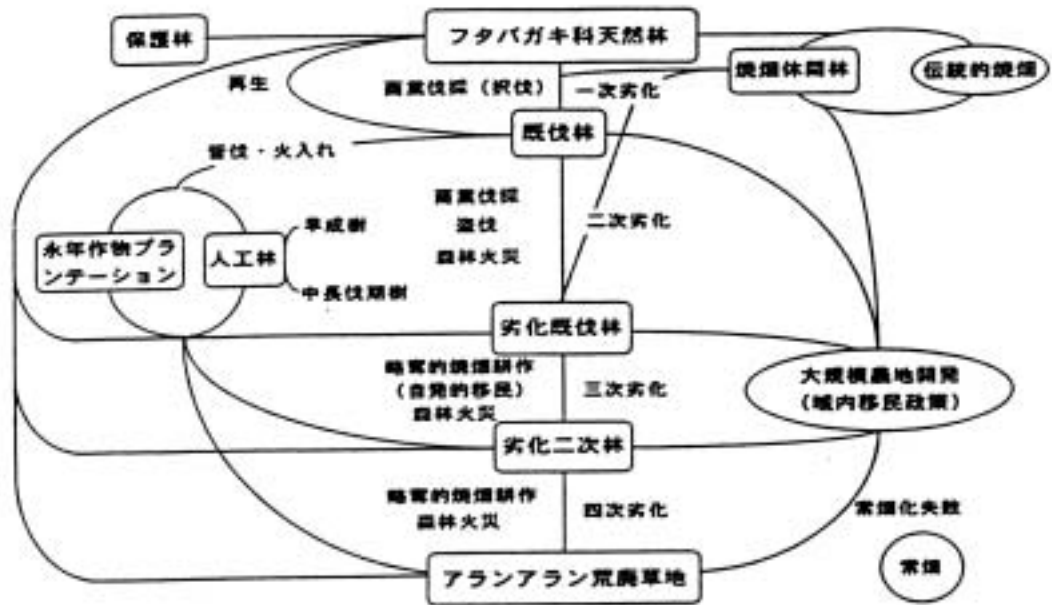
##### ＜熱帯雨林の劣化・消失プロセス＞

熱帯雨林は間違いなく脆弱で傷つき易い生態系である。しかし「伐採によって熱帯雨林が一瞬にして不毛の荒地へ変わる」というのも誇張にすぎない。劣化・消失は段階的であり、そのパターンも様々である。熱帯雨林がどのような経過をたどって劣化・消滅していくのかを、東カリマンタンの低地フタバガキ科林について図-5 で見てみよう。

熱帯雨林の変容は商業伐採によって端緒が切られる。商業伐採は多くの場合択伐天然林施業をその持続的経営の基礎としている。この方法では生物多様性の維持、土壌保全などを保証しつつ、持続的な木材生産を行おうとするが、現実には成功している例は多くはない。択伐作業は予想以上に多くの残存木に被害を与えるし、作業に伴う土壌の攪乱は広範囲に及ぶことも少なくない。更に、資源量減少や需要変化に伴い2回、3回の択伐が繰り返され、或いは盗伐が行われる時、森林は再生のための潜在力を急速に喪失して行く。加えて択伐を受けた森林は内部が乾燥し火に弱い。東カリマンタンでは度重なる大規模火災で、広大な面積の森林が焼失した。度重なる択伐や火災により商業的価値が低下した森林の一部は、皆伐・火入れされ人工造林地や永年作物のプランテーションへと転換される。しかし、こうした土地利用はこれまで多くの農地が森林地帯を切り開いて開発され食糧生産を支えて来たのと異ならず、そこが生産地として機能して行く限り、ある意味ではやむを得ないことと言える。

熱帯各地で行われている入植移民計画も時として熱帯雨林の消失に猛威を振るう。インドネシアではジャワ島に集中する人口をスマトラ、カリマンタン等の未開発地域へ分散させる政策移民が大規模に進められている。しかし、十分な肥料を購える筈もない貧農にとり、熱帯の貧栄養土壌での永続的な畑作経営は絵に描いた餅に過ぎないことが多い。数年を経ずして常畑化に失敗した入植農民達が立ち去った跡には、広大な草原と二次林が残される。彼らは故郷の島にもどり、或いは都市へ流人し、或いは周辺の森林へ焼畑を拡大して行く。

熱帯アジアでの森林消失の最大の元凶は焼畑だとされる。しかし、短期作付-長期休閑によって生産性の回復が保証される限りにおいて、焼畑耕作は低肥沃度土壌条件に対する優れた適応であり半永久的に食糧生産が可能な農法であることは、歴史が証明しているし近年の研究結果もこれを支持している。これに対し、肥沃な農業地帯から人口圧で押し出された焼畑慣行を持たない貧農達が、新しく開かれた林道沿いに休閑期間の短い焼畑を無秩序に繰り返す時、天然林は急速に劣化二次林へと姿を変えてゆく。焼畑を経験するうちに、森林からはフタバガキの木々が確実に減少し、天然林に代わって広範囲に出現したこうした二次林は放置しても容易に元の天然林に戻ることはない。ことに母樹さえも周辺から失われる時、自然力での森林復元は不可能に近い。そして更に、休閑期間の短い略奪的な焼畑が繰り返されたり常畑が放棄さ



図一五 低地フタバガキ科林の変容過程

表-2 樹木ならびに全地上部バイオマス中に含まれる5大主要養分量の推定  
(ニューギニア、Kerigomna の山地林の例)

	Dry Weight (t ha <sup>-1</sup> )	Nutrient concentration (kg ha <sup>-1</sup> )				
		N	P	Ca	Mg	K
Total above-ground biomass	331	853	49	1490	212	699
Trees ≥ 0.1m diameter:						
Total	295	585	30	1150	162	571
of which boles	228 (77%)	342 (59%)	16 (54%)	638 (56%)	107 (66%)	388 (68%)
branches, twigs and leaves	67	243	14	515	55	183
Percent of total amount contained in boles ≥ 0.1 m diameter						
In wood and bark	68%	40%	33%	43%	50%	55%
In wood on Jy	61%	25%	23%	12%	38%	41%

From Grubb and Edwards (1982)

れば、やがて悪名高いチガヤ(アランアラン)草原へ姿を変えて行く。チガヤは成熟につれ生産物を地下茎に貯蔵すると同時に地表にたまった枯葉はすこぶる燃え易い。ひとたびアランアランに変われば、繰り返す火災のために草原は草原として安定し、森林の自然回復は絶望的でさえある。アランアラン草原は拡大を続け、その面積は1980年代初頭でも東南アジアだけで2500~3000万haにも及ぶ(Myers, 1980)。

図-5でみた様々な森林の変容と共に土壌はどのように変化してゆくのであろうか。以下に商業伐採の土壌への影響や、新たに出現した劣化二次林や荒廃草地の土壌の特徴について見てみよう。

#### <商業伐採と土壌>

熱帯林の土壌-植物系の養分プールは植生自体によって創出、維持されており、植生が破壊されれば湿润熱帯の土壌に本来の貧栄養状態に戻らざるを得ない。皆伐のように、地上部バイオマスを大量に持ち出す場合には植物体中に蓄えられていたPやKはもちろん、その他の元素にも大きな損失をもたらすことになるし、開墾して森林植生による養分の有効な循環を遮断すると、土壌-植生系により維持されていた養分プールは、激しい洗脱条件下に置かれてたちまち枯渇してしまうであろう。では熱帯林での商業伐採はどのように行われ、土壌生態系にどのような影響をもたらすのであろうか。熱帯多雨林は極めて多様な植物種より成っており、例えばマレーシアの天然林には2500種の樹木が生育するが、商業伐採の対象はその内の400種、さらに輸出用の樹種はわずか30種(1.2%)にすぎない(Whitmore, 1984)。このため、熱帯林の商業伐採は択伐によって行われ、一般に1haあたりに伐り出される樹木は僅かに10本前後にすぎず、従って系外への養分の持ち出しも大きくないとされる。表-2に示したパプアニューギニア低山林の試算では、10%の択伐で幹材として持ち出される養分量はバイオマス地上部中に含まれる量の5%以下にすぎず、択伐自体が極端に大きな養分損失を引き起こすことには必ずしもならないように見える(Whitmore, 1990)。しかしこの例では地下部バイオマスや、跡地に局所的に残置される伐採木の枝葉や樹皮などの分解に伴い解放される養分が評価されておらず、その行方はまだ明らかではない。また、大型機械による伐出作業は多くの周辺樹木に被書を与え、このような被害木は搬出されないため一見直接的な養分損失にはつながらないように思われるが、被害木の分解等に伴って解放される養分が、養分保全機能にも損傷を受けた生態系によって効率よく保全されるかどうか不明である。

択伐の養分保全に関する最も深刻な影響は表土の攪乱に起因する。択伐が土壌に及ぼす影響は土壌の性質、地形、開発手法とその強度、機械の大きさと数等によって大きく変異するが、機械による攪乱や圧密の他に、地表への日射量の増大、遮断雨量の減少、表面流去水の増加とそれに伴う土壌流亡の増加、無機養分の流亡増大が起こるのであろう。

植被、Ao層、林床植生は熱帯の強い雨滴衝撃を緩和し、地表近くに張り巡らされた根は土壌流亡を抑制している。若干の土壌流亡は天然林下でも観察されるが、植被が取り除かれたり攪乱を受けると、流亡量は急激に増加する。特に択伐跡地ではトラクターによる材の引きだしや、伐出道の開設によって作り出される裸地のネットワークが表面流去水と表土流亡を加速する。マレーシア、サバ州の傾斜70%の択伐跡地では6カ月間に1haあたり450トンが(Liew, 1974)、他のサバの中程度の傾斜地にある農耕地では年間

1000 トン以上もの土砂流出が起こったと報告されている(Brunig et. al. 1975)。

ここで仮に択伐によって 50%が裸地化し、その全面から均等に 500 トン/ha の表土が流亡したとし、東カリマンタンの低地フタバガキ林表層土壌の養分濃度(Ohta & Effendi, 1992b ; Ohta et al. 1993) を用いて土壌流亡による養分ロスを試算してみると、N629kg, P103kg, 有効態 N51kg, 有効態 P8kg, K 23kg, Ca47kg, Mg21kg が失われる計算となり、特に N と P の損失の大きい。この N と P の損失量はバイオマス地上部中の総量に匹敵する大きさであり、表土流亡による養分損失が極めて大きなものとなりうる可能性を示している。ただし、流れ出した表土の下部斜面での再堆積量を差し引いた系からの真の損失は不明であり今後の検討を要する。

択伐に伴い溶脱による養分損失が起こる。コスタリカでの研究によれば、単木的な伐採でできたギャップでは、養分は溶脱される前に周辺の樹木によって吸収利用されると考えられるのに対し、伐採面積が 50 m<sup>2</sup> から 2500 m<sup>2</sup> へと拡大すれば、植生回復までの 1 年半の間に著しい養分溶脱が起こる(Parker, 1985)。またスリナムではでも、強度の伐採が行われると蒸発散量が減少し土壌中の雨水の流下量が増える結果、養分の渓流水中への流出が増加したことが報告されている(Poles, 1987)。これらの結果は、養分保全に関し、熱帯林生態系があるレベルまでは択伐に伴う攪乱を許容するが、それを越えた場合にはその限りではないことを示している。しかし、この許容レベルがどの程度であるかは、今後明らかにすべき課題の一つとなっている。

伐採による日射量の増加に伴う地温上昇も、土壌に重要な変化をもたらす。地温の上昇は土壌有機物の分解を促進し、有機物中の養分の解放と流亡、土壌構造など物理性の劣化に伴う表土流亡の増加につながる。実際、ブルネイやインドネシアの低地フタバガキ林の択伐跡地では、Ao 層や A 層の層厚の減少、表層土の有機物含量と養分レベルの低下等が報告されている(Kartawinata, 1989)。

一方、土壌微生物相も伐採で著しく変化し、カリマンタンの荒廃草地では菌類が天然林下より特徴的に少なく、菌根菌と共生することで養分吸収効率を高めるフタバガキ科樹木の侵入・定着を阻害する要因の 1 つとなっている可能性がある。また一方で、攪乱跡や荒廃地に最初に侵入定着する先駆樹種は、天然林の上中層を構成する樹種の多くが菌根との共生を必須とするのと異なり、一般に条件的共生もしくは非共生のものが多く、荒廃草地土壌での菌類数の少なさは先駆樹種の侵入の障害とならないことを意味するかもしれない興味深い。

択伐は養分の供給・保持機能の維持、土壌攪乱の抑制、耐病虫害性や太陽利用効率の維持等の点で利点があるとされる。しかし、低価値木の薬殺等が行われる場合には樹種の多様性が維持され難いこと、残存木や土壌への影響が予想以上に大きいこと、規定どうりの施業が行われないこと等、未だ多くの問題を内包しており、択伐後の天然更新が成功している例は決して多くない。攪乱に限って言えば、伐出道などを注意深く設計・配置することでそれを最小化することが可能であることが事例的に実証されている。しかし現実には、先に見たような広範囲の裸地化や周辺木への被害を、規制強化などによって速やかに改善できると考えるのは、多くの場合楽観的に過ぎると云わざるを得ない。特に焼畑への転換は最大の問題であ

り、択伐跡地の多くが焼畑に変えられているといわれる。

#### <劣化生態系の土壌>

商業伐採とそれに引き続く略奪的な焼畑耕作や森林火災によって、低質化した二次林やチガヤ(Imperata)草原が今も拡大を続けている。東カリマンタンの低地フタバガキ科林地帯も1970年代の本格的商業伐採の開始以降、新規入植者による焼畑耕作や大規模森林火災などで森林劣化が急速に進み、広範な地域が二次林とチガヤ草原に覆われている。では、劣化二次林やチガヤ草原の土壌は天然林に比べてどうに違うのだろうか。

この地域の二次林は攪乱履歴の違いによって異なったタイプに類型化されるが、ここでは1982年の大規模火災の被害を受けつつも1982年以降には焼畑履歴を持たない攪乱程度の弱い二次林と、1982年の火災以降も数度にわたって1年栽培-5年前後休閑の焼畑により強度の攪乱を受けた3~5年生程度の若い二次林について、その土壌を天然林と比較してみよう。化学性についてみれば、これらの二次林土壌はいずれも天然林に比べ著しく劣化しているようには見えない。特に図-6に示すようにより強度の軌を受けた若い二次林の土壌は多くの場合、少なくとも表層土のpH、交換性塩基レベルで見れば天然林よりむしろ相対的に高い(Ohta et al., 1999)。この知見は一見、「焼畑跡地の土壌は劣化している」また「焼畑跡に森林が再生・成熟して行く過程で土壌は肥沃になる」という一般的仮説に反する様に見える。確かにバイオマスの燃焼に伴い灰として土壌に付加された養分は栽培期間中に表土流亡や作物収穫等により土壌系から徐々に失われる。従って短いサイクルで焼畑が繰り返され養分損失が一次的給源からの付加分を上回れば土壌中の養分プールも徐々に涸渇して行くことになる。しかし実際にはJordan(1985)が指摘するように、天然林を対象に焼畑が行われた場合、2~3年の栽培期間中に作物収量の低下が起こるにも拘らず、土壌養分ストックが著しく減少することはなく、しばしば伐倒・火入れ前よりも高いレベルで維持される。

更に、森林の再生・成熟過程は下層土を含めた土壌中の養分が樹木により吸収され落葉枝等として地表へ再配分される過程であり、表層土壌の肥沃度を問題とする農業的立場からすれば「森林が土壌を肥沃にする」とする仮説はあながち間違いではない。しかし、森林の再生・成熟過程は同時に土壌養分のバイオマスへの移行過程でもあり、土壌系全体で見れば、森林の成熟それ自体は土壌中の養分量を増加させる方向ではなく、むしろ減少させる点に注意する必要がある。従って、上記の強い攪乱履歴を持つ若い二次林の表層土で交換性塩基レベルが高いのは、焼畑により上昇したレベルが維持されていると共に、林分が若齢であるためバイオマス中への以降・蓄積に伴う土壌養分レベルの低下が起こっていないためと解釈することができる。

一方チガヤ草原の土壌はどの様に変化しているのか。図-7に示すように、東カリマンタンの例では、チガヤ草原は前出の強度の攪乱を受けた若い二次林と同様、天然林に比べ表層土の交換性塩基レベルが明らかに高く、炭素の消耗も進んでいるようには見えない(Ohta et al., 1999)。炭素濃度が維持されているのはチガヤの地下部生産量の大きさと、繰り返された火入れに伴う炭化物質の蓄積がおそらく関係して



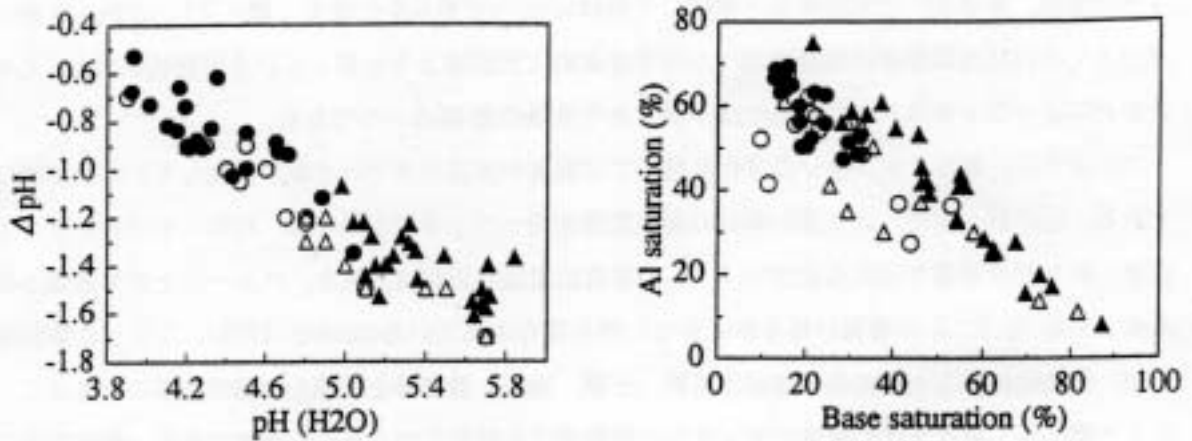


図-6 天然林 (●)、弱度の攪乱を受けた二次林 (○)、強度の攪乱を受けた二次林 (△) 及びチガヤ草原 (▲) の表層土壌 (Ah 層) における pH ならびに塩基状態の比較

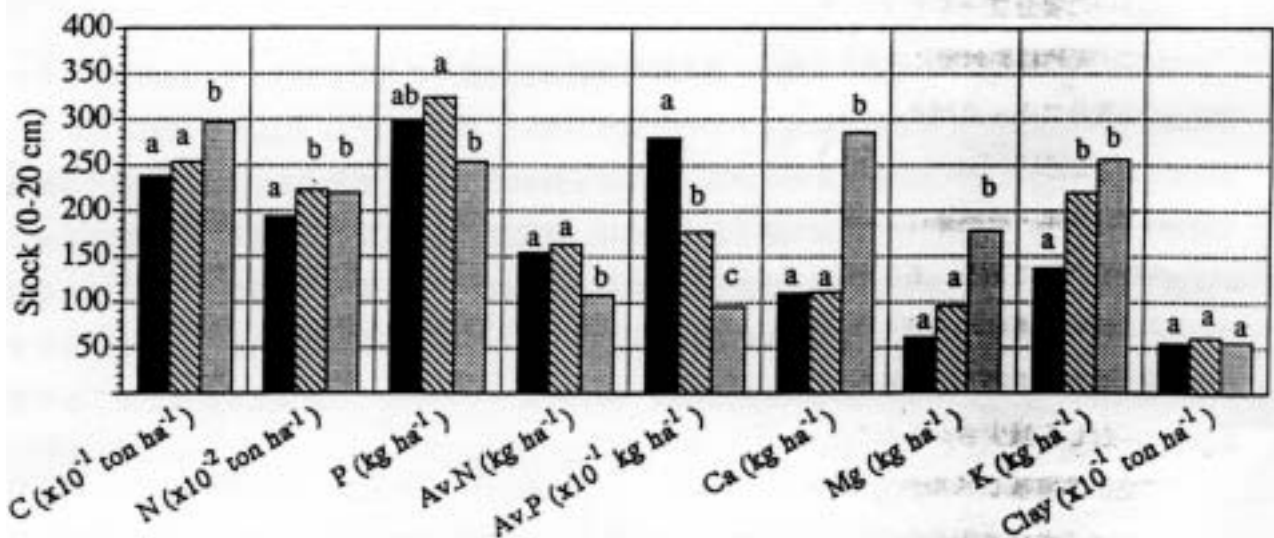


図-7 天然林 (n=20, 黒抜き)、二次林 (n=23, 斜線) 及び草原 (n=11, 点々) の 0-20cm 層における諸元素の平均蓄積量の比較

注) 各棒グラフ上に同じ文字 (a, b, c) が付されたものは、5%レベルで互いに有意差がない事を示す。

いるし、pHと塩基濃度の高さは先述の「焼畑後も土壌養分レベルは高く維持される」とする分脈において説明することができる。ただし表層土の可給態の窒素やリンのレベルはフィリピン(Ohta, 1990)やスマトラ(太田、未発表)の荒廃草地と同様に天然林に比べて明らかに低く(図-7)、これら元素の存在様式の点で見れば湿潤熱帯の荒廃草地はかなり普遍的に天然林よりも劣っている可能性がある。しかし、それがどのようなメカニズムによるかは不明であり今後の課題の一つである。

このように、東カリマンタンの劣化生態系では塩基や炭素の点では土壌が劣化している訳ではなさそうである。しかし一方で、より長い森林の攪乱履歴を持つフィリピン(Ohta, 1990)やスマトラ(太田、未発表)のチガヤ草原では塩基状態やC、Nの蓄積は周辺の天然林に劣り、ペルーのチガヤ草原土壌では天然林よりもN、P、Kの蓄積が明らかに少ない例も報告されている(Scott, 1978)。こうした事例間での違いは、草地化に伴う土壌変化の様相が気候、土壌、地形、履歴等と関連して幅のあることを示している。ここで例として取り上げた東カリマンタンの荒廃地は比較的なだらかな丘陵地であり、森林劣化の歴史も10~20年と短いことが極端な土壌劣化を招いていない原因であるかも知れない。しかしいずれにしろ、いかに劣化生態系における土壌中の養分ストックが少なくないとはいえ、バイオマスをも含めた土壌-植物系全体で見た時、劣化生態系の養分ストックは天然林のどれほどに相当するのか、ストックが天然林より劣る場合、森林の成立・成熟期間中の一次的給源による正味の付加により不足分の養分がどの程度補填されるかを見極めることが必要である。

## 5. おわりに

湿潤熱帯の植物生産力を規定する最大・最重要な要因は植物養分の欠乏であり、それはあたかも水が乾燥地域における最大の生産力規定要因であるのと異ならない。東南アジアのUltisols地帯において、生産と生物多様性や環境保全を両立させながら、熱帯林を持続的に開発・利用するためには、養分面からみて適切な立地区分と施業に伴う変動予測を行うと共に、貧栄養土壌適応型の森林管理手法を確立することが必要であろう。一方、熱帯林問題は農業問題でもある。人口増に伴う森林の農耕地への転換はある意味ではやむを得ないとしても、一旦開発された農地は農地であり続けてもらわなければならない。貧栄養土壌地帯での常畑化技術と、既存農地の生産性維持・向上によって熱帯林への破壊圧を軽減することの重要性が改めて強調される。

## 引用文献

- Brunig, E. F., M. von Busch, J. Heuveldop and K. E. Panzer 1975 : Stratification of the tropical moist forest for land use planning, *Plant Research and Development*, 2, 21-44
- Golley, F. B. 1983 : Nutrient cycling and nutrient conservation. *In Tropical Rain Forest Ecosystems. Structure and Function, Ecosystems of the World 14A*, Ed. F. B. Golly, p.152, Elsevier Science Publishing Company Inc., New York, U.S.A.
- Jordan, C. F. 1985 : Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems, p.21, 28-44, 45-72, 101-138, John and Wiley & Sons, Chichester, G. B.
- Kartawinata K., T. C. Jessup and A. P. Vayda 1989 : Exploitation in southeast Asia. *In Tropical Rain Forest Ecosystems, Structure and Function, Ecosystems of the World 14A*, Ed. F.B. Golly, p. 591-610, Elsevier Science Publishing Company Inc., New York
- Liew, T. C. 1974 : A note on soil erosion study at Tawau Hill forest reserve. *Malay. Nat. J.*, 27, 20-26
- Myers, N. 1980 : Conservation of tropical moist forests. National Research Council, Washington, D.C.,
- Ohta, S. 1990 : Influence of deforestation on the soils of the Pantabangan area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 36 : 561-573
- Ohta, S. and Effendi, S. 1992a : Ultisols of "Lowland Dipterocarp Forest" in East Kalimantan, Indonesia. I. Morphology and physical properties. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38, 197-206.
- Ohta, S. and Effendi, S. 1992b : Ultisols of "Lowland Dipterocarp Forest" in East Kalimantan, Indonesia. II. Status of carbon, nitrogen, and phosphorous. *Soil Sci. Plant Nutr*, 38, 207-216
- Ohta, S., Effendi, S., Tanaka N. and Miura, S. 1993 : Ultisols of "Lowland Dipterocarp Forest" in East Kalimantan, Indonesia. III. Clay minerals, free Oxides and exchangeable cations. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39, 1-12.
- Ohta, S., K. Morisada, N. Tanaka, Y. Kiyono and S. Effendi 1999: Are soils in degraded dipterocarp forest ecosystem deteriorated? *In Rainforest Ecosystems of East Kalimantan. El Nino, Drought, Fire and Human Impact*. Ed. E. Guhardja, M. Fatawi, M. Sutisna, T. Mori and S. Ohta, Springer-Verlag, Tokyo
- Parker, G. G. 1985 : Nutrient loss and recapture following deforestation of tropical hillslope forests, PhD dissertation, University of Georgia, Athens, GA
- Sanchez, P. A. 1989 : Soils. In H. Leith and M. J. A. Werger Eds, "Tropical Rain Forest Ecosystems", pp. 84-85, Elsevier, Amsterdam.
- Sanchez, P. A. 1976 : Properties and management of soils in the tropics, p.256, John Wiley and Sons,

New York

Scott, G. A. J. 1978 : Glassland development in Gran Pajonal of eastern Peru, PhD dissertation,  
Department of Geography, University of Hawaii

Stark, N. M. and C. F. Jordan 1978 : Nutrient retention by the root mat of an Amazonian rain forest,  
*Ecology*, 59, 434-437

Whitmore, T. C. 1984 : Tropical rain forests of the far east, p. 271, Clarendon Press, Oxford

Whitmore, T. C. 1990 : An Introduction to Tropical Rain Forests, p. 33-36, 51-52, 122-124, 138,  
140-141, Clarendon Press, New York, U.S.A.

# 熱帯林の修復

## —タイ南部荒廃湿地での取り組み—

東京大学 丹下 健

### 1. はじめに

マレー半島東海岸のタイとマレーシアの国境付近には、泥炭湿地と浜堤(砂堆)が海岸線から内陸に向かって交互に出現する特異な湿地が広がっている。この地形は、最終氷期後の温暖化による海進と、その後の3回の海水準停滞期をはさむ海退によって形成されたものとされている。泥炭湿地は、湾入が浜堤によって封じ込まれて形成されたもので、泥炭層の下にはパイライト( $\text{FeS}_2$ )を含む海成粘土が堆積している。タイ南部のナラチワでは、湿地林を伐採し、大規模な排水用水路を開設して砂地と泥炭湿地の農地開発が行われた。しかし、この地域の泥炭は、貧栄養な木質泥炭であることに加えて、泥炭層の厚さが1~3mと薄く、排水によって好氣的な条件におかれて分解が進み、下層のパイライトの酸化による酸性硫酸塩土壌化が進んだ。開発された農地は、このように作物の生育に適さない土壌条件であったために数年で放棄された。放棄された泥炭湿地では *Melaleuca cajuputi* が天然更新して二次林を形成し、砂地ではイネ科草本が優占する草地に *M. Cajuputi* がまばらに生育している。*M. Cajuputi* が天然更新する泥炭湿地では、工芸品の材料となるイグサの一種を採取するために火入れされることが多く、*M. Cajuputi* は更新と焼失を繰り返しているのが現状である。

このような荒廃地の環境を修復し生物生産性の回復をはかることを目的として、森林再生に取り組んでいる。草地化している砂地では、このまま放置しても森林が再生されるのは困難な状況にあるので、フタバガキ科をはじめとする在来種の人工植栽による森林再生を目指した。一方、泥炭湿地では、*M. Cajuputi* 林を資源利用しながら、もとあった森林への誘導を図るために、*M. Cajuputi* の成長特性を明らかにするとともに、湿地林在来種の導入方法としての人工植栽方法を検討した。

### 2. 環境特性

この地域の年平均気温は28℃、平均年降水量は2400mmである。明瞭な雨季(11~12月)と乾季(2~4月)があり、年降水量のおよそ半分が雨季に集中する。土壌はおもに、泥炭土壌、酸性硫酸塩土壌、砂質土という植物の生育に適さない問題土壌が分布している。砂地も泥炭湿地も、雨季には冠水し、乾季には地下水位が下がり非常に乾燥する。砂地の土壌は保肥力が小さく、また泥炭湿地は養分含量の低い木質泥炭であるために、いずれの土壌も養分環境が劣悪である。砂地の土壌には、深さはさまざまであるが、鉄やアルミニウム、腐食などが集積した堅密な層がみられる。乾季の砂地では、晴天日の日中には表層土壌の温度が60℃を

超える。

### 3. 砂地における森林再生

フタバガキ科などの在来種の造林技術の開発を目的に、マメ科早成樹との混植や、早成樹の林床に植栽する先行造林、耕耘地拵え、育苗ポットの大きさを変えた育苗などを試験した。

フタバガキ科4種(*Shorea roxburghii*, *Hopea odorata*, *Dipterocarpus alatus*, *D. chartaceus*)を植栽し、マメ科早成樹の *Acacia mangium* を植列間に植栽した混植区と、フタバガキ科だけの単植区を設けた。単植区では、成長が非常に遅く、*S. roxburghii* と *Hopea odorata* は枯れ下がる個体が多かった。混植区で *A. mangium* の林冠が開銀した頃から植栽苗の成長速度が大きくなり、単植区との成長差が認められるようになったことから、砂地での生育阻害要因として、貧栄養や乾燥、清水、高温などの劣悪な土壌条件と強光との複合的な環境ストレスが考えられた。砂地に *A. mangium* による被陰が形成されることによって、フタバガキ科にとって良好な環集条件が形成される。そこで、砂地にフタバガキ科を植栽する方法として、*A. mangium* をまず植栽し、林冠が形成された段階で、林床にフタバガキ科を植栽する方法(先行造林)が適当であると考えた。フタバガキ科を含む在来種14種について先行造林の効果を調べたところ、いずれの種も *A. mangium* の林床に植栽した方が明らかに植栽苗の生存率が高く、成長速度も大きかった。

さらに、植栽苗の活着率を向上させる方法として、育苗ポットの大きさや植え穴の大きさ、耕耘地拵えの効果を検討した。大きな育苗ポットで育成した苗を、深さ20-30cm程度耕耘する地拵えを行ってから植栽することによって活着率が高まることか明らかになった。

### 4. 泥炭湿地における森林再生

泥炭湿地では、*Melaleuca cajuputi* が野火の後に一斉に天然更新する。*M. cajuputi* は、立地的には地下水位の高い場所ほど、季節的には乾季よりも雨季の方が、樹高成長速度力が大きく、*M. cajuputi* にとって滞水は成長低下の原因となっていない。泥炭湿地に成立する *M. cajuputi* 林について、樹高0.5-14 mの範囲にある22林分の地上部現存量を調べた。地上部現存量の最大値は、保護地域(Wildlife Sanctuary)内の林分のもので、およそ100 t ha<sup>-1</sup>であった。地上部現存量の年増加量は、6~16 t ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>の範囲にあり、葉面積指数が大きい林分ほど多い傾向が認められた。年落葉落枝量は、約2 t ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>で、清水している雨季に落葉落枝が多かった。現存量増加量に落葉落枝量を加えた純一次生産量は、6~19 t ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>の範囲にあり、劣悪な土壌条件であるにもかかわらず旺盛な成長を示している。*M. cajuputi* の資源利用を進める場合には、*M. cajuputi* の成長を高める意味でも、また泥炭層の消失を抑制する意味からも年間を通して地下水位を高く維持することが重要と考える。

泥炭湿地への在来樹種の導入を図るために、*Syzygium kunstreli*などの湿地林在来種5種について、泥炭を盛り上げてマウンドを造って植栽することによって雨季の冠水ストレスを緩和することが植栽苗の成長に与える影響を調べた。いずれの樹種も、マウンド上に植栽した方が樹高が高くなったが、マウンドの有無による成長差は、樹高の低い植栽当初に大きく、植栽木の成長に伴って小さくなっていった。また、雨季と乾季に光合成や蒸散を測定したが、マウンドの有無による違いは認められなかった。これらの結果は、雨季の冠水時に地上部が水没することが成長低下の原因であり、地下部の滞水の成長への影響は小さいことを示唆している。泥炭湿地でのマウンドの造成は、人工植栽の方法としてだけではなく、雨季にも水没しないマウンドを造成することによって木本種の自然な侵入を促進することも可能と考えられる。

## 5. まとめ

農地開発の失敗によって荒廃地となった砂地と泥炭湿地における森林再生技術の開発を目指して研究を進めてきた。これまでに、砂地においては、耕耘地拵えと *Acacia mangium* の先行造林を組み合わせることによって、フタバガキ科などの在来種の造林が可能であることを明らかにした。植栽後5年を経過した時点で、5 mを超える樹高に達した植栽木もみられる。

一方泥炭湿地では、野火の後に天然更新する *Melaleuca cajuputi* の資源利用の推進によって火入れを抑制し、それに湿地林在来種の人工造林を組み合わせることで、元々あった森林へ誘導することが可能であろう。

荒廃地の環集条件は、森林が存在した時の環境条件に比べて植物の生育にとって厳しい環境条件となっている。荒廃地の森林再生においては、樹木の進入を妨げている環境要因、特に土壌要因を明らかにし、その制限要因を緩和するような植栽方法を開発することが重要である。

## 中央アジアの灌漑農業と水・土資源 -アラル海の悲劇-

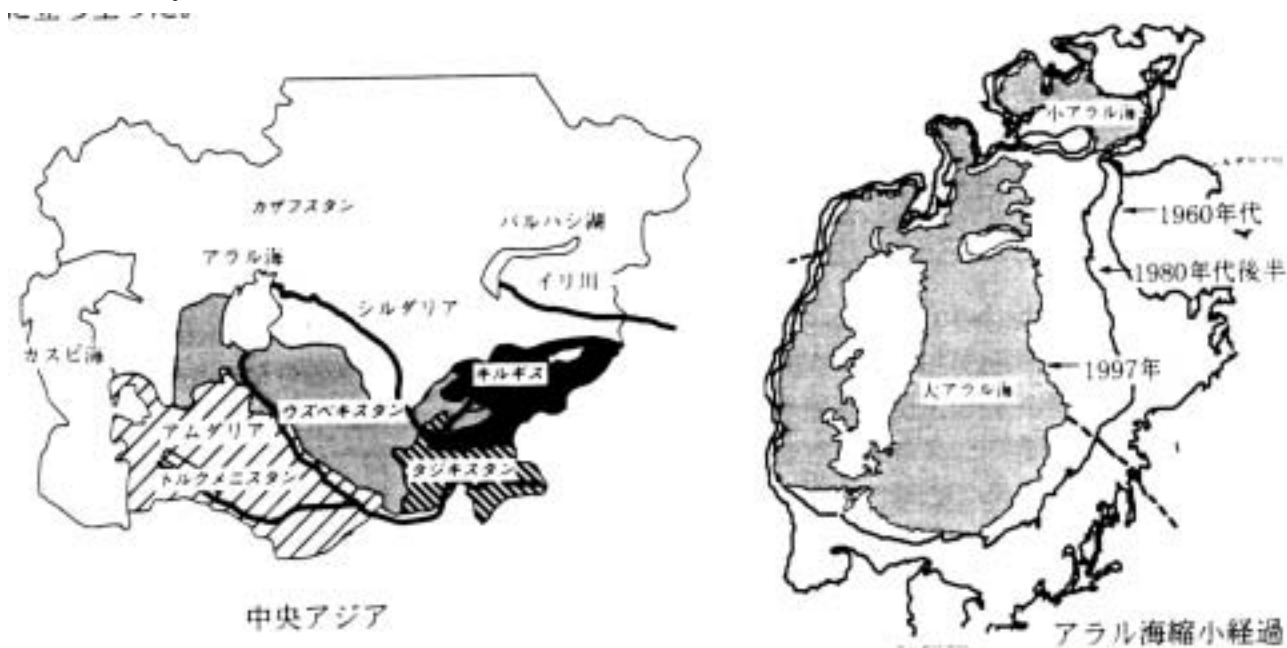
石田紀郎(京大アジア・アフリカ地域研究研究科)

〈原著欠落〉地球規模的環境問題のうちでも最重要の課題である。食糧生産の基盤は土地と水であり、とくに水の賢明な利用の術を我々が獲得するかによって、「人口増と食糧」の難問克服の将来がかかっていると言っても過言ではないであろう。そのためには、現在の「水と人」との関係を正確に把握し、問題点を整理し、解決策を模索する必要がある。ここで、取りあげる「アラル海の悲劇」は、20世紀最大の環境破壊とも呼ばれ、その規模の広大さゆえに実態不明のままに語られていることが多い。しかし、断片的であれ、この問題の中からどれだけの教訓を引き出し、「水紛争の世紀」といわれる21世紀に引き継ぐかは我々の責務であろう。

### 1. アラル海の縮小経過

アラル海はカザフスタン共和国とウズベキスタン共和国の領内にある内陸湖である。沿岸部の北から東部はカザフスタンのクジルオルダ州に、南から西部はウズベキスタンのカラカルパック自治共和国にある。すでによく知られているように、1960年代以降(とりわけ1970年代)にアラル海湖面積は68000km<sup>2</sup>から37000km<sup>2</sup>(1992年)へと縮小し、世界第4位の湖面積を有したこの内陸湖が現在では12,3位にまで規模を縮小し、現在もその進行は止まっていない。縮小の原因はアラル海に流入するシルダリアとアマダリアの両河川中流域において多量の河川水が取水された結果、アラル海への流入水が激減し、流入水量と湖面からの蒸発水量(年間の蒸発量は1,500~2,300mm)の収支バランスがくずれ、アラル海の水量が減少したためである。

取水された農業用水は両河川中流域において、1960年以降急速に拡大された農地の灌漑用水として利用されている。農地の拡大は取水量の増加を招き、アラル海の縮小を生じた。湖水の塩分濃度は1960年の10‰から35‰へと上昇し、プランクトンの大部分の種が消失した。魚類の消失はプランクトンの減少以前に、産卵場所の消失と沿岸部の塩分の上昇によって始まり、漁業は壊滅的状況に立ち至った。





アラル海環境問題として、近年多くの報告・報道がなされ、その全容が明らかになったかのようにあるが、実態は未だ解明されていない。ただ、はっきりしているのは、アラル海が縮小し、船舶の航行不能による船運の消失、湖水の塩分上昇や湖岸線の急速な後退などの生物相生存条件の激変による水生生態系の破壊と漁業の壊滅である。これ以外のアラル海縮小に伴う環境変化と環境問題ははまだ解明過程にあるといえるであろう。問題点として指摘されている気候変化に伴う諸現象、水系・土壌系の農薬と塩類汚染、エコロジカル・ディジーズと総称される健康障害や乳児死亡率の増大などなどに関する調査研究は極めて立ち遅れている。以下に各問題の概略を記載する。

## 2. アラル海環境問題

### 1) 取水量の増大とアラル海への流入量の減少

綿花は中央アジアの灌漑農業地帯の主要生産物であり、この地域の経済の基盤をなしている。旧ソ連の生産地は中央アジアとアゼルバイジャンであるが、そのうちウズベキスタンは旧ソ連邦の生産の6割を占めていた。アムダリアとシルダリア流域は日照などの自然条件が綿花栽培に適し、両河川からの灌漑用水を利用して紀元前から稲や小麦とともに栽培されていた。19世紀後半の綿工業の発達、1930年代の農業集団化を経て、1960年代以降の自然大改造計画によって灌漑農地を拡大し、綿花と稲のモノカルチャー大地帯を創出した。たとえばウズベキスタンは、灌漑開発は綿花増産と関連して常に拡大基調にあり、1960年の200万haから1980年代の約350万haとなった。しかし、1980年代後半以降は停滞傾向に入った。このような傾向はシルダリア流域でも同様である。その結果、中央アジア5ヶ国の綿花生産量はソ連邦の約95%を占め、このほかにも米が40%、果物30%、野菜20%と、ソ連邦の一大食糧生産地帯となったのである。

このような農業拡大策を支えている農業用水の大部分はシルダリア、アムダリアの両河川からの水であり、農地の拡大にともなって取水量が増大し、両河川からアラル海への流入量は500億トンから50億トンにまで激減し、1999年現在ではシルダリアからの流入はあるが、アムダリアからは表流水としてはまったくない。

### 2) 農薬汚染

中央アジアでの農薬使用量の変遷を把握できる統計資料は乏しく、農薬使用実態は不明のままである。農薬がアラル海環境問題でも重要な汚染物質として言われているが、汚染物質の特定と汚染実態は明らかにされているとは言い難い。1980年代までに使用された農薬(除草剤・枯葉剤として使用された有機リン系のButifos)による被害は甚大であったが、それによる水汚染、農地汚染が現在まで継続しているとは言えない。また、殺虫剤として多用された有機塩素系農薬BHC, DDTの現在の環境汚染は先進国程度である。過去に発表された多くの報告文中に、「灌漑農業地帯から流出した農薬がアラル海流域の水系を汚染し、干上がった湖底から農薬を含む砂塵が舞い上がり、周辺住民の健康被害をもたらしている」との記述がみられるが、その裏付け資料は乏しく、科学的に立証されていない。また、1970年代に発生していたであろう汚染状況と現状とが混同されがちであり、科学的広域調査が求められている。さらに、独立後の経済状態からみて、大量の農薬が現在使われているとはいえない。

### 3) 塩害(塩類集積)

カザフスタン灌漑耕地のうち60%から70%が土壌塩性化の影響を受け、作物収量の低下が見られ、さらに独立後の経済状況の悪化も加わって、灌漑水の不足や排水不良による土壌塩性化は加速されている。主要作物である水稲耕作期間の灌漑水量は3,000~4,000mmであり、輪作期間の畑作圃場では直接灌水されることはないが、常時高いレベルにある地下水によって水分補給がなされている。また、綿花農場では水稲耕作のように湛水されることはないが、年間でおよそ800mmの灌漑水によって畝間灌漑が行われている。さらに、耕作前に水のかけ流し除塩が実施され、塩類集積の度合いによって異なるが、2~5回に及ぶ圃場もあり、用水量はさらに多くなる。栽培作物および輪作体系によって塩類集積の様態は異なるが、多量の灌漑水使用によって地域の地下水位が上昇し、土壌の塩性化が加速されるとともに、排水性の低下から湛水期の除塩が機能しなくなり、農業生産性の低下を来し、耕作環境が危機的な状況に陥っている農場がある。さらに、湛水・除塩の行われない周辺未耕地の継続的土壌塩性化は住民の生活環境悪化を招い

ている。

干上がったアラル海の旧湖底に堆積した塩分が砂塵とともに農地に降下し、農作物に塩害を引き起こしている言われ、とくにアラル海南部のカラカルパックでは土壌の塩類集積、塩濃度の高い灌漑水の影響とともに生産量の低下の原因となっている。

#### 4) 漁業

年間5万トン近くもあったアラル海漁業は壊滅した。コイやチョウザメなどが生息していたが、現在はカレイの一種がわずかに漁業の対象となっているに過ぎず、その漁獲量は微々たるものである。シルダリア河口域ではコイを主体とする淡水魚漁業が細々と続けられているが、ノボカザリンスク市(人口4万人)の市場に出荷する程度である。アラリスク市はアラル海最大の漁港であったが、漁業コンビナートはほぼ閉鎖され、人口は9万人から4万人に激減した。漁業から牧畜へと生業を変えた村落も多い。

#### 5) 健康障害

アラル海問題が世界的に衝撃を与えたもっとも大きな理由は、世界第4位の湖が消失しつつあるという事実であったが、それとともに、環境改変と汚染に伴う住民の健康被害の発生である。その内でも乳児死亡率の異常な高さは衝撃的であった。とくに、第二次世界大戦後は世界各国で乳児死亡率が低下した中であって(日本では乳児死亡率は戦後低下し、1950年代の60人から1990年代には5)、アラル海周辺での異常な上昇が報告され、とりわけカラカルパック自治共和国では1970年の34.1人から1986年の72.0人への増加した。そして、その原因が解析がなされないままに、アラル海の干上がりと併せて語られたため、環境変化と健康障害が直接的に関係づけられて流布されたきらいがある。たしかに、アラル海沿岸部の村々での聞き取り調査では、統計的に十分に信頼できるとは言い難いが、乳児死亡率は100とも300人とも言われることがある。また、女性の80%が貧血症である。さらに、エコロジカル・ディジーズ(特定の疾病ではなく環境因子に起因する疾病の総称と考えられている)の存在が示唆されているが、いずれも因果関係の究明のための疫学調査が待たれている状況にある。セミパラチンスクの核実験による被害調査も同様であるが、ソ連邦時代の調査結果が中央アジア諸国に残されています、すべての情報がモスクワにあるだろう(廃棄されたかも)と言われているように、「アラル海の縮小と健康被害」の調査を今から始めなければならない状況にある。

#### 6) 飲料水

シルダリア流域の住民はシルダリアの流水か浅井戸から飲料水を得ていたが、大規模な灌漑農業が展開され始めると、浅井戸の水質悪化が始まり、とくに塩分濃度の急激な上昇によって飲用が不可能となった。また、シルダリアの水も農薬汚染が進行したため政府は飲用を控える指導をした。その対策として、シルダリア下流域のカザリンスク地区に約2000本の深井戸(200m深)を掘って住民と家畜用として提供した。しかし、これらの深井戸の水質は良好ではなく、たとえば、ナトリウム濃度は1000ppm以上であるが、これ以外の水源を求めることはできない。良質の飲料水の欠如がアラル海環境問題の重要な部分を占めており、健康障害との関連性が指摘されてきたが、その因果関係は明確にされないままである。

#### 7) アラル海の動植物

干上がった旧湖底は干上がりからの年数によってその景観は異なり、旧湖底への塩類集積度合い、地下水位の深さ、わずかな地形の違いなどが複雑に関係して、植生景観は多様である。植物によって被服されていない地域では、砂と塩分の巻き上げと移動が発生する。サクサウルなどの植林事業が旧湖底で部分的に実施されているが、資金不足のため干上がり面積に比べればゼロに近い。

アラル海の島(バルサケレメス)にはこの島固有種の野生の馬(クラン、*Equus hemionus onager*)が生息しているが、絶滅の危機にある。とくに、半

島になった現在、大陸からの天敵(オオカミ)の移動に伴って、生息数が激減している。現在、保護のためのモニタリングが必要とされているが、資金不足で実施の目途はない。シルダリア、アムダリア河口域の湿原は鳥類の生息地であり、渡り鳥の中継地として重要な地域であったが、その消失は世界的な損失である。

### 3. アラル海の現在

#### 1) 農業

アラル海の干上がりは沿岸の村々の生業を変えつつある。カザフスタン共和国クジルオルダ州カザリンスク地区(シルダリア河口域)の村では、十分な灌漑用水の確保が困難になり、農地の塩性化が加速し、水稲栽培が不可能となったため、かつての牧畜主体の農村経営にシフトした村もある。もちろん、半漁半農あるいは半漁半牧の村からは漁業部門は解体された。

中流域の大規模灌漑農業地帯では、灌漑耕地の塩性化を防ぐことが最重要課題であり、また、環境保全面から節水型農業が要請されている現状から、灌漑効率の改善、排水設備の修復と完備、耕地の整理と農業生産の集約化が求められ、今までのような大量の灌漑用水に依拠した農業は成立しないであろう。

また、独立に伴う経済・社会システムの変化は農村部により深刻な影響を与えており、農場経営が成立しがたくなり、民営化によって栽培規模の縮小が進行している。カザフスタンの第2の湖であるバルハシ湖流域の水稲ソホズの例をあげれば、1985年の2850haから1999年には1000haへと栽培面積は減少した。もちろん、その原因は土壌の塩性化だけではなく、耕作機械の不足、肥料農薬が購入不可、灌漑用水経費の負担増、市場流通の問題など複数の要因が関与している。

#### 2) アラル海再生

アラル海再生は絶望的状況にある。ソ連邦崩壊後、シルダリアとアムダリアは国内河川から国際河川となり、関係国の利害対立の中で水資源利用の国際会議も満足に開けない状態である。そのような状況下で、ウズベキスタンは、アムダリア河口地帯の氾濫源の湿地を利用して淡水湖をつくり、アムダリアの水利用を進めている。一方、カザフスタンは、北部の小アラル海と南部の大アラル海とが連なっている水路にダム建設を開始し、1996年9月に完全閉め切りに成功した。

アラル海にながれることなく小アラル海の貯水量が増加し、小アラル海湖水面は2から3m上昇した。その結果、両河川からの流入水がまったくなくなった大アラル海の水位低下は加速した。しかし、1999月にこのダムは大決壊し、小アラル海の水位は低下した。ダムの再建はなされていない。

さらに、アラル海問題解明を遅らせている事情として、中央アジア諸国における科学研究体制の崩壊がある。カザフスタンにおいては、過去4年の間に研究者数は4分の1にまで削減され、各研究機関は休業状態である。さらに、アラル海問題に取り組んでいる研究者を見つけることさえ困難である。多くの研究者が「アラル」から「カスピ」へと流れつつある。なぜなら、石油と天然ガス開発の「カスピ」費がある。結果として、アラル海問題は放置されているというよりも、「ないこと」にされている状況である。

### 4. まとめ

アラル海問題と呼ばれる問題の概要を述べたが、全容と全問題点を指摘したとは言い難い。農業用水の取水が原因となってアラル海が縮小し、消滅しつつあるのは事実であるが、それにもなって生起している問題は未解明あるいは問題として指摘さえされていないのではないかと思われる。それほどに規模の広大さと影響の多様性のある環境変化である。まして、1960年からわずか40年の間に得られたものとそれによって失い、再生できないものとを比較検討する段階までには到達していない。沙漠を緑にする「自然大改造計画」の政策決定過程と実施過程、さらに遡って、遊牧民の定住化政策と農民化政策の正当性や合理性について歴史的・多角的考察がなされない限り、アラル海の問題は解明できないのではないかと考えている。もちろん社会主義国ソ連邦の連邦内植民地としての中央アジアでこの問題が発生しているという視点を欠落させてはならないだろうが、社会主義だから生じた事案であるとのだけの考察で十分であろうか。水と人とのあるべき関係をこの問題の中から引き出さない限り、「水戦争の時代となるであろう21世紀」の展望を獲得できないのではなからうか。

## 塩類土壌・アルカリ土壌のひろがり

農業環境技術研究所 中井 信

### 1. 塩類土壌とアルカリ土壌

塩類土壌は作物の生育に悪影響を及ぼすほどの水可溶性塩類を含む土壌であり、そのうち交換性ナトリウムが多いためアルカリ性を示す土壌をアルカリ土壌という。電気伝導度(EC)と交換性陽イオンに占めるナトリウムイオン(ESP)の割合から、USDA では塩性土壌、アルカリ土壌およびアルカリ-塩性土壌に、FAO ではソロンチャック(塩類土)とソロネッツ(アルカリ土)に分ける。

FAO(1993)によると、ソロンチャックとソロネッツは世界に約3.2億ヘクタール(2.5%)ある。このような土壌は、酸性硫酸塩土壌を除けば、気象が主要な土壌生成因子であり、自然条件では主に乾燥地域に分布する。しかし、土壌中に可溶性塩類が存在し、蒸発散量が土壌に加わる水を上回る場所では、乾燥地域に限らず土壌は塩類化する傾向を持つ。

### 2. 土壌生成作用

このような土壌の塩・アルカリ化は土壌生成作用であり、次のように説明できる。

#### (1) 塩類化作用

土壌中に多量の塩類が集積する過程が塩類化作用である。これは通常、土壌表面から水分が蒸発することによって起こる。蒸発に伴って土壌水は毛管作用によって上方に引き上げられ、溶解していた塩類も一緒に表面に到達する。水が蒸発した後、塩類は蒸発できないので表面に集積する。その結果、土壌表層の塩類濃度が高くなり、さらに進むと塩類の皮殻が形成される。これらの塩類は、塩類の豊富な地層から供給されたり、海水の飛沫の塩に由来することもある。これらの土壌は一次的塩類土壌とよばれる。高温で乾燥した地域では、たとえ灌漑水の可溶性塩類がわずかであっても、灌漑をすることによって土壌の塩類化を引き起こす。このようにして塩類が集積した土壌は、二次的塩類土壌といわれている。いずれも地下水面までの深さが決定的な重要性をもっている。

#### (2) アルカリ化作用

アルカリ化作用は、わずかな溶脱作用が可溶性塩類を除去するときに起こる。ナトリウムは、カルシウムやマグネシウムの溶解度より高く、これら2荷陽イオンが沈殿した後も、土壌溶膠に残る。このナトリウムイオンが、粘土や腐植の交換座を占めるようになり、土壌がアルカリ性を示すようになる。

### 3・農耕と塩類土壌

世界の塩類土壌アルカリ土壌の多くは、人類が作ったものともいわれている。灌漑により地表面と地下水面が土壌孔隙を通じてつながってしまうと、土壌に加わる水よりも蒸発量が大きいところでは、地下水が蒸発するようになる。そうして、地下水中や土壌中の可溶性塩類は表層に翳るようになる。乾燥地では非常に短時間のうちに塩類土壌となり、作物の生育ができなくなる。このようにして放棄された農耕地は、乾燥地のいたるところに見られる。土壌塩類化は古代メソポタミア文明の滅亡の一因にもあげられている。中国

新疆の塩類土は、農業上利用可能な土地の 31.5%になる(1988年)。1945年から1988年までに 3,720,000ha を開墾したが、その実際の保存率は 50.4%である。さらに、開放後人民軍により開墾された農場(兵団)の耕地では、43.4%が塩類化している。

灌漑農業による塩類化は、配水した農耕地にのみ起こるものではない。灌漑水路周辺では漏水によって周辺が塩類化し、ダム、とくに平地ダムでは周辺の地下水位を上昇させ広大な面積の土壌が塩類化する。また、上流域に農耕地を作り灌漑をするため水を集めたため、下流域に水が行き渡らなくなり塩・アルカリ化している場合もある。例えば、中国タリム盆地の最下部にあったロプノール湖は大魚のいる湖であったが、わずか 50 年余りの間に消失し、周辺は荒涼たる塩殻地帯となっている。

#### 4. 土壌塩類化の防止と塩類土壌の改良

このような土壌の塩類化を防ぎ、改良する努力も絶え間なく続けられている。基本的には塩の集積を防ぎ、集積した場合には除塩を行えばよいのであるが、実際には困難がつきまとう。塩類土を農耕地として利用するためには、土壌中の塩類を除く脱塩が必要である。その方法としては、排水、洗脱、灌漑、水稻栽培などの水利的方法、土地整地、耕作、施肥、播種、輪作、混作、客土などによる農業的方法、耐塩性作物や緑肥の栽培や植林などによる生物的方法、および化学改良物質を施用する化学的方法がある。土壌塩類化の防止も基本原理は同様である。

土壌塩類化の防止と塩類土壌の改良には、基本的には水の問題を解決しなければならない。排水施設は塩類土壌の改良と二次塩類化防止の根本的技術であり、地下水位を制御し、水分の下方への移動を促進し、土壌中の塩分の移動を調節する。排水路は深いほどあるいは近いほど地下水位を制御する作用は大きくなる。適当な排水施設は浸透水や灌漑の過剰水を排除するばかりでなく、雨水や灌漑水が土壌中を通過するとき塩分を洗脱する。あるいは、塩分を地下水にしみ込ませその後排出する。また地下水流の勾配を増加させ、土壌の脱塩効果を高め、表流水を防ぎ地下水の上昇を抑える。それと同時に、集中的給水、灌漑回数の縮小あるいは給水時間の短縮をはかり、配水速度を上げ、漏水を減少させ、地下水位の上昇を防止する合理的灌漑が必要である。

排水施設は自然条件や地形などに応じ、暗渠などと組み合わせて建設する。揚水ポンプにより排水と灌漑を行う方法は、通常他の排水システムと組み合わせて用い、塩類の洗脱は速く脱塩効果も大きい。この方法は、淡水の浅層地下水があるところでは有効である。しかし、深層地下水を汲み上げると、浅層の地下水位の降下は少なく、地下水の塩類濃度が次第に高くなり灌漑には使えなくなる。淡水の浅層地下水を取水するとき、自然補給量以上であれば地下水位は降下してくる。したがって、一定深度内に一層以上の含水層があり、その間に不透水層がなく、灌漑に使用できる水質であることが条件となる。

灌漑水により塩分を土壌下層に洗い流す洗塩は、塩類土壌の改良にはまず必要なことである。溶解した塩分は排水路を用いて排出する。塩類が少なければ大量の灌漑水を用いることで土壌中の塩分を除くことができる。これに必要な用水量などは、土壌の塩分量と組成あるいは土性や用水の水質などによって決めなくてはならない。

水稻栽培は紀元前 600 年以前から用いられている方法で、水さえあればどこでも可能である。水稻の生育期に田面は一定の水深に保たれ、洗脱作用は持続的に進行し、土壌の脱

塩した層は次第に深くなる。栽培年数が長くなるほどその程度は大きくなる。ただし、脱塩効果は土壤塩分の組成、浸透性、排水条件に関係する。土壤が粗粒質で、塩が塩化物であれば、排水も良好で、脱塩は速く効率がよい。土壤の含塩量が高く細粒質であれば、排水は不良となり、淡水化層はできにくい。この方法には合理的な灌漑排水システムを建設することが必要である。また周辺の土壤の塩類化を防ぐ必要もある。

耕地を平坦にすることは水分の均一な浸透を可能にし、塩類の洗脱効果を高め、不均一な塩類化を妨げる。さらに表面流去水を少なくし、保水能を高める。深耕は土壤を粗しょうにし、犁床層を破壊し毛細管を切断して、透水性と保水能を高め、脱塩を促進し、塩類の表面析出を防ぐ。また、中耕は耕作層を粗しょうにし、毛細管を切断して土壤水と地下水の蒸発を抑制し、塩分の上昇を防ぐ。多量の有機肥料の施用も塩類土の改良に有効である。有機物質は、耕作層を粗しょうにし、地温を高め、土壤物理性を改善し、洗脱作用を促進し、蒸発を抑え、塩類の表面析出を抑制する。また、微生物の活動が盛んになり、栄養物質の分解を促進し、その過程で生じる有機酸は土壤の反応を調節することになる。化学肥料を連用すると土壤は固くなるので、有機質肥料を多く使うべきである。この他合理的な輪作と混作とか草生マルチ、砂礫客土などの地表面被覆は、水分の蒸発を減少させ、塩類の表面集積を抑制する。

緑肥牧草を栽培すると、繁茂した茎葉が地面を覆い、地表からの水分の蒸発を抑え、土壤表面の塩分析出を抑える。また、根系は大量の水分を吸収することにより、地下水位を下げ、塩分の地表面への集積を防ぐ。土壤構造も改善され、土壤水、地下水の蒸発が抑えられ塩類化を抑制する。緑肥として用いると有機質肥料の施用と同様な効果がある。

植樹による造林や防風林は生物的に排水を促進させる。樹林は膨大な根系をもち、樹種によって効果は異なるが、かなり広範囲の土層の水分と地下水を吸収し、地下水位を下げる。一列の林帯は排水溝に相当する。さらに風砂を防ぎ、耕地の微細気候を改善し、塩類の表面析出を抑制するなどの効果がある。排水施設と併用することで相互に脱塩効果を高める。また、枯枝落葉は有機質肥料施用と同じ効果がある。塩類を多量に体内に吸収する植物による排塩も考えられるが、まだ実用化されているとはいえない。

これらの措置は、軽度ないし中度のアルカリ化土壤の改良には有効である。重度のアルカリ化土壤では、セッコウやリン酸カルシウム、亜硫酸カルシウムあるいは硫酸第一鉄などの化学物質の施用はアルカリ性を下げるのに効果がある。

### 1. はじめに

サヘル地域は1960年代後半から現在まで断続的に干ばつに見舞われてきた。1970年代初頭と1980年代中葉の干ばつは特に深刻であり、飢餓や家畜の喪失によって広域にわたり環境難民の発生をみた。現在でも「砂漠化」という言葉に代表される土地荒廃現象が広範囲で顕著に認められ、自然環境、食料生産および生活全般の様々な局面に悪影響が及んでいる。これまでの報道や調査研究の蓄積は膨大な量におよび、砂漠化問題への人々の意識を高め、砂漠化防止条約(CCD、1994)の成立を下支えした。それを受け、NGO・現地政府・国際機関など様々なレベルで活発な取り組みがなされている(松本1999、2000)。その反面、砂漠化とその危険性が拡大の一途にあると喧伝され危急の対策が求められるなか、末期的景観を羅列した「砂漠化」のイメージで構成される一般通念と現場での実態に乖離があることを指摘する援助関係者や研究者も存在する(例えば、Mortimore、1998)。

ここで筆者の個人的経験を述べるのを許されたい。1998年フランス・モンペリエ市で開催された国際土壤科学会議では、複数の部門で砂漠化や土地荒廃を主要課題とするシンポジウムが行なわれ、「砂漠化の拡大と危機」への関心の高さがうかがえた。その一方、「住民参加による問題の解決」を結びとしながらも何ら具体的な提言が示されない報告が数多くあった。しかし、危機を訴える時期はすでに過ぎ、砂漠化の原因を説明するのに単に「人口増加」、「家畜増加」、「植生の伐採」を指摘し、解決策として「住民参加」を唱えるだけでは納得できない段階に我々は立っている。Mainguet(1994)の言葉を借りれば、「砂漠化の原因は人間自身であり、不適切な土地・資源利用の帰結であるが、その一方で、砂漠化は人間活動の拡大に対する資源・環境の限界を知らせる有用な警告でもある」。現実的な行動オプションを得るには、対象となる地域の生業構造や人々の意識などの在地性を意識しつつ、人為の具体的営為とそれに対する土壤や環境の反応を詳細に描写しなければならない。それは砂漠化を抑止し、環境修復や農業生産の回復・維持を可能とさせる技術論へとつながる。

フィールド研究者の間では俗に「神の目、鳥の目、虫の目」という言葉を使うことがある。神の目とは衛星画像や航空写真を用いての遠隔探査に基づく研究、鳥の目とは数百メートルから数キロメートル四方の集水域や農耕地を対象とする研究という意味である。これらが砂漠化に伴う土壤侵食や植生破壊などの広範囲な広がり認識させるのに役立ってきたのは周知のことである。そして虫の目とは文字どおり地面に顔を着けるようにして行なう数ミリメートルからせいぜい数メートルのスケールでの事象を意識した研究である。

本報告では、「虫の目」から砂漠化のプロセス-すなわち、土地荒廃のプロセス-を描写し、その知見に立った現行農法の環境適合性の判定と幾つかの技術オプションに関する議論および考察を試みる。

\* 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 京都大学大学院農学研究科比較農業論講座  
(Tel/Fax : 075-753-6299、e-mail : uerutnk@kais.kyoto-u.ac.jp)

## 2. 砂漠化について

砂漠化とは資源・環境に対する不適切な人間活動に起因する様々な荒廃現象やその進行をいう。「砂漠化」という用語が一般化したため、熱帯雨林の破壊や湿潤温帯の農耕地の侵食、さらに沿岸の磯焼け現象に対しても比喩的にこの言葉が使われることがあるが、拡大解釈に過ぎるため学術・技術用語としては不適切な用法である。通常、脆弱な土地資源と変動の大きい水文条件の下にある乾燥地や乾燥～亜湿潤熱帯圏での人為的荒廃現象を指すのが適当である。

砂漠化の定義は、1977年の国連砂漠化会議(UNCOD)から1990年の地球規模土壌劣化評議会(GLASOD)を経て、1992年の国連環境開発会議(UNCED/Agenda21)および1994年の砂漠化防止条約(CCD)に至るまで幾つかの変遷をみた。砂漠化防止条約(1994)を例にとるとその定義は次のように要約される：①砂漠化とは、乾燥地、半乾燥地、亜湿潤地における種々の要素一気候変動や人間活動一に起因する土地の荒廃をいい、②土地荒廃とは、乾燥地、半乾燥地、亜湿潤地にある天水耕地・灌漑耕地・牧草地・放牧地・林野・森林における生物学および経済的生産性と多様性の減少または喪失であって、それは土地の利用あるいは単独または複合的プロセスによって引き起こされ、③そのプロセスには、人間活動や居住形態から派生する風食・水食、土壌の物理的・化学的・生物学的あるいは経済的性状の劣化、そして長期にわたる自然植生の喪失、が含まれる。なお、砂漠化の定義や関連用語の概念規定の変遷については、門村ら(1991)やMainguet(1994)による総説的な解説がある。

砂漠化の表徴ともいふべき荒廃現象を整理すると、①植生の劣化：森林・叢林・草原など植物被覆の減少、裸地化、植物相の単純化；②土壌劣化：水食・風食による表土の消失、養分および有機物の減少・塩類化・酸性化・汚染など化学性の劣化、固結化・圧密化・透水性および通気性の不良化など物理性の劣化；③地形変化：雨裂や侵食谷の形成、砂丘の移動、漂砂の堆積による井戸や農耕地の埋没；④その他：井戸や河川湖沼の水資源の枯渇、干ばつ害あるいは水害の頻発、などが挙げられる。砂漠化の様相は、それぞれの地域の環境条件や社会・経済的状況に応じて複数の要因が絡み合うため複合的で多様である。砂漠化現象の深刻な点は、そのプロセスが潜在的に進行することで、顕存化した時点で末期的段階に至っていることが少なくない。砂漠化が顕在化するか否かはその地域の人間活動の程度とそれに対する資源環境の許容力あるいは回復力に拠っている。

## 3. 土壌荒廃の最前線としてのサヘル地域

西アフリカの気候生態区分は、Nicholson(1980)の区分に従えば、北から南に向かって、サヘル-サハラ帯(年降水量50~100mm、雨季1~2ヶ月)、サヘル帯(年降水量100~400mm、雨季2~3ヶ月)、スーダン帯(年降水量400~1200mm、雨季3~5ヶ月)、スーダン-ギニア帯(年降水量1200~1600mm、雨季5~8ヶ月)、そしてギニア帯、森林雨林帯と続く。

年降水量150mmの等雨量線を砂漠化前線、トウジンビエの栽培限界雨量300mmの等雨量線を飢餓前線と呼ぶことがあり、これらは降雨量の年変動を反映してサヘル帯～スーダン帯のあたりを上下する(門村・勝俣、1992)。Nicholson(1980、1983)は、この地域における1900年から1980年までの降雨量の年変動を図示し、その変動係数が30~50%もあり



乾燥帯に向かうほど変動の幅が大きいことを示した。

FAO/Unesco(1974)の世界土壌図から、表層地質の大部分が砂岩質であることとヴェルム氷期末の砂丘や砂原の形成(門村、1990)を反映して、この地域の土壌が一般に砂質であることがわかる。その分布域は広大で、セネガル・マリ・ブルキナファソ・ニジェール・チャドにまたがるサヘル帯およびスーダン帯北部とほぼ重なる。気候条件からみてサヘル地域が干ばつ常習地域であることは周知の事実であるが、土壌の側からも潜在的に脆弱な条件下にあることが指摘できる。反面、砂質土壌は養分含量を濃度で表わすと非常に貧弱に見えるが、有効土層深が大きいため作物根の伸張域に存在する養分量は作物生育を支えるのに充分であることが多い。また、その水分貯留能の大きさも見逃してはならない。筆者の試算では、2mの有効土層深を持つ砂質土壌は150~200mmの有効水分を貯留することができる。このことは、サヘル地域の農耕限界降水量が300~350mmであることを考えると注目し得る。サヘル地域での砂質土壌帯と農耕民の村落分布域との重なりは、砂質土壌の潜在能力を示すと同時に人為の影響を受け易いことをも意味している。

#### 4. 土壌荒廃の進む村で

##### 4-1 調査村の概要と農耕

1)概要：調査地はマリ共和国セグー市北方40km、ニジェール河畔に位置するチオンゴニ村である。気候はスーダンサバンナ帯に属し(Guillobez, 1996)、6~9月の雨季に集中する年降雨は450~600mmの間を変動する。村の面積約4.9km<sup>2</sup>にバンバラ人、ボゾ人、ソモノ人を合わせて55世帯、711人が居住する(月原、1997)。ニジェール河岸から波状に緩やかに起伏する台地には砂質土壌が分布する。土壌名はSoil Taxonomy(Soil survey staff, 1996)に従うと*Typic Ustipsamments*、FAO/Unesco(1974)の土壌図では*Ferric Arenosol*である。砂質土層は2mかそれ以上に達し、土壌水の貯溜や作物根の伸長に有利である反面、砂質の土性およびカオリナイト主体の粘土鉱物種を反映し養分保持能力が小さい。土壌反応は酸性を呈し、有機物や栄養塩類のレベルの極めて低い土壌といえる(田中、1997)。

土地利用は天水畑作を主体とし、トウジンビエ、フォニオ、ササゲ、バンバラ豆、落花生などが作付けされる。台地には白アカシア、カリテなどの有用樹が見られる。川辺低地では小規模だがマンゴーやグアバ、オクラなどが栽培される。耕地の名称は栽培作目に応じて幾つかあるが(Ohji, 1990)、天水耕地は大きくクンゴ・フォロ(Kungfolo)とソ・フォロ(Sofolo)に区分される。いずれも穀作物を栽培する天水耕地であるが、クンゴ・フォロは集落から遠く主に休閒システムがとられている畑の呼称で、地力の回復を休閒に頼り堆厩肥などの投入は稀である。ソ・フォロは集落や道路に比較的近く常畑的に利用されてきた耕地であり、入手状況に応じて堆厩肥を施用するなど比較的集約的に利用される。とはいえ、前者では、十分な休閒期間を置かずに常畑的に利用される傾向にあり、後者では、一時は全村で数百頭を数えた家畜飼育頭数が百頭足らずに激減したため十分な量の堆厩肥を確保できず、無施肥状態に置かれている耕地もある。いずれも土壌の疲弊が進みやすい状況に置かれている。

## 2) 農耕技術の体系

主穀作物であるミレット・ソルガムの天水畑における農法的特徴として、スーダンサバンナ帯では主に手鋤(短柄鋤)や畜力牽引犁による土壌攪乱を伴う除草耕を、サヘルサバンナ帯では手押し鋤による不耕起的な除草耕を基調とする土壌管理作業体系があり、応地(1997)はこれらを類型しそれぞれスーダン型農耕、サヘル型農耕と呼んでいる。調査村では、比較的降雨が多かったり土壌水の貯溜能が大きく雑草の繁茂が著しい地域で見られるスーダン型農耕を基調とする土壌管理が行なわれている。

調査村における天水畑の技術類型は、使用農具と土壌表面の形状によって、手鋤によるマウンド耕作と牛耕による畝立て耕作に分けられる。調査村に限らず、周辺地域では植民地時代に導入された畜力牽引・反転犁が広く普及しており、畝立て耕作が主流となっている。

調査村の天水畑のミレット作で広く行なわれている管理作業の手順は、[堆厩肥の搬入と散布]・[畝立て耕]・[播種]・[除草耕]・[除草耕]・[収穫]の順である。使用農具や労働配分の都合により細かな変異があり、特に堆厩肥の施用は省略されることが多い。大部分の作業が雨季前半に集中して行なわれる。雨季前半の土壌管理の特徴は、畜力反転犁による畝立て耕と除草耕の行程で大きな土壌攪乱を伴うことである。畝立て耕と除草耕の行程では、それぞれ深さ 20cm 程の土壌が反転される。さらに砂質で安定性に欠ける土壌であるため、造られた畝はさらに降雨下で自沈したり畝間に崩れたりする。畜力犁耕は労働負荷の軽減に、土壌の反転は雑草の抑制に有効とされ、周辺地域に広く普及・定着しているのもこの理由による。この大きな土壌攪乱を伴うことが、一方で土壌荒廃の初期過程と関連しているのであるが、これについては後述する。

## 4. 2 土壌荒廃の実態

### 1) 土壌荒廃の背景-ダムによる川辺低地の水没と台地への依存

1934年～1947年調査村の下流約4kmに建設されたマルカラダム(deWilde et al., 1967)により、かつて乾季に現れ稲や野菜の栽培あるいは放牧地として利用されていた低地(中州と河岸低地)が周年水没するようになった。水没以前の航空写真と地図から水没面積は0.7km<sup>2</sup>と推定され(月原, 1997)、集落面積の約12.5%に相当する土地が失われたことになる。低地の喪失は、家畜飼育頭数の減少-すなわち堆厩肥量の減少-や台地畑での休閑期間の短縮あるいは連作をもたらした。低地と台地の生産力は等価ではないものの、その代償は台地畑への利用圧の増加となって現れたとも言えるし、それは現在も継続していると考えられる。

調査村の場合はダム建設に伴う可耕地の喪失が相対的に土地圧力(人口対耕地面積)を高めたが、背景こそ異なれこれに類する図式はアフリカ他地域の村落にもあてはまるであろう。

### 2) 耕地土壌の養分状態からみた土壌荒廃

地力の回復を休閑に頼り堆厩肥などの投入が稀なクンゴ・フォロと入手状況に応じて堆厩肥を施用するソ・フォロの播種直前の土壌養分状態を比較すると、前者と後者では全窒素で $0.09 \pm 0.04 \text{g/kg}$ と $0.16 \pm 0.11 \text{g/kg}$ 、全りんで $0.13 \pm 0.02 \text{g/kg}$ と $0.18 \pm 0.05 \text{g/kg}$ 、交換性塩基(K, Ca, Mg)の含量で $3.51 \pm 2.12 \text{g/kg}$ と $9.11 \pm 3.46 \text{g/kg}$ となり、いずれも有意な差

が認められた。とはいえ、堆厩肥を施用した直後の土壌では窒素が 0.39g/kg、りんが 1.02g/kg 含まれることを考えると、ソ・フォロの土壌であっても施肥前は貧弱な養分状態であるといえる。

農民からの聞き取りでは、堆厩肥を散布する畑は所有する耕作地面積の 1/4~1/2 程度という。その頻度は 2~4 年毎が普通で、しかも耕圃全面に施用することはできず同じ耕圃内で散布位置を毎年ずらしている。さらに実際に堆厩肥が散布された耕圃で現地計測したところ、散布域を外周とする範囲内の土面を堆厩肥が覆う割合は 29.5~73.4%(平均 51.9%)であったことから、施肥畑(ソ・フォロ)といえども散布密度や頻度に大きなばらつきがある。

堆厩肥の施用年と位置がわかっている耕地から作土を採取し養分を測定したところ、全りんでは 1~2 作季で半減し 3~4 作季後には無施肥畑(クンゴ・フォロ)と同じレベルに、全窒素では、施用から 2~3 年のうちに半減することがわかった。このことは、施肥年と同じ養分状態を維持するには毎年あるいは少なくとも 2 年に一回堆厩肥を投入する必要があることを意味する。耕地の常畑的利用は外部からの養分投入を前提として成り立つが、調査村では無施肥で耕作が行なわれており、見かけ上は伝統的な休閑システムから常畑システムに取って替わったものの実際にはその成立要件を満たしていないことがわかる。

### 3) 土壌表層の物理性の変化と土壌荒廃

半乾燥地における土壌荒廃は、過放牧や過耕作により裸地化した土地、土壌侵食により刻まれた土地あるいは漂砂の堆積した土地の風景でイメージされがちであるが、それらは土壌荒廃の末期的景観である。土壌荒廃の兆候はそれ以前に明瞭に認めることができる。ここでは、調査村の天水畑の土壌表層で起こっている現象から、土壌荒廃の実態とその過程を考察し、さらに、土壌管理法、特に畜力反転犁耕と土壌荒廃との因果関係を明らかにしたい。

畝立て後の畝の形状を経時的に計測したところ畝の自沈や畝から畝間への土壌の崩壊・移動が認められた。例えば、畝立て直後と 4 週間後で孔隙率と仮比重はそれぞれ 55.0%から 46.6%、 $1.12\text{g}/\text{cm}^3$  から  $1.40\text{g}/\text{cm}^3$  へと変化した。畝間の土面には粗い砂が浮いていたり、小さな凹部には細粒質が堆積しているのが観察された。このことは、畝の土壌が崩壊・移動し畝間に堆積する際に互いに分離したことを示している。

畝間から採取した非攪乱の土壌表層の薄片写真を観察から、粗砂・細砂・細粒質が粒径分離し幾つかの薄い層を形成しているのがわかった。これは、この土壌が何度かの降雨を受けたかあるいは一降雨機会に表面流去のフラッシュが何度かあったことを示している。細粒質の薄層が土壌表面に形成されると土壌の透水性が著しく低下することが知られている。薄層の形成による土壌の透水性の低下を実験室的に再現したところ、形成前に約 80mm/10 分であった透水性を 1mm/10 分に低下させるのに僅か  $10\text{mg}/\text{cm}^2$  程度の粘土が薄層を形成すればよいことがわかった。細粒質の薄層が幾つか存在する場合には、実験値よりもさらに低い透水性を示す可能性がある。この程度の細粒質の分離と再沈積は畝の崩壊・移動の途上で容易に起りうるし、畝立て耕や除草耕にともなう土壌の攪乱と土面起伏の変更の度にこの過程は繰り返される。

薄層が形成されるとそれ以降の降雨の一部は、土中に浸透せず表面流去水となる。雨滴に

より土壌表層が攪拌されると、粘土やシルトなどの細粒質は表面流去水中に懸濁してさらに遠くに運ばれる。これが、細粒質の選択的流亡である。一方でそれは土壌表層の砂画分の増加を意味する。畝間への砂の堆積と反転犁耕が繰り返されると、作土全体が砂質化する懸念がある。深さ1~2cm毎に畝間の土壌を採取し粒度分布を調べたところ、土壌の細粒質(粘土+シルト)の含量を耕起前と4週間後で比較すると、その減少割合は表層0~2cmで70.5~92.2%、2~4cmで62.0~71.3%、4~10cmで14.0~42.6%であった。

薄層の形成とそれ以降の選択的流亡により細粒質を失った砂質土壌は、雨季には水食、乾季には風食を受け易くなる。調査村で20年前に設置された電柱の基部と現在の土面位置から土壌侵食の速度を計算すると、5.1~19.5mm/年に達した。アメリカ合州国農務省の定める許容土壌侵食量(Wischmeier and Smith, 1978)が深さに換算すると0.45~1.12mm/年であることを考えると、調査村における土壌侵食がいかに激しいかがわかる。

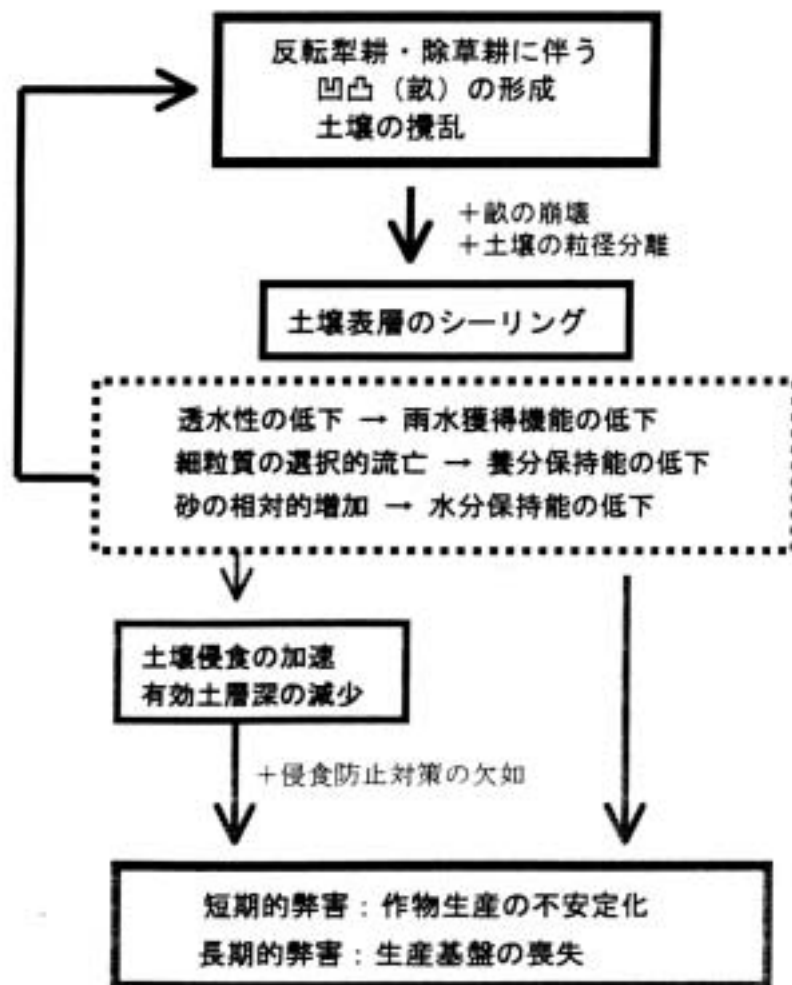


図. 調査村における土壌荒廃の図式

#### 4・3 調査村における土壤荒廃の図式

##### 1) 悪循環の図式

添付の図は調査村で見られる土壤荒廃の原因、過程および影響を整理したものである。反転翠耕により土壤は攪乱され付随的に畝が立つ。砂質土壤では降雨によりその畝が崩壊し、移動途中で粒径分離した土壤が再堆積すると粒径毎に薄層を形成する。細粒質によるシーリングの形成で土壤への雨水の浸透が著しく妨げられ、特に根系の発達十分ではない初期生育時には干害や生育の抑制が起こる恐れがある。降雨分布の不規則な半乾燥地における土壤表層での透水性の減少は、後述する作土の砂質化や水食による土壤流失を助長させる他、耕地の雨水貯留量を低下させ作物生産の安定性をも危うくする。シーリングの形成は、一方で、表面流去水を発生させ、この時細粒質が選択的に流亡する。残された土壤は相対的に砂が多くなる。細粒質の流亡と砂の増加は、養水分保持能の低下を招き、作物生産の不安定化につながる。

細粒質を失った土壤は、侵食に対する抵抗性が小さいため、雨季には強い表面流去にのり、乾季には風により更に遠くに移動する。なお、調査村では、耕地の周囲に畦や土堤をめぐるなどの土壤侵食に対する予防的対策が見当たらない。土壤を失う土地では有効土層が減少し、砂が堆積する土地では養水分保持能が低下するため、いずれの場合でも、脆弱ながら成立している畑作の基盤そのものを壊すことになる。土壤侵食というともすればガリー(侵食谷)により引き裂かれた大地をイメージしがちであるが、実際には緩慢に進行するため、その予兆を見逃しやすく、顕在化した時点では人力や畜力による修復が困難な状態となっていることを認識する必要がある。以上のようなプロセスは毎年繰り返され、従って、調査村の農耕は土壤荒廃への悪循環に入ったといえる。

##### 2) 調査村における土壤管理の環境適合性

姫田(1991)によると、耕起の目的は、①緻密化した土壤の碎土など物理性の改善、②除草や埋没種子の排除、③堆厩肥や有機物残渣の土壤への混和と分解促進、に大きく分けられる。調査村のような砂質土壤が分布する地域では、土壤の膨軟化を目的とした耕起は必要ない。既述のように調査村では除草を主たる動機として耕起が行なわれている。しかし、除草のためには土壤を深く反転することは必ずしも必要ではない。土壤の反転は、反転犁を用いることで付随的に起っていると考えられる。添付の図のような悪循環の図式に見るように、調査村で用いられている反転犁耕は、土壤攪乱の大きさと畝立てが付随することでシーリング形成や砂質化を助長し土壤荒廃の引き金となっている。かつては、除草効率と労力軽減の有利さから農民に受け入れられたと考えられる反転犁耕ではあるが、ダム建設による中州の水没を契機とする台地畑での耕作圧力が増大しその悪影響が徐々に顕在化しつつあるのが現状である。さらに、常畑という外部からの養分投入を要する耕作形態へと変化したことで、土壤を深く反転することが養分供給の観点からは不利に働く可能性も指摘できる。その意味で、現行の反転犁耕は環境適合性を失ったといえる。

## 5. 砂漠化防止と生業構造の再生に向けて

### 5-1 調査村への水平技術移転の可能性

#### 1) 水平技術移転について

調査村の事例に見るように人為と資源環境の均衡が崩れ破綻に向かっている場合、個別の技術要素の導入だけでは限界があり、システム自体の変更も必要な場面が増えるだろう。その選択肢の一つが、水平技術移転あるいは南・南移転である。応地(1992)はインド乾燥地からサヘルへの畑作農耕技術の移転を提唱し、在来農法にみる人為一環境連関と成立要件に関する広域的な地域間比較を行なっている。

農業開発援助における技術移転というと「優れた地域から劣った地域へ」という文脈で理解されがちであるが、ここでいう水平技術移転は一方的な技術要素の授受の関係であってはならない。域内あるいは域外いずれからの移転であっても、類似の環境下で成立した農法であるという理由だけでその可能性を判断するのも早計であろう。類似とはいえ詳細なレベルでの環境条件、社会経済状況や文化的背景を異にする地域への水平技術移転の提案には慎重を期すべきである。対象地域の農耕の成立要件を把握した上で用意される複数の技術オプションの採用には農民による環境適合性の判断と意思決定が反映されることが肝要である。また、在来農法自体も常に変化しているものであるから、特定の農法や技術要素をあたかも特効薬的で固定的なものと捉えず、社会・経済状況や資源環境条件の変化に応じて柔軟に調整する姿勢が求められる。在地性や小農民を意識した調査研究の必要性(例えば、応地、1979；後藤、1988；Beets、1990；Mettrick、1993；高村、1998)が指摘されるのはその認識に立つものと考ええる。

#### 2) 北西インド・半乾燥地からの在来農耕技術の移転(試案)

ここでは調査村での土壌荒廃の抑止と農耕技術の転換を意識して話を進める。天水耕作が行なわれる半乾燥熱帯では、農耕地の雨水獲得機能を保障し、旺盛に繁茂する雑草を抑制しつつ作業負担を増やさないことが重要なポイントとなる。そのような農法は可能だろうか。

北西インド・ウダイプール周辺は年降雨量が500mm程度の半乾燥地で、調査村と同様に夏雨型の半乾燥地で天水に依存する畑作を行なっている。ここでは、雨水の獲得の努力と同時に土壌の攪乱を最小限にし蒸発による損失を抑える工夫がなされている。例えば、作季直前には、固結下状態にある土壌を膨軟にするため耕深15cm程度の碎土耕を行ない、その後の中耕・除草耕では土壌の攪乱が表層4~5cmに限られている。さらに北西のタール沙漠寄りの乾燥した地域では、土壌の反転を伴わない犁や耙による攪拌・浅耕が行なわれ、中耕・除草耕の回数もその年の降雨の多寡により変わる(田中、1996)。乾燥地での農業生産の成否と安定化の鍵は水の供給を保障することと雑草の抑制にあり、それを両立させている北西インドは、水平技術移転の技術オプションの収集地域として興味深い。

更なる現地調査と実証試験を経なければ系統的な技術オプションを提言することは難しいが、現時点で以下の点に着目し実現の可否を検討している。

①犁の適正化と牽引具の多様化：砂質土壌での耕起の目的は、基本的には「碎土耕」ではなく「除草耕」にある。「反転耕」・「畝立て」は片反転犁に付随するもので、調査村での表土

管理にとって必須ではない。攪拌浅耕、あるいは反転浅耕に適する牽引具を導入すれば、作業頻度は増すものの、砂質化とクラスト形成を抑制できる。また、畝を立てないことで、畜力条播器の使用が可能になる。植民地時代以降、畜力反転犁が導入され定着したのは、この地域の土壌管理技術が「雑草抑制」を基調としており、迅速かつ効果的に除草できる畜力犁耕が受け入れられる下地があったためと考えられる。かつて外来技術を受け入れた経験があるという事実は、より現状に適し作業負担の増加が少ないかあるいはそれに見合う利得があれば、水平移転技術の普及・定着が可能であることを示唆するものである。

②侵食抑制対策：テラス化や耕圃の周囲に立てる畦が、土壌侵食の抑制や雨水貯留能の維持に有効なのは周知のことである。畔の造成には、片反転犁が適している。従来から用いてきた農具に転用の余地を残すことは、農民が新しい農法を採用する意志決定をする際に心理的抵抗を減らす(田中、1996)。

③施肥農業への移行の可能性：既に述べたようにチオンゴニ村ではかつての休閒システムが破綻し常畑的土地利用を余儀なくされている。常畑の大前提は、施肥による外部からの養分投入を行なうことである。ソ・フォロでは、これまでも刈り跡放牧による家畜糞や堆厩肥が施用され、その必要性や効果を農民は十分認識していることから、施肥をめぐる農法の転換には抵抗感が少ないと思われる。問題は如何にして耕地面積に見合う堆厩肥を確保するかである。インド半乾燥地での天水畑作の研究を基にした応地(1992)による『条播・密植による群落管理への転換により穀実生産量を維持しつつ、飼料価値の高い残渣を得て家畜飼養に充て、堆厩肥を確保できるインド型の在来技術の導入』という提案は、水平技術移転のオプションの一つとして示唆に富むといえる。

## 5.2 サヘル地域にみる在来技術の例

土壌保全や肥沃度回復技術に限れば、砂漠化の抑制や生産力回復のための技術として石列、半月溝、ザイ、パルカージュなどが注目を集め実証試験や普及活動が活発に行なわれている。

石列はプリンサイト塊や岩石を適当な間隔で耕地に並べるもので、土壌侵食の防止や流去水の捕集に効果がある。石列に沿ってアンドロボゴンなどを植栽するとこれらの機能が強化され、さらにマットの材料として僅かながら現金収入が得られる。斜面上方に半月状にひらいた溝と低い畦からなる半月溝は、表面流去水の遮断と捕集をねらっている。ザイは農耕地に掘られた直径30~40cm、深さ20~30cmの穴に堆厩肥を入れて埋め戻し、穀作物の栽培や樹木の植栽に利する技術である。埋め戻しきれない土壌を穴の縁辺に盛ることで表面流去水の捕集にも有効とされている。余談ではあるが、車窓から観察される景観と農村内部の様相には乖離が見られる場合がある。ここに例示した技術は、道路沿いや集落近くの農耕地でしばしば見かけられるものの、実際には材料の入手や輸送手段、労働力の確保などの都合により普及・定着の度合いは地域によって濃淡がある。また、これらは個々の技術要素に過ぎず、在地性を反映した技術体系全体との調和を考慮しなければ、従来の北・南技術移転となんら変わらないことになってしまう懸念があることに留意する必要がある。

パルカージュは農耕地に設けた家畜囲いのことで、乾季の間に囲いの中や周辺に落とされる家畜糞により土壌の肥沃度を維持する技術である。筆者らによるブルキナファソでの現地

調査では、成牛・幼牛あわせて50頭程度の牛群を持つパルカージュでの牛糞の分布面積と分布密度を測定した結果、約3ヶ月間で牛糞の分布面積が0.16~0.23ha、分布密度が874~1275g/m<sup>2</sup>(8.7~12.8ton/ha、乾重)であることがわかった。雨季前までにはこの2倍の0.3~0.5haに達すると推定された。パルカージュによる肥沃度維持システムは、耕種農耕民と牧畜民が混住するスーダン帯北部やサヘル帯で見られる。牧畜民の家族によっては数百頭規模の牛群を持つこともあり、農耕地にもたらされる家畜糞は相当な量に達する。このことは、異民族間の共生的関係と生業構造の再生を進めるうえで興味深いといえよう。

農耕技術の話題とは離れるが、人口と砂漠化について触れたい。人口増加はあたかも砂漠化の元凶であるかのように捉えられることが多いが、集約的農耕への移行が必要な地域(例えば都市域やその近郊)では逆の場合もある。例えば、マリのドゴン高原における多様で集約的な土地利用は比較的粗放といわれる農耕形態が多い西アフリカ半乾燥地域において異彩を放っている。砂岩が露出した岩盤台地では、土壌の被覆面積が約4割、農耕地面積が僅か2割強であるにも関わらず、域内の平均で22人/km<sup>2</sup>の人口を支えている。これは類似の環境条件下ではかなり高い人口密度であり、瘠薄な土壌資源を人為で補っているといえる。農耕の集約化や土壌保全、荒廃環境の修復には多くの労働力が要求される。サヘル地域での砂漠化の進行あるいは対策の停滞の背景として、人口増加よりもむしろ過疎化の影響が大きいように思える。

### 5-3 サヘル地域での砂漠化問題への取り組み

国際機関や工業先進国、現地政府、NGOによる砂漠化問題への取り組みの状況は、松本(1999、2000)の報告に詳しい。Breman et Sissoko(1998)は、マリのサヘル帯での現地調査を基に集約的農耕と家畜飼養のあり方を紹介している。Rochette(1988)はドイツ技術協力会社(GTZ)などがサヘル諸国で実施した現地調査や実証試験の結果を紹介している。わが国では農用地整備公団(JALDA、現緑資源公団)がニジェールを中心に種々の実証試験を行ない(大橋・長野、1998)、その経験と成果を周辺国に広げつつある。ブルキナファソでは村落共同体を組織したナム(NAAM)運動により、環境修復や作物生産の向上、保健・衛生、共同組合、助成の地位向上、教育など多方面にわたる活動が展開されその動向が注目されている。

いずれにしても、地域住民を巻き込んだ砂漠化問題への取り組み-いわば等身大の取り組み-は緒についたばかりである。現地に暮らす人々は異なる生態環境や社会条件を背景に多様な生業活動を展開していることから、「砂漠化」あるいは「土地荒廃と生業の関係」を単純な図式で一括りに論じることは妥当ではなく、対象地域を広域的に俯瞰しつつ在地性を意識して生業活動と資源・環境の相互連関を捉える視点が必要である。また、地域住民を「架空の存在」にしてはならない。小農民による農耕技術はとかく過小評価されがちであるが、それが確たる肥沃度観と技術体系の上に成立していることはフィールドワークに関わる研究者が技術者の実感である。まず在来農耕システムが持つ肥沃度維持や土壌保全の仕組み、作物生産を利するための働きかけ、資源や環境条件の変動に対する柔軟性を知ること、そしてその上で、変容を続ける社会経済状況の下、これらの技術体系がなおも合理性や環境適合性を有するか否かを判定し、農法の転換も含めた技術的関与の余地を探ることが肝要であろう。



## 参考文献

- Beets, W. C. (1990) : Raising and sustaining productivity of small holder farming systems  
In the tropics. AgBe publishing, pp. 738, Holland
- Brema, H. et K. Sissoko (1988) : L'intensification agricole au Sahel. KARTHARA, pp. 996,  
Paris
- CCD report (1994) : Elaboration of an International Convention to Combat Desertification  
in Countries experiencing Serious Drought and/or Desertification, particularly in  
Africa. Geneva, 21-31 March
- Delamarre, M. J. B. et Hairy H. (1971) : Techniques de production : l'agriculture, Editions  
de Musees Nationaux, 70, Paris
- de Wilde, J. C. et al. (1967) : Experiences with agricultural development in tropical Africa,  
vol. II, Baltimore : John Hopkins Press, 245-300
- FAO/Unesco(1974) : Soil map of the world. Africa VII, FAO, Rome
- Guillobez, S. (1996) : Zonage agro-Climatique de l'Ouest. CIRAD, Montpellier
- 後藤晃(1988) : 「西アジア農法」について-乾燥地における伝統的農業の技術的適応. 地理  
学評論, 61(Ser. A)-2、113-123
- 姫田正美(1991) : 耕うん・整地、農学大事典、1271~1282、養賢堂、東京
- 門村浩、武内和彦、大森博雄、田村俊和(1991) : 環境変動と地球砂漠化. 朝倉書店、pp276
- 門村浩(1990) : サハラ-その起源と変遷. 地理、35(7)、26-37
- 松本聡(1999) : 砂漠化防止対策をめぐる最近の国際的動向(その1)-砂漠化対処条約成  
立までの経緯ならびに条約の概要と意義. 土肥誌、70、4、588-591
- 松本聡(1999) : -同上-(その2). 土肥誌、70、6、816-823
- 松本聡(2000) : -同上-(その3). 土肥誌、71、1、107-112
- 松本聡(2000) : -同上-(その4). 土肥誌、71、2、281-285
- Mettrick, M. (1994) : Development oriented research in Agriculture. ICRA, pp. 291,  
Netherlands
- Mortimore, M. (1998) : Roots in the African dust. Cambridge University Press, Cambridge,  
pp. 219
- Nicholson, S. E. (1980) : The nature of rainfall fluctuations in sub-tropical WestAfrica.  
Mon Weather Rev. ; 180 : 473-487
- Nicholson, S. E. (1983) : Sub-Saharan rainfall in years 1976-80 : evidence of continued  
drought. Mon Weather Rev., 111 : 1646-1654
- 大橋巧、長野宇規(1998) : ニジェールにおける砂漠化と土壌保全の取り組み. 農土誌、66(8)、  
823-828
- 応地利明(1979) : 南インドにおけるシコクビエの栽培技術. 農耕の技術、2、1-31
- Ohji, T. (1990) : Les techniques de culture du mil au Mali : types et distribution. In Boucle  
du Niger - approches multidisciplinaires, (ed. Kawada J. ), 2、1~62、Institut de

- Recerches sur les Langues et Cultures d'Asie et d'Afrique, Tokyo
- 応地利明(1992) : ここに熱帯畑作のモデルがある. 国際交流、58、55-60、国際交流基金、東京
- 応地利明(1997) : マリ国におけるミレット農耕形態の諸類型と分布、川田順造編「ニジェール川大湾曲部の自然と文化」、東京大学出版会、147-191
- Rochette, R. M. (1988) : Le Sahel en lutte contre la desertification. GTZ GmbH, Verlag Joseph Margraf, pp. 592, Ouagadougou
- Soil Survey Staff(1996) : Keys to soil taxonomy ; 7th ed., USDA, pp644, Washington
- 高村泰雄(1998) : アフリカ農業研究の諸問題. 高村泰雄、重田眞義編「アフリカ農業の諸問題」、京大出版会、319-356
- 田中樹(1996) : 在来農法における表土管理と土壌荒廃—西アフリカ・マリとインドでの事例から. 土壌の物理性、74、51~57
- 田中樹(1997) : 西アフリカおよびインドの半乾燥地における在来農法下の土壌管理技術と環境適合性、応地利明編 : サヘルとデカンにおけるミレット農耕の比較研究、第2巻、33-72、京都大学東南アジア研究センター
- 月原敏博(1997) : マリ中央部、チオンゴニ村周辺の農法とその変化—サヘル地域の農業近代化手法の再検討、人文研究、大阪市立大文学部紀要、49(2)、23-51
- UNCOD A/CONF 74/36(1977) : Plan of Action to stop desertification. Report of the UN Conference on Desertification in Nairobi
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. (1978) : Predicting rainfall erosion losses : A guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537

## 乾燥地での植生回復の試み - 西アフリカにおける緑資源公団の砂漠化防止対策調査 -

緑資源公団海外事業部  
月井芳文

### 1. JGRC の砂漠化防止対策調査の目的と特徴

地球規模で進行する砂漠化を防止することは、人類全体の課題であり、緑資源公団(JGRC)は砂漠化の進行が著しい西アフリカのサヘル地域において砂漠化防止のための調査に取り組んでいる。

JGRC の砂漠化防止対策は、砂漠化が進行しつつある地域において、持続的な農業・農村開発の実現により環境の保全、貧困の緩和、食糧の増産を図り、もって砂漠化の進行を防止しようとするものである。持続的な農業農村開発の実現は、土地が持つ潜在的な生産力を引き出すことにより可能となる。JGRC の調査は、すでに砂漠となってしまった地域を緑化しようとするものではない。

砂漠化防止対策調査では、西アフリカの砂漠化防止を可能とする「技術のパッケージ」を確立することを目指している。技術のパッケージは、地域の自然、社会、経済の現状把握の方法、農業、牧畜、植林、農地保全、水資源開発の技術、さらには地域開発計画の策定方法も含めて構成される。

ここで確立される技術は、現地の人々が容易に実践し、利用しうる技術であり、施設を整備する場合も、現地の人々が自らの経済力の範囲内で整備し、かつ維持管理できる水準のものである。

### 2. JGRC の砂漠化防止対策調査の経緯

砂漠化防止対策調査は1985年より実施されており、現在実施されている砂漠化防止対策技術開発調査は第3段階にあたる。

#### (1) 第1段階(1985～1989)：基礎調査

基礎調査はニジェール川流域を対象とし、砂漠化進行状況の把握、砂漠化の原因分析等特性にあった農業農村開発から始める必要があり、ニジェール川流域において、土地資源基礎的なデータの収集を行なった。この調査の結果、①砂漠化防止は地域の土地・水資源のと水資源の確保が可能で、アクセスが容易な優先地域の選出、②優先地域における持続的な農業農村開発の実現、③優先地域の開発により得られる砂漠化防止効果の周辺地域への拡大とともにネットワーク的に連関させ、点的な砂漠化防止効果を面的なものとする、の3つのプロセスを提案した。

#### (2) 第2段階(1990～1995)：実証調査

基礎調査の結果をもとに、現地に適した実践的な砂漠化防止技術を見出すことを目的として、ニジェール国の首都ニアメ郊外のマゲー村に約100haの実証圃場を設置し、現地住民の参加のもと、各種の砂漠化防止技術を実際に試行し、その有用性を確認した。

この調査で得られた成果は、砂漠化診断、水資源開発、栽培、農地保全、牧畜、植林の各分野毎に技術マニュアルとして整備した。

また、成果として得られた技術を一体的に取り込んでマゲー村全域(約1800ha)を対

象とした「砂漠化防止モデル計画」を策定した。

(3)第3段階(1996～2000)：技術開発調査

公団は調査成果を活かした砂漠化防止対策がサヘルの広範な地域で事業化されることを期待し、マグ-での継続調査とブルキナファソ国、マリ国での調査を実施している。

マグ-村では実証調査終了時に策定した砂漠化防止モデル計画の一部を試験的に実施し事業化段階で発生する土地制度、社会制度あるいは住民参加に伴う問題点を把握するとともにその解決策を住民との現実の対応の中で模索する。

ブルキナファソ国とマリ国では新たに調査成果をサヘル地域で適用させるための汎用性の向上を目的とした調査を実施している。

これらの調査をもとにサヘル地域での砂漠化防止事業実施に必要な技術パッケージを完成させることとしている。

### 3. ワジ氾濫原周辺の農業開発

サヘル地域は周知の通り干ばつ常習地域であり、土壌条件もその脆弱性を指摘され、食糧生産は常に不安定な状況にある。さらに、人口の増加により従来の土地利用体系が崩され、新規開墾による農地面積の拡大も限界となり食糧確保のための過剰耕作の傾向が見られ、農業を取りまく状況は非常に厳しい。

JGRCは過去の調査の成果をもとに、サヘル地域の中で土地資源や水資源に恵まれ農業生産面で大きなポテンシャルを有しているにもかかわらず低利用もしくは未利用で放棄されているワジ氾濫原に着目し、農業農村開発を進めることとした。ニジュール川に続く多くのワジの氾濫原を農業に利用し、耕作圧力の一部を肩代わりすることで、現金収入の道を開き、砂漠化を軽減し、砂漠化防止に資すると考えた。

調査は、農業、牧畜、植林、農地保全、水資源開発など、農村開発に関連する分野を総合的に広く扱い、農村農業開発を通して砂漠化防止に資することのできる技術パッケージを確立することを目的とした。

農業分野では技術パッケージの確立を実現するうえで「生産性の向上」、「作物の多様化」、「資源の有効利用」、「農家の収入の安定と向上」を目標として設定し、地域の農業生産の安定と向上を目指した農業の技術開発調査を実施している。地域の農業生産の安定こそが住民による砂漠化防止対策への実施につながると考えている。

調査の対象は、西アフリカに数多く存在しているワジの氾濫原を中心とする低地とその周辺地域とし、ワジ周辺の持続的農業の実現を調査の最終的な目的である。

具体的にはワジから台地までを大きく4つに区分し、それぞれの条件に合わせた土地利用と栽培作目の選定を行ない、生産性の向上と作物の多様化を目指している。ワジ流域氾濫原では住民でも造成可能な低コストの氾濫原水田での二毛作の実現を目的とし、深水稲による雨季の稲作と低コストの灌漑施設を利用した乾季の野菜栽培を組み合わせ周年栽培が可能な栽培体系を実現する。氾濫原の中で比較的標高の高い水資源の比較的利用しやすい場所では雨季の高収益作物栽培と乾季の野菜を中心とした栽培を組み合わせ、周年栽培の実現を目指す。ここでは条件に応じて果樹を加えアグロフォレストリー手法も導入する。恒常的に水資源の確保が難しい傾斜部中部では果樹栽培を中心に雨季の高収益作物栽培を組み合わせた果樹を中心としたアグロフォレストリー型の農業を実現する。一般的にミレットなど食用作物栽培の中心となっている傾斜部上部から台地にかけては基幹作物である

ミレットにマメ科作物を加え、天水作物の増産と生産の安定を実現する。

これらの調査を実施するに際しては、単に栽培技術を追求するのではなく、農村を開発していく上で必要な他の分野との連携を常に視野に入れて実施している。他の分野と連携する内容は限りなく、灌漑用の水資源開発と現有の水資源の有効利用のための水資源開発分野の技術、傾斜地での土壌侵食対策技術、天水農業の生産の安定には牧畜との連携を強めながら土壌肥沃度の維持技術、開発の中心として活動する住民に対する啓蒙技術など、現場での活動が盛んになればなるほどその数は増えていくとよい。

#### 4. 今後の JGRC の調査

調査は現在進行中であるが、得られた成果の中には住民の関心の高い成果と関心の低い成果が現れ始めている。関心の高い成果にはミレット、ソルガムの早生品種の導入、パルカージュや堆肥の投入による土壌肥沃度の維持、従来のミレットやソルガム中心の作付体系にササゲを加えた輪作、野菜栽培、家畜飼育、果樹の接木などがあげられ、住民の関心の低いものには土壌侵食防止策や植林などがあった。これらは収益性、作業の難易度、労働の軽重などの理由によるものであると考えてよい。しかし、関心の高い分野のみでは砂漠化防止に貢献することは難しく、導入の仕方によっては逆に砂漠化を促進してしまうこともある。このため、農業農村開発に必要ではあるが住民の関心の低い分野をより関心の高いものとするための啓蒙の実施を考えていく必要がある。現在、プロジェクトサイトで住民への啓蒙方法の調査を実施しており、成果を技術パッケージに反映させる。

現在実施中の調査は今年度で終了し、最終的に技術パッケージを関係機関に示すが、砂漠化防止に資する完璧な技術パッケージを提供できるなどとは思っていない。現在までのニジェール国、ブルキナファソ国、マリ国のプロジェクトサイトでの調査結果とサヘル地域での砂漠化防止対策の優良事例や失敗事例を調査し、それらの情報も含め技術パッケージに反映させ、砂漠化防止対策に資する農業農村開発実施の際の技術的なオプションをできるかぎり多く提供することを考えている。

# 大規模畑作下のセラードの土壌 - 熱帯アメリカの土壌問題 -

国際農林業協力協会 久保田 徹

セラード農業土地利用の現状と土壌問題を南米他地域と比較しながら、土地の固有性やラテンアメリカ農業の特色との関わりで概観し、持続化への道を探ってみたい。

持続的な農業生産は土地の自然条件と社会経済条件と調和してはじめて成り立つと云われる。南米では、大土地所有と貧困の併存という社会経済的要因が土地の利用や環境の破壊と深い関わりをもち、自然との調和や農業生産技術以前の難しい問題を抱えている。したがって、はじめにこれらの社会経済的問題を通観し、その後、農業技術・土壌管理保全上の問題を述べる。

## 1 ラテンアメリカ農業の特色と土壌資源問題との係わり

ラテンアメリカ農業のアジアと対比できる特色として、①広大な土地と希薄な人口、②大土地所有の現存、および③古くは牧畜が主体であって、耕作農業は比較的新しいことが挙げられる。このような特色に、資金力・技術力の低さも加わって、土地が比較的粗末に扱われる素地を作っているように思われる。

### 1) 広大な土地

FAO 統計 1994 から、ブラジル、パラグアイ、アルゼンチンの土地利用状況をアジア(タイと日本)と比較して表-1、2 に示した。

南米は、広大な土地があり、とりわけ草地面積が大きく、放牧による肉牛生産が盛んである。農業従事者 1 人当たりの耕地面積はアジアの 3 ないし 17 倍と大きい。耕地への肥料投入量は非常に低い。南米の農牧業が広大な土地を前提にした粗放な牧畜、自然知力の利用、および極低投入の農地管理で行われてきた様子が窺われる。

表 1 南米諸国とアジア諸国の土地利用状況(千 ha、千人、千頭)1994

	土地全面積	耕地	永・作	草地	森林	人口	牛飼養頭数
ブラジル	851197	43213	7500	185000	488000	159143	156000
パラグアイ	40675	2190	80	21700	12850	4830	8000
アルゼンチン	278040	25000	2200	142000	50900	34182	53156
タイ	51312	17600	3200	800	13500	58183	7593
日本	37780	3999	423	661	25000	124960	4989

表2 農業者1人当たり耕地面積、肥料消費量(94統計、肥料は94-96平均)

国	農業就業者人口	耕地面積	肥料消費量	耕地への投入量*
ブラジル	13896	3.1ha/人	4629(千トン)	107.1kg/ha
パラグアイ	650	3.4	26	11.9
アルゼンチン	1485	16.8	635	25.4
タイ	20421	0.9	1491	84.7
日本	3845	1.0	1656	414.1

\*N+P205+K20

## 2) 不均等な土地所有形態

土地所有形態をパラグアイ(1991センサス)の例で見ると、200ha以上所有の大農が全農地の85.8%を占め、20ha以下の小農は、農家数では73.5%と大多数を占めるにも関わらず農地面積はわずか6.1%を占めるに過ぎない。ブラジルもアルゼンチンも同様に大土地所有が著しく、例えばブラジルの1991統計では10000ha以上の農場が全農地面積の20.4%を、また1000ha以上が55.3%を占める。

小・零細農への土地分配の政策は採られて来たものの、大土地所有は依然として存在する。

大土地所有は貧富差拡大の要因となる。貧農は収奪型農業と、結果として起こる耕作放棄、都市へ流入などを余儀なくされ、しばしば土壌劣化や土地集中の要因となる。一方の大農や企業的農業においては、土地権利の保有のための過剰開発と、その結果生ずる不適切な土地管理が環境破壊や土壌劣化の問題を引き起こす。このような社会経済構造や開発がもたした土地資源へのインパクトについては、南坊進策(1)、渡辺文吉郎(2)、田尻鉄也(3)、山添ゲンジラ(4)の著書などから、以下のような実態が知れる。

「ブラジルの土地所有制度は、ポルトガル植民地時代のSESMARA(下賜領地)に始まり、奴隷を使って、砂糖、綿花、コーヒー等の大プランテーションを経営する大農制度であった。しかし19世紀末の奴隷制度の廃止、移民の活動などによって崩壊過程をたどり、現在は巨大農場、中・小農場及び零細農場が併存している。

1964年、社会正義の原則に従い、且つ生産性を高めるため、零細農と巨大農を廃して土地の配分を変える農地改革を行ったが、徹底できなかった。その後、1988年の新憲法では、生産をあげている所有地は大土地でも、および中・小農の唯一の所有地は農地改革のため収用することはできないことになった。」(1)

「ブラジルでは土地を購入しなくても他人の所有地の中に一定年数以上定着して営農していればポッセと呼ばれる占有権を生じる。正規の不動産登記書はないが、正規所有に準ずる権利となっている。(土地なし農民による大土地遊休地の占拠が後を絶たない理由がある)」(3)

「70年代以降、ブラジルでは中一大規模農場は費用効率の高い経営を確立するため規模拡大を図り、一方、融資コストの上昇と市場価格に持ち堪えられないものは、破産するか自給自足の道を選ぶしかなく、小農場は大農場に飲み込まれて行く。この動向はブラジル南部の小農社会に特に明白で、イタリア、ドイツ出身の何万という家族が土地なし者の大群に加わっていった。」(2)

「ブラジル南部では、大農場が作物を労働集約的なコーヒーから機械化されたダイズに転換したため、失業が増大し、小農は貧困になった。」(2)

「1964年以來、アマゾンを実質的に開発地域とするオペラソン・アマゾニアが開始され、道路建設、植民地造成、租税特別措置などの計画が立案された。国境地帯に主権を確立するための自給住民地区の造成が計画された。これらの結果として、ベレン・ブラジリア間にPA150号道路を建設したが、これが爆発的山伐りに繋がった。山伐りのあと、牧場が造成されているが、アマゾン自然条件下の牧畜業は商業採算性に無理がある。また、アマゾンに入植するものは土地の占有権を手にするると、その土地を転売してしまい、他の新開地作りに出かけてしまう。(世銀報告書)」(3)

「1985年に20万人の人が Rondônia州(注：アマゾン流域)に移住した。土地は痩せており、農業に不向きのため、定住化構想は挫折した。大多数の人が入植地を数年で放棄して新たな土地を求めて熱帯林を焼き払ってしまった。」(2)

「アマゾンの森林破壊を問題にする場合、農牧場主が大規模な牧場を造成するため機械力をフルに使って山焼きすることと、貧困者が豊かな土地を求め、小さな土地を開発することとは同一に扱えない。」(3)

「アマゾン森林消失の原因としては、①土地所有権の合法化、②農畜産物の生産奨励、③道路・水力発電ダムの建設、④木材生産、⑤鉱物採掘があげられている。」(4)

「パラグアイにおいても、大土地所有者が土地の占拠や収用を防ぐために、伐開・草地造成など粗放的開発を行っており、これが激しい土壌侵食をもたらしている(演者らの調査1999)

大土地所有の上に展開される大規模畑作は、効率を求めて農業機械が大型化し、圃場が大区画となりやすい。大区画圃場での大型機械による穀類栽培は土壌の圧密劣化と土壌侵食を増大させる。

### 3) 牧畜業をルーツとする農業

南米では古くから自然草地を利用して粗放な肉牛生産を営んできた。これは地力の自然回復を利用した合理的な土地利用形態であった。このような肉牛飼育は、現在では牧養力のより高い改良草地・造成草地に移行しつつある。改良は、耕起と優良草種の播種のみによるか、時に石灰・リン資材による土壌改良が組み合わされる。造成草地はやがて牧養力が落ちて劣化して行くケースが多い。セラード造成草地の大部分は何らかで劣化していると専門家は見ている。草地劣化は、利用できない植物種の侵入、アリ塚密度の増大、土面露出度の増大、シートエロジョンによる表面硬化などで察知されている。過放牧、粗放管理、地力収奪などが係わっていると思われるが、実態は明らかでない。

牧畜生産者は耕種農業生産者に比べて土壌保全の意識が薄いのではないかとの話がある。セラード開発の初期段階にはブラジル南部の牧畜経営者が多数入植したが、彼らはロッテや所有地を隈無く伐開する傾向があった、小川などの水際まで伐開するのは牛の管理、水飲み場確保などのための習慣だという。これらと関係してか、1989年に森林保護法が改正され、これまでの川沿いの自然保護に加えて、新たに台地の端から水平方向に100mまでの森林の伐採が禁止されるようになった(森林保護法は(4)参照)。



#### 4) アマゾン地域の開発の実想

田尻(4)によれば、アマゾン地方の農業はもともとは自給自足の焼畑農業で、キャッサバ、バナナ、陸稲などを栽培した。大面積の土地利用は常に牧畜であり、19世紀以来、マラジョー島やローライマの高原の自然草地を利用した粗放な牧畜があった。1960年代になって、道路により南と結ばれることで、一挙に南部の牧畜業が進出してきた。1970年代からは、この地方に進出して企業的経営を行うものに対して政府が税制上の特典を与えたことが進出を一層促進し、肉牛飼養頭数は1950年代には120万頭であったものが、1990年には1320万頭に増加した。

アマゾン地方における森林破壊は明瞭である。土壌侵食は、木材搬出道と鉱山あとに激発しており、開発後の放棄地（造成草地、入植地）での土壌侵食も酷いと云われている。アマゾン地域の環境破壊の深刻さは、地力収奪栽培を許し、かつ受食性の高い土壌であるUltisolが比較的多く分布することと無縁でないと思われる。

演者は、マナウスの農業試験場において、アメリカの協力で実施されたテラフィルムでの長期畑作試験が中断・放棄された跡地を観察する機会を得た。施肥区は施肥の内容に応じて一定の蘖や低木が再生しつつあったが、無施肥区の跡は全く植生の回復が見られず裸地の状態になっており、地力収奪のおそろしさと適切な肥培管理の重要性を如実に示していた。このような自然の法則を開発に携わる者は十分認識して欲しい。

アマゾン地域の現況は以下のように集約できるであろう。

- ・過度の開発、急激な開発、不適な土地の開発、農牧業以外の目的の伐開、開発後の土地の不適切な管理、管理放棄などで、土壌消失が起きた。
- ・アマゾンの環境破壊は元来アマゾン地域に居住する人たちによるのではなく、進出者による。
- ・アマゾンの土壌劣化に対して砂漠化というのは適当でない。
- ・アマゾンの森林消失面積は89年2万4千km<sup>2</sup>をピークに、91年1万1千km<sup>2</sup>へと減少しつつある。

## 2 南米農牧業地域の土壌・農業生態と開発に伴う土壌資源的問題

セラード土壌問題の理解を容易にするために、テラロッシヤ(亜熱帯)、湿潤パンパ土壌(温帯北部)も含めて南米の土壌と農業生態を4つに類型化し、農業利用の特質と畑地利用される場合の土壌問題点を表3-5にまとめた。湿潤パンパは熱帯の範疇にないが、好適な比較材料として加えた。

表3 南米の農牧業地域・開発地域の農業生態学的特徴

	主要土壌	乾季・水ストレス	自然植生	伝統土地利用	主な開発
アマゾン地域(ブラジル領)	Ultisol/Oxisol	弱	森林・草地	焼畑農業	草地
セラード地域	Oxisol	強	灌木疎林	若干の放牧／陸稲	畑作
パラグアイ東部・東縁地域	Alfisol	弱	森林	未利用	畑作
アルゼンチン・パンパ	Mollisol	無	草地	畜／農輪換	畑作の比重増大

表 4 南米主要土壌の分類学上および農業利用上の特徴 (I)

主要土壌	土壌養分	粘土移動 (受食性)	透水・排水性	無施肥栽培
Ultisol	低(酸性)	++	良～不良	2-3 作は可能
Oxisol	低(酸性)	—	極良	殆ど不可能
Alfisol	高	++	良～不良	可能
Mollisol	高(有機物に富む)	+又は—	良	一般的

表 5 南米主要土壌の畑利用上の弱点、大規模畑作に伴う主な土壌劣化および対策

土壌	栽培・土壌保全上の問題	主な対策
ウルチゾル(アマ ゾン他)	クラスト形成土壌侵食	(細心の管理が必要・大規模畑 作不適)
セラードオキシ ソル	硬盤(土壌侵食)養分溶脱	耕盤破碎 等高線栽培(不耕 起)
アルフソル(テラ ロシヤ)	クラスト土壌侵食	不耕起栽培 耕盤破碎
モリソル(湿潤パ ンパ)	クラスト圧密(排水悪化土 壌侵食)	耕盤破碎・不耕起の導入のきざ し

### 1) アルゼンチン・湿潤パンパの土壌問題(Mollisol の場合)

アルゼンチン・パンパの肥沃土壌地帯(Mollisol、FAO 分類で Phaeozems)の土地利用は過去 100 年の間に放牧から粗放的 mixed farming へと大きく変容し、世界有数のコムギ産地として知られてきた。1970 年代まではコムギ、トウモロコシなど穀類栽培と草地利用の数年交互利用が定着し、生産は比較的安定していた。しかし、1980 年代からダイズ好景気に引っ張られて、伝統的な農牧輪換土地利用が崩れ、ley を軽んじダイズに偏重した穀類生産へと変化した。それに従い、土壌圧密化、土壌有機物の減少、および土壌の細粒化が急速に起こり、パンパの特徴的な地形である緩傾斜面では土壌侵食が、また平坦面では湿害が激発し、土壌劣化と生産阻害が進行している。もともとパンパの土壌は肥沃で土層が深く、世界で有数の優良土壌であり、これまで無施肥で生産を上げてきた。しかしながら、畑作偏重の土地利用、土壌改良作物アルファルファ作付けの減退、コムギ残査の焼却、広大な圃区、機械圧密、モールドボードプラウからディスクへの変化に伴う土塊の細粒化、などが複合してこれまで全く見られなかった大規模な土壌消失が進行し、生産もクラストによる出芽障害や湿害で不安定になっている。対策の取り組みは遅く、やっと最近不耕起栽培と硬盤破碎処理がとり入れられるきざしがある。農家は等高線栽培、圃場区画の細小化、圃場内承水路の設置など水食抑制の営農保全技術は知っていても、殆ど実行していない。国際土壌保全機関 ISCO もこのような事態を重視し、2000 年の国際会議を当地域で開催する。

講演者らが行った 1999 年調査(5)では、パンパではダイズ栽培の増大と、さらに品種改良が進んで 1 年 2 作のコムギ・ダイズ栽培が可能になった時点で土壌へのストレスは一挙に増大している。

パンパ土壌はイライト質のため、付着力が非常に高い。コムギ収穫後のダイズ植え付けを困難にし、コムギ残査の焼き払いとディスク耕耘でしのいでいる。これが土塊の細粒化と硬盤生成を促進している。また、膨潤収縮性も乏しく、圧密の障害が出やすい。土壌 pH が比較的高いので土壌が水に分散しやすい。このような土壌の性質に人為作用が重なって

土壌消失を増大している。

USLE 法による土壌侵食の推計は勾配 5-10 度の地形で 20-36t/ha、平坦ない緩傾斜のペルガミーノ地区で 11-36t/ha である。INTA の試算による土壌侵食・土地劣化の年間経済損失は、土壌侵食が波状平坦パンパ(5000 万 ha)で 3~5 億ドル、パンパ全域で 7 億ドル、また、土地劣化(土壌侵食、輸送被害、浚渫)はパンパ全域で 10 億ドルにのぼる。

表 6 25 年以上農畜輪換利用または農業利用した圃場の土壌理化学性と土壌侵食

(土壌)	有機物	窒素	リン	構造安定度	浸透性	可能侵食土量	侵食実測値
自然	5.04%	0.30%	71.2ppm	1.76*	35.2	25.3t/ha	0.1t/ha/yr
農/畜	3.00	0.16	23.4	3.04	22.4	36.9	9.2
農	2.51	0.14	16.0	3.24	19.1	41.5	15.1

\* de Boodt らの方法 \*\* 米国 USLE 法

(INTA ペルガミーノ試験場提供、1999.9 成績書)

湿潤パンパの水資源は量的には地域のほぼ 1 割強、700 万 ha を灌漑できる量と云われている。しかし最近の灌漑用地下水の調査により、灌漑不適の水質をもつものが多いことがわかった。今のところ灌漑は奨励され、生産も上がっているが、将来の土壌塩類化を危惧する研究者は多い。場所によっては 5 年ほどの灌漑で、土壌 pH と Na 含量が上昇し、土壌腐植が解膠して土壌構造が壊れ、浸透性が低下する、そのため雨水による土壌洗浄が出来なくなるので塩類集積が一層進むと予想している。

## 2) パラグアイ東部の土壌問題(Alfisol の場合)

パラグアイは国土約 4000 万 ha のうち、75%は農牧業利用が可能である。耕作可能面積は 750 万 ha であるが、現在は 250 万 ha が耕作されており、ダイズ、綿花、トウモロコシ、キャッサバ、コムギ等が栽培されている。耕作農業は主に東部地域東側(パラナ河の西側)のイタブア、アルトパラナ、カネンデュー県に集中しているが、主要土壌は丘陵地帯に広がる玄武岩由来の肥沃土壌テラロシヤ(Alfisol)である。

この農業地帯は 1970 年代から大規模畑作によるダイズ・コムギ 1 年 2 作の体系が生まれたが、土壌侵食が激発した。その状況は国際協力事業団の調査報告(6)に詳しいが、その中に紹介された想像を絶する侵食実測値を表 7 に示した。テラロシヤの高い受食性、激しい降雨、特に作付け交替期の 10-11 月に多量の雨が降ること、斜面長が長いことが要因として挙げられている。

表 7 イタブア県下農場の土壌侵食(1979 年 10 月- 1980 年 1 月の間の計測値)(7)

地点	傾斜度	斜面長	流亡土量	備考
Km4.5 C. A. Lopez	9%	200	97.1t/ha 0.7cm	11 月大型機械耕起, 12 月豪雨
Triunfo Linea 1	6	200	59.8 0.5	集中豪雨直後計測
Curret 峠と Natario の間	10	300	247.4 1.9	耕起後圃場の計測
Natario-Km14	9	150-300	790.0 6.1	12 月計測, 幼苗の 50%を失う
Triunfo-Km10	7.5	400	137.8 1.1	耕起後 30 日・11 月の計測

その後、侵食防止のために不耕起栽培が日系農家の手でブラジル・パラナより導入された(1983年)。不耕起ダイズ・コムギ栽培法はダイズ収量が高く推移でき、土壌侵食も抑制でき、作業効率の面でも優れていたもので、急速に広まった。1999年時点でダイズ栽培の70%は不耕起栽培によると言われる。この農法は十分に信頼できるものと見られてきた。しかしながら最近になって、長年不耕起だけを続けてきた農場に作土の浅厚化と早魘による減収が経験され、改善が必要になるかも知れない。除草剤など農薬費が非常にかさむこと、除草剤抵抗性の雑草が現れたとの話もあり、今後が注目される。対策として積極的にトウモロコシ栽培を組み込もうとしている農家も現れている(ブラジル・パラナ州ではトウモロコシ栽培の組み込みを奨励している)。

### 3) セラードの土壌問題(Oxisolの場合)

セラード地域の面積は2億ha余で、そのうち耕作可能の面積は約半分と推測されている。セラード農牧研究所(CPAC)によれば、1994年頃のセラードの農業利用は、耕地1000万ha、草地3500万ha、樹園地200万haであった。耕地は大規模畑作によつてダイズ生産が主体をなしてきた。

セラードは大部分が貧栄養の土壌で占められ、そこでは熱帯土壌でしばしば見られる賦存地力収奪型の農業は成り立たない。りの投入なしでは大概の作物は生育できない。土壌改良のインプットと数百ha以上の農地、大型農業機械、周到な作付計画があつてはじめて営農が成り立つ。地力収奪的農業とは対極的である。

セラードの土壌は、ブラジル土壌分類名により、赤黄ラトソル41%、暗赤ラトソル11%、赤紫色ラトソル4%、石英砂土20%、ポドソル性土5%、その他19%などである(8)。石英砂土、湿性ラテライトは耕作には不適で使われない(粘土15%以下のセラード土壌は集約農業には利用しないことを指導している(9))。

表8 セラードの土壌(Lopes, A. S. 1984(8))

土壌の種類	ブラジル分類	FAO 分類	Taxonomy	分布面積
赤黄ラトソル	Latossolo Vermelho-Amarelo	Acric Ferralsols	Acrustox	41%
暗赤ラトソル	Latossolo Vermelho-Escuro	Orthic Feralosols	Haplustox	11
赤紫ラトソル	Latossolo Roxo	Rhodic Ferralsols	Haplustox	4
石英砂土	Areias Quartzosas	Arenosols	Psamments	20
湿性ラテライト	Lateritas Hidromorficas	Plinthic Acrisols	Plinthaquults	10
貧栄養赤黄ポドゾル性土	Podzolic Ver.-Ama . Distr.	Orthic Acrisols	Ustalfs	1
富栄養赤黄ポドゾル性土	Podzolic Ver.-Ama . Eutr.	Ferric Luvisols	Ustalfs	4
岩屑土	Litossolos	Lithosols	Lithic Dystropepts	9
				合計
				100

主要土壌である赤黄・暗赤ラトソル(Oxisol)は雨水の浸透能が極めて高く、水食に対する耐性が高い。クラスト(土膜)が出来ないので、播種後の作物は斉一に出芽する。このような性質は東南アジアや熱帯に広く分布するに赤黄ポドソル性土壌など(Ultisol)やテラロシヤ(Alfisol)と対照的なのである。CPACのラトソル圃場は20年間機械作業

で踏圧されても開畑当時とあまり変わらない高いインテークレート(150-200mm/h)を維持している。

セラードでの土壌侵食は降雨強度の要因が大きい。かなりの地域で年に1回程度1時間百数十ミリという激しい降雨に見舞われると云われ、このような時にはオキシソルも侵食される。等高線栽培(広大かつ勾配緩やかな畑では一見認めにくい)は広く行き亘っており、不耕起直播栽培も急激な広がりをみせている。

作物が水分ストレスを受けやすいセラードでは、土壌の最大の問題は機械による土の締め固めである。活性粘土を含む多くの土壌は自然の乾湿反復下で土壌構造が発達し、機械の踏圧を受けても比較的根は亀裂に沿って伸長ができる。しかし、不活性粘土質で土壌構造が粒状ないし無構造のOxisolでは硬盤による根の伸長阻害が著しい。乾燥による土壌硬度の増大も著しい。こうした根の生育阻害は、作物の干害を受けやすくし、作柄を不安定にする。

ダイズ栽培では、根を如何に下層まで伸長させるかが土壌管理の要となる。対策としてはサブソイラーやモールドボードプラウによる適水分下での硬盤破碎がある(9)。プロジェクトの試験では、これらの方法で硬盤を破壊するとソルガムの乾物生産は20%も増加した。侵食防止、土壌水改善、土壌有機物富化のために、休憩時期に出来るだけカバークロップを入れることも大事であり、乾季にパールミレットをカバークロップとして播くと、雨季のダイズが7%以上増収することも認めた。現在不耕起栽培が広がりつつあるが、セラードでのダイズの不耕起栽培は土壌・降雨条件から他地域に比べて硬盤破碎を頻繁に組み合わせることと適切なカバークロップが必要になると思われる。現在はパールミレットが急速に広がっている。

土壌圧密はアルゼンチンパンパ(Mollisol)やパラグアイ・ブラジル南部農業地帯(Alfisol)では土壌侵食加速の要因であるが、オキシソルではそれほど問題を生じていない。しかし玄武岩と砂岩の複合物から発達したLatossolo Roxo(ラトソルホ-ショ)の場合には問題になっているようだった。

セラードの水資源については、全可耕地の10%は灌漑できる量の水があると言われていている。セラードの台地は一般に土層が非常に深く、ここにたっぷりと雨季の雨水が蓄えられ、徐々に流出して、台地下部を潤す。こうして、乾季にも小川の水が豊かに流れる光景がしばしば見られ、センターピボットによる乾季灌漑を可能にしている。

セラードの水は、概してミネラルや珪酸含量が極めて低い。灌漑水による土壌塩類集積が起こる危険性はほとんどないであろう。台地上における大規模畑作の施肥が水質汚染をしている形跡はない。農薬汚染の調査報告はないが最近ミナス州のイライ川周辺でヘプタクロロ、リンデン、エンドリンが表面流去水中に検出され、ダイズ作付け時期に魚毒を生じたことがあった。

セラードの穀類生産は収量で見るとは順調に伸びており(表9参照)、技術の貢献は大きい。

耕作年数に伴う土壌化学性の変化については明瞭な報告がされていない。

表9 セラードの主要農作物収量の推移

		1975	1980	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
ダイズ	セラード	1.32	1.70	1.96	1.84	1.94	2.01	2.10	1.56	2.15	2.22	2.20
	国平均	1.70	1.73	1.80	1.45	1.86	1.72	1.97	1.73	1.55	2.04	2.12
トウモロコシ	セラード	1.58	1.75	1.90	2.09	2.19	2.24	2.56	1.69	2.60	2.57	2.68
	国平均	1.51	1.78	1.87	1.65	1.99	1.88	2.06	1.87	1.81	2.28	2.53
イネ	セラード	1.03	1.16	1.28	1.31	1.15	1.36	1.38	0.98	1.56	1.25	1.24
	国平均	1.47	1.57	1.90	1.86	1.74	1.98	2.10	1.88	2.30	2.14	2.29
コムギ	セラード	0.23	0.95	1.49	1.08	1.12	1.24	1.14	1.22	1.83	0.91	1.48
	国平均	0.61	0.87	1.61	1.47	1.75	1.61	1.69	1.15	1.46	1.43	1.47

(CPAC 資料提供 1997)

不活性粘土質のセラード土壌では土壌有機物が地力上特に重要である。土壌有機物は開畑時点で大きく減少したものが耕作年次とともに増加する、しかし20数年を経ても元のレベルにははるかに戻らないようだ(CPAC 未発表データ)。乾季灌漑栽培を行っている農家は土壌有機物が明らかに増加することを経験しているが、科学的調査はされていない。セラードの畑地は、乾季を経たあとの雨季始めに多量の土壌窒素が流亡することも云われている。この乾土効果の評価・対策や乾季の強い土壌乾燥が地力に及ぼす影響の解明も重要と思われた。

セラード土壌は種々の養分に欠乏しており、リンは特に不可欠で、カリ、微量元素等も施用されている。

ブラジルは現在世界第5位の肥料消費国であるが、近年とみにリン鉱石やリン酸の輸入が急増している。リン鉱石の輸入は1986年頃から順次増え、国内生産と輸入の割合は1996年に約5対1になった。これはセラード農業と深く関わっていると思われる。リンの国際需給関係から耕地面積が制限される事態も将来あり得ると見るのは早計であろうか。生産費や農畜産物の価格変動で広大な耕地が放棄される事態も想定して、サバンナ再生の技術研究もあり得ると思う。

### 3 セラード畑作の持続化

#### 1) CPAC 研究者の最近の意識

研究者の間では、今後のセラードは、耕地の面的拡大ではなく、既耕地の生産力増強(Vertilization)と作物多様化(Diversification)の方向に転換しようとの考えが強く、環境問題(Global Impact)も含めて所の目標に掲げている。実際の動向としては、草地と畑地の交互利が収益性や土壌改良に良に優れることが注目され、アグロバストラールの研究機運も高まっている。作付体系の多様化・改善とカバー作物・緑肥・草種などの探索導入も古くて新しい課題である。また、進んだ農家や試験場の収量と一般農家の収量に大きな隔たりがあるので、普及が重視されつつある。これらと関連して、実用に堪える詳細な農業生態地図の作成が徐々に進んでいる。

#### 2) セラードの不耕起直播栽培への危惧

不耕起栽培は、アメリカ穀倉地帯に70年代から発達し、南米ではAlfisolに導入された農法である。粒状・無構造のセラードオキシソルでは適用性に欠くおそれ無しとしない。不耕起栽培の除草剤による水質汚染がアメリカ LISA の主要契機の1つであった経緯から、セラードでの不耕起栽培の適性と除草剤の環境影響の調査は重要である。しかしながら、国も州も米系農薬・種苗企業と一緒に普及キャンペーンに熱心であり、警戒の意識が見られない。農薬汚染の調査はブラジル南部ではかなり調査が進んでいるが、セラードについては全く未着手であるのも気掛かりである。環境問題への取り組みには時間を要するようだ。

以上、熱帯アメリカの畑作では、土壌や環境をめぐる問題は多い。そして持続化へ向けてさまざまな工夫や努力が行われていることも見た。南米を見て、適地適作(適切な土壌管理も含む)の重要性を今更ながら強く感じている。種子と水と土という農業のあたりまえのことがやはり一番大事なのである。

### 参考・引用文献

- 1 南坊進策 農業制度と施策の問題点 ブラジルの農業 -現状と開発の課題- 国際農林業協力協会 1989
- 2 渡辺文吉郎：ブラジルの農業事情 国際農林業協力協会 1992
- 3 田尻鉄也：営農の実態と農業協同組合 ブラジルの農林業-現状と開発の課題-1995年版 国際農林業協力協会 1995
- 4 山添ゲンジ、工藤哲也：ブラジル林業の現状と開発の課題 同上
- 5 平成10年度国際防疫及び畜産技術協力推進事業飼料穀物部門現地調査報告書-アルゼンチン-畜産技術協会 1999.3
- 6 開発途上国畑作地帯における土壌保全に関する基礎調査(コロンビア・パラグアイ) 報告書、1985、国際協力事業団
- 7 Classificacion y uso apropiada de la tierra en el area del proyecto le desarrollo rural Itapua 1981 FAO, Dessarrollo Forestal..
- 8 Lopes, A. P. Solos sob Cerrado-Characterísticas, Propriedades e Manejo 2 ed. Lopes, A. S. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato 1984
- 9 Recomendacoes Tecnicas para a Cultura da Soja na Regiao Central do Brasil 1994/95 EMBRAPA-CNSo, Londrina, PR

## 熱帯畑作の安定性

農業研究センター・作物生理品質部  
豆類栽培生理研究室 有原丈二

熱帯には一年を通して湿潤であるところは少なく、雨期と乾期が交代する地域が多い。このため、熱帯の気候は月間平均降水量が月間蒸発散量を超える期間の長短で区分することができる。その期間が2~7ヶ月あり、かつ最寒月の月平均気温が18℃以上の地域が半乾燥熱帯と呼ばれている。この地域は熱帯全体の約7割を占めており、畑作の生産性が低く、また不安定な地帯である。インドのデカン高原は4ヶ月近くの雨期をもつ、典型的な半乾燥熱帯である。半乾燥熱帯は、熱帯の中でもっとも作物生産が不安定な地域でもあるので、そこでの経験に基づいて熱帯畑作の安定性について考えてみたい。

半乾燥熱帯はインド亜大陸、中東、アフリカ、中南米、オーストラリアなど地質的に安定した大陸塊の上にある。半乾燥熱帯の代表的な土壌は Alfisols、Oxisols、Ultisols、及び Vertisols で、それぞれ 6.9, 1.88, 0.52、1.31 億 ha の面積があるといわれている。これらの土壌はいずれも風化が進んだ土壌である。Alfisols は 1:1 型の粘土鉱物を持ち、カルシウムは溶脱しているためリン酸は Fe や Al と結合し、有効態リン酸は少ない。Alfisols は下層に粘土の層を持つが、Oxisols や Ultisols ではそのようなものもなく、肥沃度はさらに劣る。ただ、Oxisols の土壌物理性は優れる。Vertisols は粘土鉱物が 2:1 型で、比較的養分に富み、リン酸が Fe や Al 以外に、Ca と結合している土壌で、地殻変動により玄武岩が噴出したインド西部、アフリカ東部、オーストラリア東部などに分布している。

半乾燥熱帯の土壌は肥沃度が低いにも関わらず、施肥量が少ない、あるいは全く施肥がなされないで作物生産が行われており、不安定性の最大の原因と考えられる。とくに、アフリカでは、畑作物への施肥がごくまれにしか行われていないため、1980年代以降その生産性は緩やかではあるが、確実に低下を続けている。半乾燥熱帯は、その呼称から受ける印象のためか、水の不足が作物の生産性を制限している印象があるが、実際にはそのようなことはない。私の経験でも、国際半乾燥熱帯作物研究所(ICRISAT)で得られたデータをみても、降水量の不足が畑作物生産性の制限要因であるとは考えられない。実際には、生産性を制限しているのは、養分の不足であり、施肥が行われさえすれば、畑作生産の向上、安定させられることは確実である。

乾燥こそ半乾燥熱帯の畑作物生産の最大の制限要因であるというのは、非常に短絡した考えと言わざるを得ない。乾燥が問題であるという考えが、半乾燥熱帯の作物生産の向上や安定化を逆に阻んできたとさえいえる。インドやパキスタンで乾燥を問題にするあまり灌漑を重視しすぎ、その結果が塩害の拡大につながっている。1980年代の ICRISAT では、作物の乾燥抵抗性の遺伝的改良こそが最大の目標であったが、目立った成果は得られなかった。その中で、当時、IFDC(International Fertilizer Development Center)に所属していた韓国の土壌肥料研究者が施肥の重要性を訴え続け、その考えが日本財団が支援する Global 2000 のプロジェクトに結晶し、アフリカでもっとも成功したプロジェクトとなった。このプロジェクトの成功も、半乾燥熱帯の作物生産の問題は、養分の不足であるという考えに変わりつつあることの契機になっていると考えられる。



それでは、どうしたら半乾燥熱帯の農民に肥料、なかでもリン酸肥料を供給することができるのであろうか。幸いにしてアフリカにはリン鉱石の鉱床は多くあり、とくに西アフリカの鉱床は堆積性のものが多く、その肥効も高く、むしろリン酸肥料より優れるという報告も多い。このリン鉱石をどのようにして作物生産に利用していくのか、その技術を開発することが非常に重要な課題ではないかと思われる。幸い、我が国では酸性土壌へのリン酸施用技術、作物のリン酸吸収機構の研究など、リン酸に関する研究は比較的進んでおり、それを活かしてリン鉱石利用技術の開発に貢献できることは多いと思われる。

半乾燥熱帯は、インド亜大陸、アフリカ、中南米、インドシナ半島の一部などに分布している。半乾燥熱帯では、雨期の降雨は確かに作物生産に大きく影響する。しかし、極端に降水量が不足するような年を除けば、降水量自身はそれほど作物の生産量に影響はしていない。むしろ、豪雨によって一時的にせよ、土壌水分が過剰なることが問題となる場合の方が多い。Vertisolsは土壌水分が低いときは透水性は極めて高いが、土壌水分が一定量を超えると急激に透水性が低下して、作物に甚だしい湿害を引き起こす。このため、最近までVertisolsでは雨期には作物が栽培されず、栽培されるのは湿害の危険のない乾期であった。半乾燥熱帯の降雨は、時間当たりの降水量が多く、土壌表面が雨でたたかれるとAlfisolsでは被膜(クラスト)が生じ、透水性や通気性が大きく低下してしまう。このためクラストが生ずると土壌は酸素不足になって、種子の発芽が阻害されたり、根圏の機能が低下したりする。また、表面流去水が増え、土壌へ浸透する水分が減少するとともに、土壌浸食を引き起こす。こうしてAlfisolsの生産性は大きく低下してしまう。

その一方で、半乾燥熱帯では降雨と降雨の間隔が長く、湿害の後には、干ばつが続くことも多い。このように半乾燥熱帯では、作物は土壌水分の急激な変化に対応しなければならず、過湿な土壌で根圏が浅くなったあとで、乾燥にさらされた作物は、土壌水分が吸収できず乾燥ストレスによって大きな被害を受ける。しかし、それは畦立て、根圏深度の異なる作物の間混作、有機物施用、輪作などで解決できる部分も大きい。このように半乾燥熱帯では、土壌物理性の改善も非常に重要な課題である。

ブラジルのセラード地域では乾期があるが、雨期の降水量は非常に多い。ここの土壌であるOxisolsがもともと土壌物理性に優れていたため、リン酸とカルシウムが十分に施肥されることによって作物根系が深くなり、ベラニコと呼ばれる小乾期の影響が軽減されるようになった。これが作物生産の向上と安定に大きく役立ったものと考えられる。

AlfisolsやVertisolsの土壌物理性はOxisolsほど優れていないため、養分の供給だけでなく、土壌物理性の改善も、作物生産の向上と安定には重要である。半乾燥熱帯では土壌物理性の改善を機械力で行うことは無理であり、また望ましくもない。作物根系の機能や有機物に頼らなくてはならないが、その方がむしろ効果的でもある。これまでの研究で土壌と作物根系との関わりは、養分吸収のみならず、土壌物理性の改善にも大きく貢献すること、それが間混作や輪作効果の大きな理由であることもわかってきている。また、施肥によって作物の生産性が向上すれば、不足している有機物の施用量も増大するはずである。

土壌養分の欠乏と土壌物理性の問題が、半乾燥熱帯の畑作の不安定性の最大の原因であり、その改善こそが作物生産の向上と安定化に必要であることを強調したい。