

熱帯の森林と土壌

久馬 一 剛

世界の森林面積が 1950 年から 1980 年頃までに半減し、その大部分が熱帯林の減少に帰せられることは、今日広く知られている所である。筆者は過去 20 年近く熱帯アジアの各地で森林面積の減少してゆく有様を見て来たが、今回アフリカのケニヤ、ザイル両国を見る機会を与えられての印象では、それが熱帯アジアだけの問題ではないことを、あらためて確認することになりそうである。とはいえ、アフリカや南米については筆者の知見が限られているので、本稿では、熱帯アジアについて森林と土壌の関わり方を考えてみることにしたい。

I. 森林下の土壌の特性

森林というのは、どの程度の密度で立木をもっていけばよいのか厳密な定義を知らないが、日本人が通常イメージとしてもつような密な森林が成立するためには、年間の降水量が、蒸発散量に等しいかそれよりも大きいことが必要であると思う。そしてこういう条件下では土壌は不可避免的に酸性化する。つまり、蒸発散量を上回る降水は、土の中を下方へ滲透し、その間に土壌のもつ塩基類を洗脱するように働く。したがって程度の差はあるが、森林を支えている土壌はいつでも酸性であるといって間違いない。かくて森林を極相とする日本の土壌はすべて酸性なのである。

土壌が酸性化するということは具体的にどんな意味をもつだろうか。以下に述べるような幾つかのことが考えられる。

1. 塩基類の減少

すでに上にも述べたような、土壌の酸性化というのは塩基類の洗脱によって起こる。従って酸性土壌というのはいつでもカルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、カリ (K) などの、植物にとって必須な塩基性元素の欠乏傾向を伴っている。強度の酸性化が起これると、植物の生育が、これら元素の欠乏によって制限を受ける場合も生じうるのである。

2. 有害元素の増加

上に塩基が減少するといったが、これは何を基準にしての減少なのか。土壌はそれ

KYUMA, Kazutake: Tropical Soils as the Basis of Forest Growth

京都大学農学部

ぞれの粘土の量や種類、また有機物の量や質によって異なる、ある大きさの陽イオン保持容量 (CEC という) をもっている。Ca, Mg, K のような塩基類がこの CEC をみたしておれば土壤は酸性を示さない。土壤が酸性であるということは、この CEC に対して、塩基類が不足している状態にほかならない。この不足分はしかし、何か他の陽イオンによって補われなければならない。これを補っているのが、水素 (H) やアルミニウム (Al) なのである。一般に酸性が強くなるほど Al の割合が高くなるが、この Al は植物の根の生育を阻害する有害元素である。また量的には比較的少ないが、マンガン (Mn) も土壤が強酸性になると陽イオンとして溶け出し、植物に害作用を及ぼす。このように土壤の酸性化が進むと有害元素がふえて植物の生長を妨げる傾向が大きくなる。

3. 粘土の質の悪化

土壤が酸性化するにつれて、上に述べた CEC の主要な不飽和性粘土の質が悪化する。つまり単位重量あたり CEC の高いものから、低いものへ変化する傾向が明らかになる。日本の土壤もその例にもれず一般に粘土の質はあまり上等でない。

4. 有機物の働きの悪化

粘土と共に CEC をになっている有機物も、土壤が酸性化すると働きの悪くなる。すなわち、有機物の質そのものが変らない場合でも、酸性条件下では高い CEC を示さなくなる。その上に有機物の質までが悪くなる傾向もある。もともと森林下には、腐植化が十分進んでいて土壤構造の発達に役立つムル型腐植のほか、腐植化が不十分な酸性のモル型腐植が多く見受けられる。森林下に腐植化の未熟な有機物がたまるのは、次に述べる生物の活性の低さに起因しているが、結果としては有機物の CEC に対する寄与を小さくし、また土壤構造の形成に対しても働きの悪くなる。

5. 土壤生物の働きの悪化

土壤有機物の質が悪くなるのは、酸性条件下では土壤生物の働きの悪くなるためである。森林下の落葉落枝はまずもって大型、中型各種の動物によって細かく砕かれ、それにまた微生物が働いて分解されて行くのであるが、酸性条件下では、動物群集の組成の中で、ミミズのような大型で摂食量の多い動物が少なくなるし、微生物の組成の中では分解能の高い細菌類が減少し、相対的にカビが多くなる。こういった条件下では、落葉落枝の分解量も減るし、分解の中間産物として低分子の有機酸類を生成し易い。この有機酸類が土の中を流れて、さらに土壤の酸性化を進めることにもなる。また酸性条件下では窒素固定菌など有益な微生物の働きも低下する。

以上に見てきたように、森林の成立している土壤条件が酸性であるということの意味は多様であるが、どの一つをとっても、植物の生育にとってあまり良い効果を及ぼさないといえる。もちろん、このマイナスの効果は酸性化の割合によって、非常に大きい場合から、小さくて無視できる場合までであることはいうまでもない。

II. 熱帯林下の土壤

森林があるところ、土壤が酸性化傾向をもつことは熱帯においても同じである。熱

帯林の下に出てくる土壌はどんな特性をもっているだろうか。

一般的にい方をすると、熱帯における土壌の変異の幅は温帯におけるよりも広い。温帯にある土壌は小面積でなら、すべて熱帯にもあるといてよい。しかし、面積的に多いのはやはり熱帯の高温・多湿な条件下で極度に風化の進んだ材料の上に生成する土壌であって、これらは熱帯に特有であるといえる。簡単にこれら土壌の特性について記述しよう。

1. オキシソル (Oxisols-USDA), フェラルソル (Ferralsols-FAO/UNESCO),
ラトソル (Latosols-旧 USDA)

これらの名でよばれる一群の土壌がある。赤色で深い土層をもち、上から下まで大きい変異がみられない。多くは粘土質であるが、二次的にできた鉄質の小塊が土層中に見られることもある。

赤い色や鉄質の小塊の存在は、材料の風化と洗脱の進んでいることを示すもので、上述の酸性土壌の特徴をすべてもっているといつてよい。さらにこの土壌が熱帯にあることは、有機物の蓄積のレベルの低さというもう一つの特徴を加える。粘土の質が悪化し、陽イオン保持容量が小さいという特徴は、近年特に注目をあび、熱帯土壌の低活性として知られている。養分の含量の低さと養分保持力の低さはこれらの土壌の最大の欠点である。

しかし、粘土の活性が低いために、粘土質であっても、湿潤な時の極端な粘性や、乾燥した時の極端な固化は起こらず、比較的扱い易い物理的な特徴をもつ。また鉄の皮膜で覆われた安定な粒団ができているので、強雨による侵食にも比較的抵抗性が高い利点もある。しかし、有機物が少ないために温帯の土壌のように多孔性の粒団を作らないから、粒団の安定性は高いといったが、その土壌保水に対する寄与は小さい。

東南アジアではこの種の土壌の分布面積は小さく、その多くは塩基性岩風化物に由来する。新期の塩基性火山噴出物に由来するものは肥沃な土壌として、コーヒーやココアのようなプランテーション作物の栽培に利用されてきた。焼畑に使われている場合でも比較的長期間安定に耕作しうる可能性がある。

2. アルティソル (Ultisols-USDA), アクリソル (Acrisols-FAO/UNESCO),
赤黄色ポドゾル性土壌 (Red-yellow podzolic soils-旧 USDA)

これらの名でよばれる土壌が強度に風化と洗脱を受けている点では、上に述べたオキシソル等と同じである。アルティソルという名前も風化の究極の (Ultimate な) 段階にあることを意味する。

この土壌の特徴は、粘土が表層から失われて下層にたまっている点にある。これは一つには土壌の含鉄量が比較的少ないために粘土の分散性が高いことによる。ただし、粘土の質そのものはオキシソル等とあまり変わらず、低活性である。したがって、土壌の養分含有量が低く、養分の保持力も小さく、総じて化学性が劣悪であるという点や土壌保水能が小さい点ではオキシソル等に類似している。その上にこの土壌は、表層の粘土含量が低く、土壌構造が不安定であつて、熱帯の強雨の下では侵食に対す

る抵抗性が低いということがもう一つの重大な欠点となる。

東南アジアの山地や丘陵、段丘などの赤ないし赤黄色を示す土壤の大部分はこの種の土壤である。つまり東南アジアの森林下には化学性も物理性も悪く、侵食性の高い土壤が圧倒的に広い面積を占めているといえる。

3. その他の土壤

乾季が明瞭な気候下では、年間の蒸発散量が降水量とほぼ同じく、激しい洗脱の起こっていない土壤が分布する。これはアルフィソル (Alfisol-USA), ルビソル (Luvisol-FAO/UNESCO), 非石灰質褐色土 (Non-callic brown soils), 赤褐色土 (Reddish brown earths) などの名で呼ばれる土壤で、塩基類の含量が高く、粘土の質が比較的良い点でアルティソルなどと異なる。ただし、やはり土壤断面内で粘土の移動があるために、表土は土性が軽く、受食性が高い傾向を有する点が問題となる。

以上に述べてきた土壤はいずれも断面の十分に発達したもののばかりであるが、これらのそれぞれに性質上はよく似ていながら、土壤断面の発達の程度が低いためにインセプティソル (Inceptisol-USA), カンビソル (Cambisol FAO/UNESCO) などの名でよばれている土壤も広い分布をもつ。しかし、実際の扱いの上では名よりも実をとり、それぞれ先に述べた三つの土壤のいずれかに含まれるものとして考えてよい。

以上のような土壤が、それではどんな森林に対応しているのであろうか、赤道から南北数度の範囲にみられる熱帯降雨林は年間を通じて顕著な乾季のない地域に卓越するから、これに対応してはオキシソルあるいはアルティソルが出現する。赤道の南北10°を越えると年間に明瞭な乾季を生じ、それに伴って半落葉季節林が卓越するようになる。ここでも土壤としてはオキシソルあるいはアルティソルが多いが、一部に土壤の洗脱の程度の低いアルフィソルが見られる。

一部のアルフィソルを除けば、すべて土壤の化学性は劣悪であるにもかかわらず、なぜ熱帯に最大樹高が50mを越えるような立派な森林が育つのであろうか。われわれは壮大な熱帯樹林の姿から高い生産力を想像しがちであるが、年々の純生産量は必ずしも高くはなく、われわれが見ているものは非常に長い年月の蓄積量であることを知る必要がある。つまり熱帯の森林の多くは、やせた土壤から多年の遷移の過程でかき集め、樹体と表土に蓄積された養分を急速に再循環しながら、ごくわずかずつ生長して行くのである。したがって、この蓄積が、あるいは材として持ち出され、あるいは伐採後の表土の侵食によって失われると、熱帯樹林の再生はきわめて緩慢な過程とならざるをえないのである。熱帯林のこの特性は十分銘記しておかれるべきであろう。

III. 焼畑と土壤

熱帯の到る所で焼畑を見ることができる。焼畑のこの広い分布は何を意味するのだろうか。しかし、ここで論議を始める前に、もう少し焼畑をはっきりと定義しておくねばならない。近年熱帯林の減少が問題にされる時、必ず植玉にあげられるのが、

“焼畑”であるが、この場合の焼畑はきわめて雑多な内容を含んでいる。本来の山地民の焼畑から、商品作物を作るための低地民の刈払いと焼却まで、すべて焼畑の名で呼ばれて非難されている。

ここで論議の対象にするのは、山地民による本来の焼畑である。彼らは何世代にもわたって焼畑を続け、それによって生活の資を得てきている。この意味の焼畑は、したがって本来永続性の高い生業であって、低地民が商品作物を作るために掠奪的に森林を農地化しているものとは厳に区別されるべきである。

筆者らはタイ国東北部において、日・タイの共同研究として焼畑の実験的研究を行った。森林の伐開に引続き2年間の作付期間を調査した後、放棄して森林の再生を待っている段階であり、まだ1サイクルを見るには至っていないが、焼畑の特性について次に述べるようにある程度の知見をうることができた。

1. 伐採・焼却による養分の供給

焼畑に使われる森林がどんなものであれ、伐採焼却によって養分の供給を期待できることは明らかである。筆者らの試験地では現存量 330 t/ha の半落葉季節林であったが、土壤に添加されたリンは約 70 kg/ha、カリは 400 kg/ha にのぼった。これら両元素は森林下の土壤中よりも、樹体中での蓄積量をはるかに多く、焼却の意義が特に大きい。またチッソについては焼却による表土の高温処理がいわゆる焼土効果を生み、筆者らの実験の場合には 54 kg/ha のアンモニア態チッソを生じた。

2. 土壤有機物の分解による養分の供給

森林を伐開すると地表の庇陰がなくなるために土壤温度が高まり、森林下で蓄えられた有機物は急速に分解し、多量の養分元素を解放する。筆者らの測定では、地温の上昇は、対照の森林下と比べて地表面から 10 cm の深さで高温期には 5°C に及び、これによって分解された有機物量は、森林下での分解量にくらべて2倍に上った。こうして2年間の作付期間には土壤中の全蓄積量の 30% 近くが分解され、チッソはこれにより約 450 kg/ha、リンは 35 kg/ha、カリは 135 kg/ha が解放された。

以上の2要因が焼畑の有利な点と評価できるが、次のような不利な側面も認められる。

3. 開畑直後の雨による養分の損失

モンスーン熱帯の焼畑では、乾季のはじめに伐採してよく乾かした後、再度雨でぬれる前に乾季の終り頃焼却する必要がある。しかし、この時期にはまだ作物の栽培をするには乾きすぎているし、雨季前のシャワーの到来をまって播種をしても地表が十分作物で被覆されるまでには少なくとも2~3週間は裸に近い状態で経過することになる。この時期の何回かの強雨によって焼畑の灰や、作業で踏み荒らされた表土の一部は激しく侵食をうける。これは焼畑の多くがかなり急な斜面の上にあることによっても促進されることになる。筆者らの試験の場合、折角焼却によって添加されたリンとカリの半量近くは、第1作のトウモロコシの播種期までに失われてしまった。焼畑の常法に従って掘り棒で穴をあけて播種した区は、耕起播種をした区にくらべて侵食による表土損失量が少なく、焼畑方式の優位を示したが、この開畑当初の養分損失を

まぬがれることはできなかった。

4. 物理性の悪化

土壌有機物の分解によって養分が解放され、その一部はたしかに作物によって利用される可能性があるが、多くはこれまた侵食や、溶脱によって系外へ失われてしまうことになる。それにもまして有機物分解の結果は、土壌の物理性の悪化を招く。筆者らの試験の範囲でも、表土の仮比重の増大、孔隙率の減少など表土の固化の傾向が認められただけではなく、水分保持力もやや低下した。

ここに述べたことのうち、養分の収支の概略をまとめてみると表1のとおりである。

2年間の作付期間の終りになっても、土壌は見かけ上は森林下よりも養分含量がふえている。したがって、土壌肥沃度の低下を焼畑の移動の原因とは考えにくい。このことは山地民のやっている焼畑の場合でも大抵はあてはまると思われ、一般には連年作付により雑草害が甚だしくなることが、移動の主たる原因なのであろう。表-1 から読みとるべきことのうち最も重要なのは、土壌養分の富化が、植生—土壌系全体の養分蓄積の中での形の変化であるにすぎないのに対し、損失の方はこの系から系の外への真の損失である点である。この損失を長期の休閑によって回復してきたのが、伝統的な焼畑の本質にはかならないのである。

IV. 焼畑の利点と欠点

上には焼畑における土壌の問題を中心に述べてきたが、結論として一体焼畑は是認されるべきものであるのかどうかを考えてみよう。

表-1 実験焼畑における作付期間（2年間）の養分収支 (kg/ha)

	N	P	K	Ca	Mg
養分富化					
焼却による	54	72	455	1,913	288
有機物の分解による					
1年目	240	20	80	420	170
2年目	160	13	54	280	110
小計	454	105	589	2,613	568
養分損失*					
初期の侵食による	—	35	233	2,540	411
作物（可食部分）による					
1年目	68	11	19	1	4
2年目	72	16	13	1	3
小計	140	62	265	2,542	418

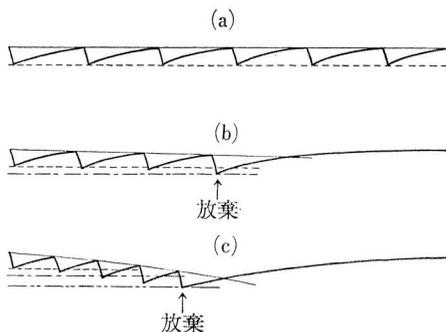
* 作付後の侵食と洗脱による損失を無視できるとした

短期作付—長期休閑型の焼畑は熱帯の低肥沃度の土壌条件に対するすぐれた適応であると見なすことができる。つまり上記したように作付期間中におけるいろいろな形で養分損失を長期の休閑期間中に補填できれば、安定なシステムとして半永久的に食料生産を続けうる可能性がある。しかし、ここで注意すべきことは、このシステムの安定性が“長期”の休閑に存在しているという点である。この長期が何年であればよいのかは、気候と土壌の条件によって大きく異なる。実際、焼畑民たちに何年でもとへ戻るのかと尋ねても適確な答は返って来ず、ある種の木が、この程度の大きさになったら再度伐ってもよい条件になったと判断するのだ、というように答えることが多い。普通の熱帯アジアの条件下では少なくとも 10~15 年はみておかねばならず、もっと完全に損失を補うためには 20 年以上の休閑が望ましいと考えられる。

今陸稲を主作物として 1 年作付、14 年休閑で、15 年 1 サイクルの焼畑をするとし、 1 km^2 (100 ha) の土地が何人の人間を養えるかを考えてみよう。5 人 1 家族の作付面積は、除草労働によって制限され、1 年 1.5 ha ぐらいである場合が多い。すると 15 年 1 サイクルの焼畑では 1 家族あたり 22.5 ha の土地がいることになる。3 家族 15 人ですでに 67.5 ha 、この値は総面積 1 km^2 (100 ha) の中で使える土地の見積りとしてはすでに大きすぎるかも知れない。すなわち 1 km^2 の土地が 15 年 1 サイクルの焼畑によって比較的安全に養える人間の数は 15 人を越えないと考えることができる。

このように焼畑が安定なシステムとして働くためには、きわめて粗放な土地利用を前提としなければならないことになる。現在の焼畑の多くが危機におちいつているのは、人口の増加によって、この粗放な土地利用が不可能になってきているためである。そして一度この人口と土地とのバランスが崩れると、焼畑は絵に画いたような悪循環におち入り、先に述べたすべての利点は消失し、急速な土地の荒廃を来すことになる。

図-1 にはこのことを模式的に示してある。



(a) 安定な系, (b) 準安定な系, (c) 悪循環の系

図-1 焼畑における休閑期間と土地生産力の推移

a) は長期休閑によって完全に土地生産力が回復し、半永久的な継続可能なシステムである。b) は休閑期間がやや不十分なために長期的には少しずつ土地生産力の低下して行く準安定なシステムを示している。c) は上に述べた悪循環におちいつたシステムの模式であり、生産力の低下のために放棄された土地には、もはや容易に森林が再生しないような状況を示している。

ここに述べたように、山地民に

よる伝統的な焼畑といえども人口の圧迫と、各国政府の土地利用に対する規制の強化の下では、もはや安定なシステムではなくなってきている。筆者の見聞の限りでは、熱帯アジアの多くの焼畑は上の模式の b) に示した準安定なシステムの段階にあるように思われる。これが c) の悪循環システムにおち入らないためには、ある所で土地を放棄して相当長期の休閑に付さなければならない。そして、そういう良識的な判断が実行されるためには、焼畑民は政府の禁をおかして一次林へ踏みこんでいき、森林資源に大きい損失を与えざるをえないことになる。

このように考えてくると、焼畑はその本来の合理性にもかかわらず、現状ではもはや容認しがたいものとなる。しかし、それならどうするのか。最終的には焼畑民を山地における伝統的な生業からひき離して、定着させることを考える以外に方法はない。現在までにそのための沢山の試みがなされてきたが、どれも決定的な成功をおさめたとはいえない。アグロフォレストリーもそのための一つの方策であり、今熱帯の各地で広く試みられている。アジアでは特にタウンヤやトッパンサリなどの方式が有名であるが、これらも必ずしも完全な成功をおさめているとはいえないだろう。樹種の選択、資金の回転、人間の収容能力などに容易に克服し難い点がありそうである。

これらの問題の根元には熱帯の畑作の困難さがある。土壌の低い肥沃度、高い侵食の危険性のために熱帯畑作は常に不安定さをまぬがれえない。熱帯アジアでは畑作の場合でも土地の人口扶養力は決して高くなく、それを越えて集約化しようとする、たちまち土壌生産力の崩壊が始まる恐れがある。このことを見易い数字で示せば、熱帯アジアの畑地における穀類の平均収量はわずかに 1 トン/ha 弱であって、同じ地域の水稻の収量の半分にしからずぎない。施肥とか、かんがいの手当をせずにこの収量を高めようすると、たとえば休閑期間の短縮などから無理が生じて土壌が悪化する危険にさらされることになる。さりとて、熱帯アジアに関する限り、安定多収の水田にはもはや開拓の余地はない。そうなると、いかに難しくとも熱帯畑作を安定化させ、収量水準を上げる以外に、焼畑をやめさせ、森林資源を保護するための前提条件は整わないことになる。そのことがどこまで可能か、回答はまだ出ていない。しかし、的確な回答をするためには、少なくとも次の方向での研究が早急に必要であろうと考えている。これらはいずれも本来の焼畑のもつ合理性を、畑作に生かすための考慮から出てくるものである。

1. 不耕起ないしは最少耕の検討——侵食防止 2. 左記とマルチの併用方式の検討——雑草害軽減、耐食性、保水性増大 3. 輪作、間作、混作、リレー作などの作付体系の研究——病虫害軽減とマルチ材料の確保、チッソ固定の利用 4. 施肥法の検討——特にリン酸、カリ

人口がふえれば、森林が耕地に変えられるのは、ある意味で仕方がない。しかし、一度耕地に変えられたら、そこが永く生産力の高い耕地であり続けてくれなければいけない。そして生産力の高い耕地を維持できれば、森林の破壊も少なくてすむのである。この意味で森林にかかわる人々にも、熱帯畑作に対する切実な関心をもっていただくようお願いしたい。