

インドネシア・東カリマンタンの焼畑農業に関する 土壌生態学的研究

京都大学農学研究科 舟川晋也

はじめに

これまで東南アジア山間地における主要な農業形態は、数年間の耕作とより長期の休閑を繰り返す焼畑農業であった。しかしながら近年では、人口圧の増大や貨幣経済の浸透に伴う農地の拡大および既存耕地での休閑期間の短縮が広く見られ、焼畑農業の展開が森林破壊の一因ともなっている。森林を保全しつつ住民の生業を確保するためには、一旦開墾した土地を永続的に利用しうるような土地利用体系の確立が不可欠であるが、これまでのところ焼畑農業に代わる低投入型畑作の試みは成功しているとは言い難い。ここでの自然科学研究サイトの問題点として、これら山間地における土地資源の評価が不十分なこと、従来の焼畑農業の生態学的基盤の解明が不十分なことなどが挙げられる。本研究で対象とした代表的な焼畑農耕地帯の一つであるインドネシア国東カリマンタン州においてもこれまでの研究成果は限られており、低地フタバガキ林下の土壌の理化学性を詳細に調べたOhtaら(1992a, b; 1993)の一連の研究、あるいはインドネシア政府による移民政策遂行のための基礎調査(Foreign and Commonwealth Office, England and Department of transmigration, Indonesia 1997)などがあるが、いずれも当地の伝統的土地利用法である焼畑農業について踏み込んで論じているものではない。一方焼畑農業を中心課題とした井上(1995)による社会学的調査の報告には、当地域の焼畑農業における土地利用法など興味深い事実が紹介されており、その詳細な生態学的調査が待たれる。

本研究では熱帯多雨林気候下に位置するインドネシア・東カリマンタンの焼畑農業の土壌生態学的基盤について、モンスーン気候下のタイ国北部と比較しながら検討する。当該地域に分布する土壌の特性を調査すると共に、従来の焼畑農業の生態学的特徴を

物質循環の面から明らかにした上で、今後展開しうる耕地持続型農業が具備すべき生態学的条件を示す。

調査地域の概要

1997年および1998年の乾季末(7月~8月)に、東カリマンタン州マハカム川下流域の焼畑村3村において現地調査および土壌試料の採取を行った。調査地域を図1に示す。当該地域は広く第三紀の堆積岩に覆われている。州都サマリダにおける年平均気温は27.1、年間降水量は2,050 mm(いずれも1991-96年平均)である。調査村の概要は以下の通りである。

ケンディシック村、以下KD村と表記：約200年前に開村されたブヌア・ダヤック人の居住村で、1997年現在56家族人口約300人である。他地域からの移住者が多く、人口は増加傾向にある。マハカム河支流沿いに位置し、乾季には川の水量が減少するためボートでの交通は不可能となる。住民の多くが焼畑農業を行っており、陸稲の他に野菜や果物、ラタン(籐)を栽培している。森林の伐採・火入れ後1年目に陸稲、次いで場所によっては野菜や果物を栽培し、通常2年目



図1 調査地域



写真1 (左) KD村休閑林(後方)および昨年度耕作地(前方)
の景観
(右) KD村休閑林下の土壌断面

は耕さず放置して自然に実ったものを収穫する。除草は必要であれば行うといった程度である。耕地使用に際して10年以上の休閑林を開いていることから、本村には十分な土地資源があるものとみられる。焼畑村としては恵まれた環境にあるといえる。写真1に、KD村休閑林と土壌断面を示したが、このように本村では、20年近く経った休閑林を開くことがふつうである。

ラバフウラック村、以下LU村と表記：約40年前に開村した50家族のクタイ人が住む村である。クタイ人は本来河川沿いの低湿地で生活し、通常山間傾斜地をそれほど利用しないことから、本村の例はかなり例外的なものといえる。サマリダまでバスで3時間程度と、交通の便は非常に良い。町での賃金労働も可能なため、自給自足の生活をしている人は少ないようである。本村でも10年以上の休閑期間を設定し、1年耕作の焼畑農業を行っている。主要作物は陸稲で、商品作物は栽培されていない。一筆の圃場面積は小さく、数家族共同である程度広い面積を耕作することもある。土壌については、砂質と粘土質の土が交互に現れ変化に富んでいる。KD村と比べると、本村の焼畑地における休閑林の回復は遅く、近年かなり耕作圧の大きかったことがうかがわれる。

ティティップ村、以下TT村と表記：マハカム河の支流沿いに位置するブヌア・ダヤックの村で、137名31家族が生活する。車道からは離れており、交通手段としては主にボートが使われている。1997年乾季末からの山火事でカリマンタンの多くの山林が焼けたにもかかわらず、本村ではその影響が比較的少ないようである。ここでも10年以上の休閑をとる焼畑農業が行われている。主要作物は陸稲であるが、続けて乾季にトウモロコシ、キャッサバなどを栽培する例も見られる。耕地の多くを砂質な土壌が占めており、この点で上記2村と異なっている。

以上は土壌調査時の村の様子について述べたものである。KD村とLU村に関しては、1997年7月の調査後、雨季到来の大幅な遅れとそれに伴う大規模な山火事の被害が大きく、98年3月にはほとんど収穫が得られなかったという。そのため98年7月の調査時には、KD村では現金収入を求めての若者の町への流出や他地域へ移住が目立つ状況であった。また休閑林の大部分が焼けており、今日まで維持されてきた焼畑サイクルが一時的にしる中断するのは明らかである。このように、1997/98年を境に、被害状況によっては、村人の生活や焼畑耕作体系に大

きな変化が予想される。

また、本稿で比較対象として論じるモンスーン気候下のタイ国北部の焼畑村は以下の2村である。1)チェンライ県のRP村：モン人居住村で、可耕地の窮迫のため数年の連続耕作を行っている。2)メイ・ホン・ソン県のDP村：カレン人居住村で、1年耕作/8年休閑のサイクルを守っている。これらモンスーン気候下の焼畑の詳細は、これまでの著者らによる報告を参照されたい(Funakawa et al. 1997a,b, 1998; Tanaka et al. 1997, 1998a,b)。

分析項目および方法

前述の3村において、耕作・休閑サイクルの異なるステージにある圃場の土壌表層5cmより土壌試料を採取し、低温・未風乾状態で日本へ輸送後、主として土壌の生物性に関する分析を行った(分析6～9))。また代表地点で土壌断面を作成し、深さ60cmま

での各土壌層位より試料を採取し、やはり日本へ輸出後、風乾土壌試料について理化学性を分析した(分析1～5))。分析項目および方法の概略は以下の通りである。

1)pH(H₂O, KCl): ガラス電極法、2)全炭素・全窒素: NCアナライザーによる乾式燃焼法、3)交換性陽イオン組成(Na, K, Mg, Ca, Al, H)および陽イオン交換容量(CEC)、4)土性: ピペット法、5)粘土鉱物組成: X線回折、6)水分含量、7)微生物バイオマス炭素・窒素・リン含量: クロロホルム燻蒸・抽出法、8)塩可溶性炭素量、9)窒素無機化曲線の作成: 静置培養法による。

結果および考察

1. 土壌の一般理化学性から見た東カリマンタン土壌の特徴

以下、降水量がより小さく乾季の厳しいモンスーン気候下に位置する、タイ国北部山間地の土壌と比較しながら議論を進める。

表1 土壌の一般理化学性

深さ (cm)	pH (H ₂ O) (KCl)		全炭素 ^a	全窒素 ^a	交換性塩基 ^a (Na+K+ Mg+Ca)	交換酸度 ^a (Al+H)	有効陽イオン 交換容量 ^a (ECEC)	陽イオン 交換容量 ^a (CEC)	粒度組成 ^b			
	(g/kg)	(g/kg)	(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(cmol _c /kg)	(%)	(%)	砂	シルト	粘土	
東カリマンタン土壌												
KD11												
0-5	4.46	3.84	30.8	2.6	3.7	5.1	8.8	16.1	33.6	30.3	36.1	
5-10	4.31	3.82	13.7	1.5	1.0	9.9	10.9	12.0	29.4	37.7	32.9	
10-20	4.62	3.89	8.4	1.1	1.0	7.8	8.8	12.1	30.4	31.5	38.1	
20-40	4.63	3.90	7.2	1.0	0.6	9.2	9.8	14.1	25.3	30.3	44.4	
40-60	4.65	3.90	5.1	0.9	0.5	10.9	11.4	17.9	17.7	40.6	41.7	
LU03												
0-5	5.57	5.09	37.9	3.0	27.0	0.4	27.4	27.5	35.7	21.8	42.5	
5-10	5.92	4.91	24.3	2.2	23.0	0.4	23.3	25.0	31.7	22.3	46.0	
10-20	5.81	4.11	15.7	1.5	17.5	2.1	19.6	23.0	29.7	23.7	46.5	
20-40	5.48	3.81	9.3	1.1	8.4	10.4	18.9	25.1	18.7	28.3	53.1	
40-60	5.26	3.78	7.9	1.1	5.7	17.1	22.8	31.2	12.2	21.5	66.4	
LU81												
0-5	4.60	3.69	23.3	1.6	1.1	5.4	6.5	11.7	65.1	12.5	22.4	
5-10	4.59	3.72	15.7	1.2	0.4	6.4	6.8	10.3	62.8	12.1	25.0	
10-20	4.69	3.83	7.3	0.6	0.2	6.1	6.3	8.8	60.9	13.7	25.4	
20-40	4.79	3.83	5.4	0.5	0.2	6.3	6.4	8.0	57.7	12.0	30.3	
40-60	4.82	3.81	4.5	0.4	0.1	7.6	7.8	12.0	52.9	13.2	34.0	
北タイ土壌												
DPC2												
0-10	6.39	5.03	35.3	2.4	7.0	0.5	7.1	15.0	37.2	27.1	35.7	
10-20	5.90	4.56	24.3	1.8	3.7	1.3	4.4	12.4	34.2	25.5	40.2	
20-30	5.61	4.49	15.3	1.2	2.1	2.1	3.4	9.4	32.2	27.0	40.8	
30-40	5.68	4.45	12.3	0.9	1.9	1.5	2.9	8.7	34.0	24.9	41.2	
40-50	5.65	4.56	12.2	1.0	1.8	1.7	2.9	9.3	31.9	26.1	41.9	
RPF2												
0-10	7.50	7.09	41.9	3.3	35.8	0.3	35.8	20.9	18.6	32.3	49.1	
10-20	6.38	5.55	20.0	1.9	8.1	0.2	8.1	16.5	14.9	31.2	53.9	
20-30	5.19	4.44	13.1	1.4	3.9	0.7	4.3	10.5	18.0	29.6	52.4	
30-40	5.18	4.16	11.2	1.2	2.2	2.3	4.0	11.6	15.9	25.0	59.1	
40-50	5.10	4.16	10.7	1.2	1.4	2.9	3.6	10.6	20.1	28.8	51.1	
50-60	5.13	4.05	11.4	1.1	1.1	3.1	3.5	13.7	19.4	27.6	53.0	

^a絶対乾土あたりに換算。

^b砂: 2-0.02mm、シルト: 0.02-0.002mm、粘土: <0.002mm。

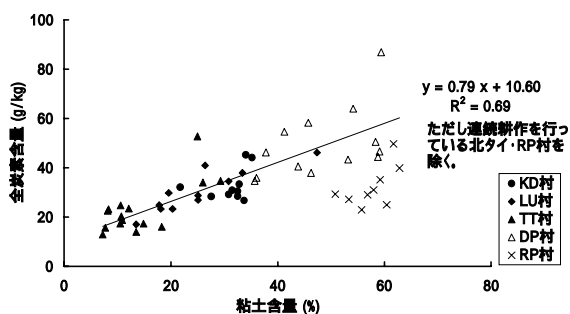


図2 表層土壌の粘土含量と全炭素含量

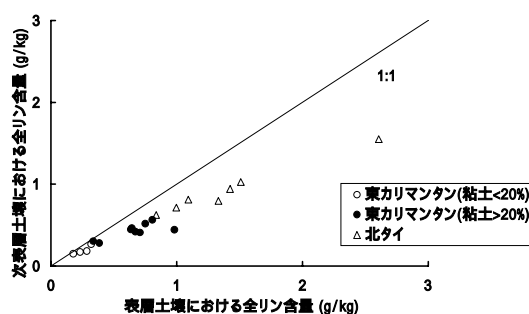


図4 土壌の全リン含量

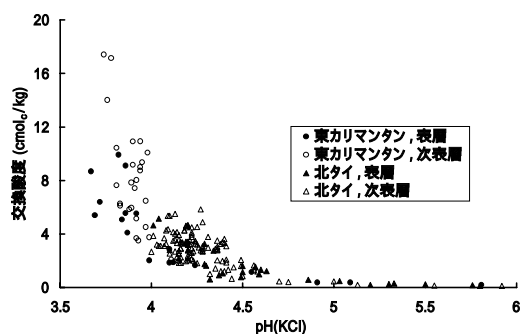


図3 土壌のpH(KCl)と交換酸度 (Al+H)

表1に代表土壌断面の理化学性を、また図2・3に表層土壌(0-10 cm層位)の理化学性のうち、土壌の粒度、全炭素含量、土壌酸性に関する項目を示す。表1に示したように、東カリマンタンの土壌では、表層土から下層土に向けての粘土(粒径0.002 mm以下の画分)含量の増加、すなわちUltisolの生成が顕著である。東カリマンタン表層土壌は、北タイ土壌と比べて粘土含量が低く、これを反映して土壌有機物含量(湿潤条件下では炭素=有機炭素と考えてよい)も低くなっている(図2)。また東カリマンタン土壌では、特に次表層土で土壌pHが低く、交換酸度の蓄積が大きい(図3)。一般に植物の必須元素を構成する土壌の無機成分のうち、特にCaとPは、土壌/植生間の物質循環を通して、表層土壌に集積される傾向が強い。実際図4に示されるように、表層土壌の全P蓄積量は次表層土に比べて大きいのであるが、その含量は、北タイ土壌と比べ東カリマンタン土壌、特に粘土含量の低い砂質土壌で低くなっている。東カリマンタン土壌において表層土が土壌侵食などで失われた場合、Pなどの養分元素のロスというダメージはよ

り大きいであろう。

2. 土壌鉱物に関する性質

土壌中のコロイドとしてもっとも活性な成分である粘土のX線回折図を図5に示した。タイ国北部土壌が雲母鉱物(回折線は1.0 nm)とカオリン鉱物(回折線は0.7 nm)の混合物であるのに対して、東カリマンタン土壌には、表面荷電が大きく活性な2:1型鉱物であるスメクタイト粘土(回折線は1.4 nm)を相当量含むものが多い。これまで当該地域の土壌にはカオリン鉱物主体のものが多いという報告があるが(Ohta et al. 1993)、今回これと異なる結果が得られたのは、おそらく本研究で扱った焼畑耕地/休耕地の多くが河川に隣接する、多少なりとも沖積性の地形上に位置していたためかもしれない。スメクタイト粘土は高い分散性を示し、容易に侵食されるとともに、土壌孔隙を埋めるなど物理性の悪化に結びつきやすい性質を有し、その扱いには注意が必要である。

一般に土壌コロイドの負荷電発現(陽イオン交換容量(CEC))に寄与する成分として、有機物成分の酸性官能基(主としてカルボキシル基・フェノール性水酸基)と、スメクタイト、雲母鉱物のような2:1型粘土鉱物表面の負荷電がある。調査土壌におけるこれら両成分の相対的な寄与を評価するために、図6に全炭素含量と粘土あたりのCECをプロットし、その関係を北タイ土壌、東カリマンタン土壌について検討した。いずれの土壌においても全炭素含量と粘土あたりのCECの間には、傾き0.62および0.69 (cmol/g炭素)で正の相関関係が見られ、有機炭素1

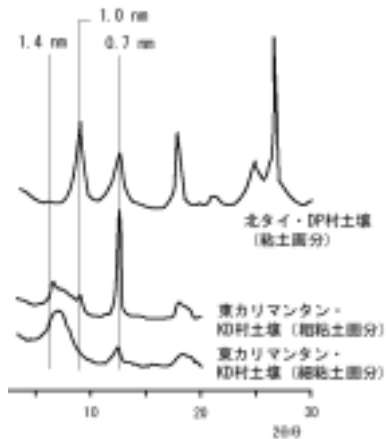


図5 調査土壤粘土画分の代表的なX線回折図

molあたりCECとして7~8 cmolの寄与がある、すなわち有機炭素12ないしは13原子に1つ酸性官能基が存在するものと推定される。これらの値は、これまで土壤腐植の酸性官能基量として報告されてきた値とほぼ一致する(Jenkinson 1988)。一方これら回帰直線のy切片を粘土固有のCECと考えれば、非常におおざっぱではあるが、北タイ土壤では約15 cmol/kg、東カリマンタン土壤では約31 cmol/kgという値が得られ、先にX線回折で見た両土壤の主要鉱物種の組成と矛盾のない結果が得られる(各種粘土鉱物のCECについては、和田(1997)を参照)。すなわち東カリマンタン土壤では、2:1型スメクタイト粘土が高い負荷電発現量(CEC)に寄与していると結論づけられる。ここで注意すべきは、一般にはCECの大きな土壤は肥沃な土壤と捉えられがちであるのに対し、東カリマンタン土壤のような強酸性土壤では、交換性陽イオンの多くが植物に有害なAlであること(表1)、そして高い2:1型鉱物由来のCECがそのまま極めて高い交換酸度(Al+H)の保持に結びついていること(図3)である。本地域土壤を、一般の畑作物栽培に好適な程度まで酸性矯正するには大変な投入を必要とするであろうし、低投入型農業においては現実的な対応ではないともいえる。

3. 土壤微生物バイオマスおよび土壤有機物・窒素無機化過程の解析

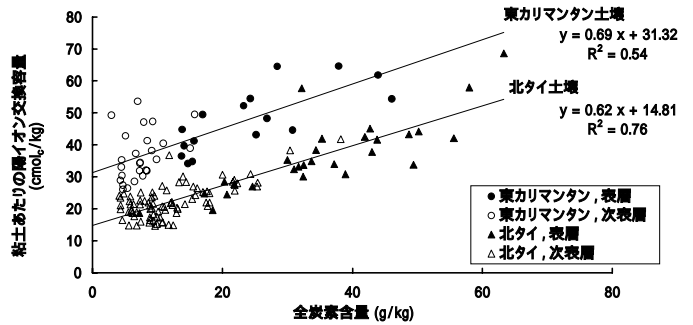


図6 土壤の全炭素含量と粘土あたりの陽イオン交換容量

土壤の微生物バイオマスは、現存量では土壤有機物含量の数%程度とさほど大きくはないものの、その活発な代謝・回転速度から、土壤中の養分循環の「エンジン」役にもたえられている。特に土壤構造の維持や養水分の保持という点で重要な役割を果たす有機物画分の動態や、植物の多量必須元素である窒素化合物の蓄積・放出を規定する要因として重要であると考えられる。本項では、これら土壤有機物関連資源の動態について検討する。

図7に、土壤微生物バイオマスおよび易分解性有機物の指標としての塩可溶性炭素量をプロットした。いずれの試料も、乾燥のもっとも厳しい乾季末(北タイでは3月、東カリマンタンでは7~8月)に採取したものである。モンスーン気候下のタイ国北部土壤が、高い基質量(易分解性炭素)と、乾季末の低水分条件を反映した比較的低い微生物バイオマス量によって特徴づけられるのに

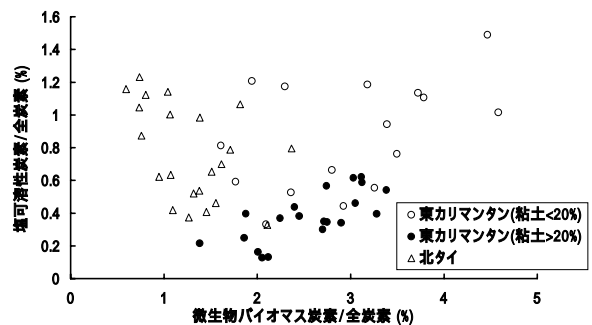


図7 微生物バイオマスおよび易分解性有機物が全有機物に占める割合

対し、東カリマンタンの粘土質土壌では、相対的に低い基質量と高い微生物バイオマス量が特徴的である。後者において、年間を通して活発な土壌生物の活動が想定されるとともに、土壌有機物の分解速度がかなり大きいものと推察される。

図8に、未風乾土壌の定温・定水分条件下における静置実験による窒素無機化パターンを示した。一般に有機態窒素の無機化は、有機態(アミノ態)窒素 アンモニア態窒素 硝酸態窒素の順を追って進行する。一段階目の反応では1 molのOH⁻の放出を、二段階目の反応では2 molのH⁺の放出を伴い、全体としては土壌の酸性化を進行させる反応である。通常の好気的な畑条件下では二段階目の硝酸化成が速やかに起こり、アンモニア態窒素の蓄積は見られない。一方森林土壌では、硝酸化成は比較的起こりにくいとされる。図8の北タイ土壌では、アンモニアの蓄積は見られず、窒素無機化および硝

酸化成が速やかに進行している。これに対し東カリマンタンの例では、耕作直後の土壌では硝酸化成まで進むものの、休閑林下ではアンモニア態窒素の蓄積が顕著である。特に休閑中期(5年休閑林)では、事実上窒素無機化がほとんど進行していないように見える。この理由として、1)易分解性有機物がほとんど存在しない、2)強酸性条件を反映して硝酸化成が進みにくく、相対的に無機化されたアンモニアの土壌微生物による取り込み(再有機化)が卓越する、のいずれかが考えられる。その結果図9にまとめたように、特に東カリマンタンの中～細粒質土壌では、耕作/休閑の全ステージにわたって、無機化窒素放出量が北タイ土壌と比べて低くなっている。おそらく実際の圃場でも植物に利用可能な窒素成分の放出は限られているものと思われる。これは作物生育の面から見れば負の要因であるが、強酸性土壌のこれ以上の酸性化(塩基の対陽イ

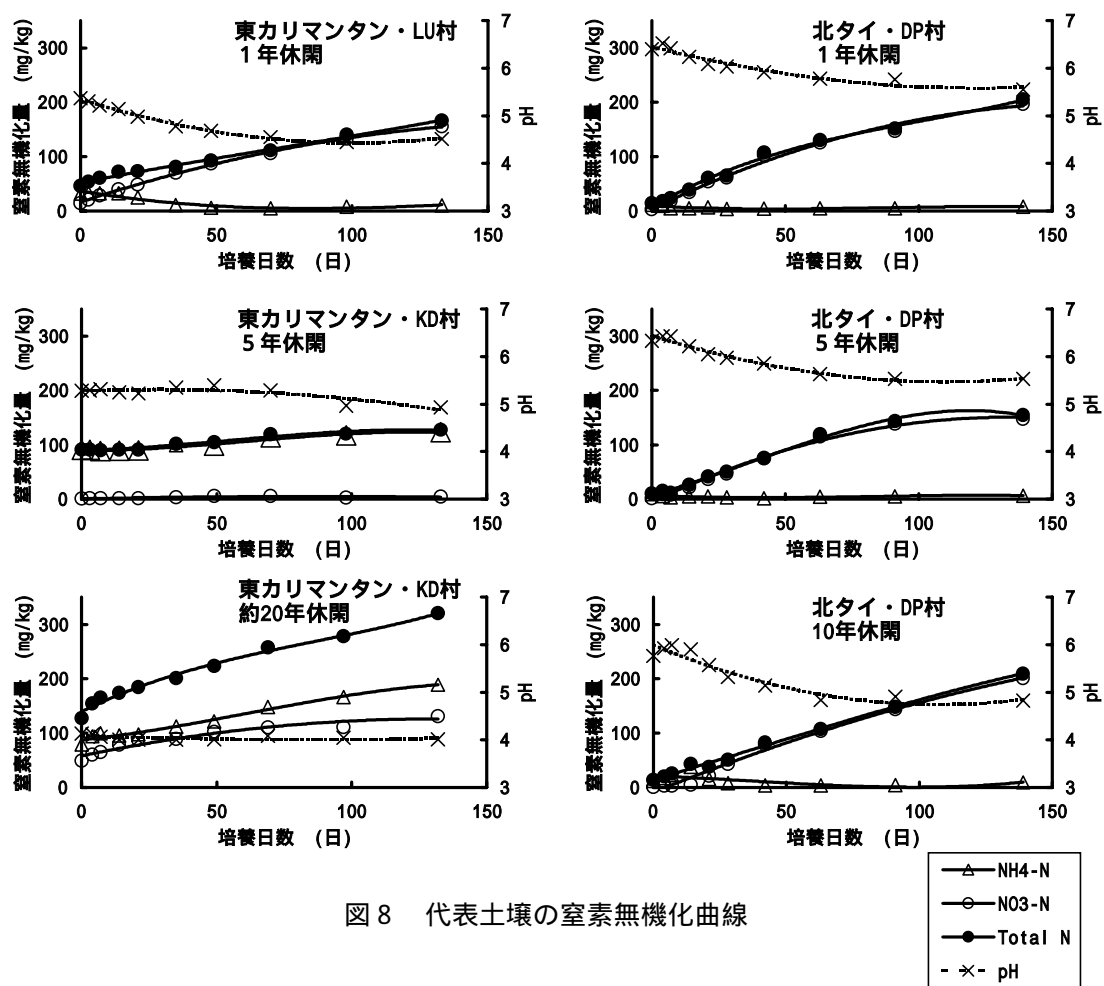


図8 代表土壌の窒素無機化曲線

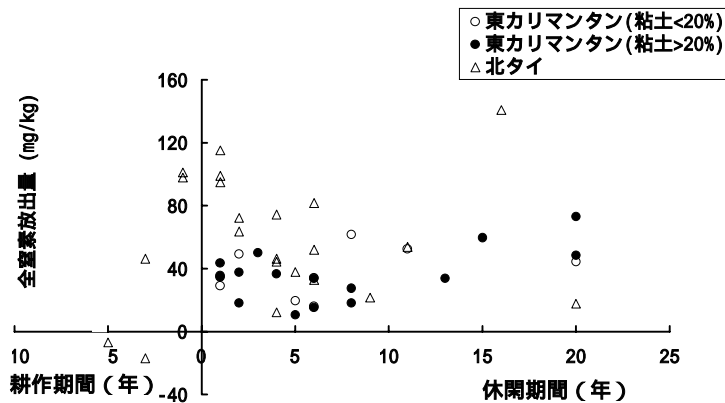


図9 35日間インキュベーションによる全窒素放出量

オンとしての放出・流亡)を起こしにくいという意味では、土壌/植生生態系が備えた劣化に対する防御機構と見なすこともできる。一方砂質土壌(主にTT村)では、土壌有機物中の易分解性画分の割合(塩可溶性炭素/全炭素(図7)および無機化窒素/全窒素)が大きく、これらの成分が土壌から失われやすい、すなわち耕作期間中の地力消耗が激しいものとみられる。いずれにしても、高い窒素栄養を要求する集約的農耕には不向きな生態系であるといえる。

まとめ

熱帯多雨林気候下に位置する東カリマンタンの焼畑農業地帯の土壌基盤を、モンスーン気候下のタイ国北部と比較してまとめてみれば、以下ようになるであろう。

1) 湿潤多雨の気候を反映して、東カリマンタン地域の土壌の方が、より強酸性である。

2) 母材条件を反映して、東カリマンタン地域では、特に河川近くでCECの大きなスメクタイト粘土が相当量存在する。1)の条件とも相まって、土壌はきわめて大きな交換酸度を保持することになる。

3) 塩基・リンともに、東カリマンタン土壌では現存量が小さい。

4) 乾季末で比較すると、北タイ表層土壌が、比較的高い易分解性有機物含量と低い土壌微生物バイオマス量によって特徴づけられるのに対して、東カリマンタン表層土壌では、易分解性有機物量が小さく、微生物バイオマスが大きい。東カリマンタン土

壌における有機物関連資源の、年間を通しての活発な代謝・回転が示唆される。

5) 東カリマンタン土壌では、窒素無機化過程ないしは硝酸化成が緩慢である。易分解性有機物の少なさ、あるいはアンモニアの微生物による取り込みが硝酸化成を上回ることにより起因するものと見られる。

これら所与の条件に対し、従来の焼畑農業では、1)多量の灰による無機養分の投入、2)焼土効果による窒素の投入、3)低い土地利用(耕作/休閑年数比)による土地劣化の回避など、いわば長期の休閑期間ないしは休閑林バイオマスへの依存度の大きな物質循環系を構築することによって、作物生産をあげてきたのであろう。これは、比較的良好な土壌の肥沃度を引き出すことを主眼にし、耕地利用の際の植生の攪乱や土壌有機物の消耗を最小限とすることを意識した北タイ・カレン人の休閑10年以下の焼畑農業と比較してみると対照的である。そしてこのように見てみると、東カリマンタン低標高地帯において、休閑林の役割に期待しないような集約的な畑作を発展させる余地は小さいといえよう。土壌資源の側の主要な問題点としては、1)強度・容量ともに大きな土壌酸性、2)低い土壌有機物含量に加えて、その分解速度がかなり大きいと見られること、3)塩基、リン、窒素いずれの供給力も小さいと見られること、4)土壌侵食など、土壌の物理的な劣化に対して脆弱であろうと予想されること、などが挙げられる。

今後、低投入型の第一次生産を主要な生産とする限りにおいては、無謀な開拓や土

地利用の集約化を避け、森林資源の持続的利用と粗放な従来型焼畑の維持を基本的な戦略とするのが適切であると思われる。その上で可能であれば、比較的土壌生産性の高い低地を優先的に開発しながら、部分的に都市近郊型農業の展開を考えるべきであろう。そして傾斜地利用の際には、砂質土壌の酸性を改良した上で、土壌物理性改善のための有機物資材や化学肥料を投入する方が、粘質な強酸性土壌をあえて利用するよりは、現実的な選択であると思われる。

謝 辞

本研究は、アサヒビール学術振興財団より研究助成を受けて遂行された。また現地調査に際しては、インドネシア国ムラワルマン大学講師 Makhrawie 氏、同国ポゴール農科大学講師 Heru Bagus Pulunggono 氏に、採取試料の分析では京都府立大学農学研究科の上田恒平氏、京都大学農学部の南隆昭氏にご協力頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- Foreign and Commonwealth Office, England and Department of transmigration, Indonesia 1997: Regional physical planning programme for transmigration, volume 1 and 2 (pp.310)
- Jenkinson, D.S. 1988: Soil organic matter and its dynamics. *In* Russell's soil conditions and plant growth, 11th edition, pp. 564-607. (Ed.) Alan Wild, Longman Scientific and Technical, UK
- Funakawa, S., Tanaka, S., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K. 1997a: Physicochemical properties of the soils associated with shifting cultivation in northern Thailand with special reference to factors determining soil fertility. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43**(3), 665-679
- Funakawa, S., Tanaka, S., Shinjyo, H., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K. 1997b: Ecological study on the dynamics of soil organic matter and its related properties in shifting cultivation systems of northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43**(3), 681-693

- Funakawa, S., Yonebayashi, K., Kaewkhongkha, T., and Makhrawie 1998: Soil ecological study on shifting cultivation in Southeast Asia. *In* Summaries of 16th World Congress of Soil Science, Vol II. p.517, Montpellier, France
- 井上 真 1995: 焼畑と熱帯林、pp.176、弘文堂
- Ohta, S. and Effendi, S. 1992a: Ultisols of "Lowland *Dipterocarp* Forest" in East Kalimantan, Inonesia, I. Morphology and physical properties. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **38**(2), 197-206
- Ohta, S. and Effendi, S. 1992b: Ultisols of "Lowland *Dipterocarp* Forest in East Kalimantan, Inonesia, II. Status of carbon, nitrogen, and phosphorus. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **38**(2), 207-216
- Ohta, S., Effendi, S., Tanaka, N., and Miura, S. 1993: Ultisols of Lowland *Dipterocarp* Forest in East Kalimantan, Inonesia, III. Clay minerals, free oxides, and exchangeable cations. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **39**(1), 1-12
- Tanaka, S., Funakawa, S., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K. 1997: Soil ecological study on dynamics of K, Mg, and Ca, and soil acidity in shifting cultivation in northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43**(3), 695-708
- Tanaka, S., Funakawa, S., Kaewkhongkha, T., and Yonebayashi, K. 1998a: Labile pools of organic matter and microbial biomass in the surface soils under shifting cultivation in northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**(4), 527-537
- Tanaka, S., Funakawa, S., Kaewkhongkha, T., and Yonebayashi, K. 1998b: N mineralization process of the surface soils under shifting cultivation in northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**(4), 539-549
- 和田信一郎 1997: 土壌の化学性、最新土壌学(久馬一剛編)、pp. 73-95、朝倉書店