

タイ国北部およびインドネシア国東カリマンタン州における

焼畑農業に関する土壌生態学的比較研究

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。従来の伝統的な焼畑農業を耕作システムとして捉える場合、英語で与えられる「shifting cultivation」という語の方がより適切であろうが、これは一般的には以下のような耕作 / 休閑システムとして理解されている。

「焼畑農業は、主として熱帯など肥沃度の低い土壌の上で、無施肥・無農薬の低投入条件で行われる粗放な農業である。通常二～三年以下の耕作期とより長期の休閑期間を設定し耕地を循環利用するが、時に数年の耕作の後耕地を放棄し新たな土地を開墾することもある。耕作に際して、塩基・リンについては休閑植生(森林、叢林、草地など)を焼却することでこれらを放出させ、また窒素に関しては焼土効果により無機化させて利用する。したがって、満身に収穫を得るには、休閑植生中への養分の蓄積ないしは表層土壌の肥沃度の回復(有機物の増加)を確保するだけの十分な休閑期間が不可欠である。また十分な休閑は、耕作期間中の雑草害を回避するためにも必要である。」

したがって焼畑農業によって単位面積当たり扶養できる人口は、必然的にかなり小さいものとならざるをえない。今日いわゆる第三世界の多くの国々で、このような焼畑農業が森林破壊の元凶とされ、焼畑民の定住化や代替農法の導入が広く図られている。その理由付けや契機については、政治的・社会的に様々なレベルでの説明がなされており、ここで一般的な議論としてその可否を問うことは、筆者としてはとりあえず留保したい。ただ例えば本論で扱うタイ国北部における現状に関して言えば、従来の焼畑民の活動に加え、第二次世界大戦後には低地タイ農民の山間地への進出および一連のインドシナ戦争・ラオス内戦の余波を受けてのモン人などの流入という、当該地域の急激な人口増をもたらす出来事があり、それに伴う焼畑農業の拡大が森林・土地資源の劣化に影響を及ぼした面は大きかったといえよう。さらに近年の急速なタイ国経済の発展が、道路などインフラの整備や貨幣経済の浸透を通して、山地の生活、ひいては焼畑の耕作様式そのものにも大きな変化をもたらしつつあることも指摘しておく必要がある。いずれにしても、タイ国北部においては、可耕地の窮迫と耕作圧の増大が、従来型の焼畑農業においてさえも深刻な問題となっている。

一方インドネシア国東カリマンタン州において

は、商業伐採などによる森林の減少が見られるものの、全体としては未だに人口密度はそれほど高くなく、人口圧による焼畑農業の危機という図式は必ずしも当てはまらない。ただ奥地の住民がより便利な生活を求めて河川下流域に移住したり、あるいは政策的にジャワ島など外部からの移住が大規模に実施されることによって、沿岸地域・河川下流域を中心に人口密度の高まりが顕著な地域が見られることも事実である。そしてこれらの地域では、土地利用法など従来の焼畑システムが変容しつつあるケースも報告されている。

これらの問題は、単に焼畑農業に内在的な問題(自然人口増による破綻など)としてではなく、むしろ平地民との関係の変化など同時代の社会状況と密接に関連した現象として捉えられるべきであろう。焼畑農業について森林破壊や環境問題から説き起こし、これを一方的に問題視するのではなく、現代社会の諸関係の中に山間地農業(第一次産業)の存立基盤を確立することによって森林・生態系資源の保全と両立させよう、というのが筆者の基本的なスタンスである。

本稿では、顕著な乾季を持つモンスーン性気候下にあるタイ国北部の焼畑農業と、基本的に年中湿潤な多雨林気候下に位置するインドネシア国東カリマンタン州の焼畑農業の違いを、土壌資源あるいは物質動態などの観点から生態学的に明らかにした上で、これらの地域における第一次生産の将来的な発展の方向を展望することを目的とする。

調査地域の概要

1. タイ国北部山間地

東南アジア大陸部の地理を把握しようとするとき、おそらく多くの方は、現在の国境線に基づく、ベトナム、ラオス、タイ、ビルマといった区分を思い浮かべるのではないだろうか。しかしながらそこに居住する人々の生業・生活様式といった点から見てみれば、今日では各国家の多数派を形成している平地部の水稻作農耕民の生活圏と、いわゆる「辺境」の山間地で焼畑農業を営む少数民族の生活圏という、ふたつの対照的な世界として捉えることができる。そしてこの山間地焼畑民の生活の場は、東はベトナム北部から、ラオス、タイ北部、中国西南部、ビルマ東・北部を経て、インド最東部に至るまで東西に回廊のごとく連なっている。タイ国北部は、この照葉樹林帯～亜熱帯モンスーン帯山間地の南のへりにあたり、山地中心部より押し出されてきた焼畑農耕民が平地民と接す

る「フロンティア」である。そこでの農耕様式は、北西部のカレン人・ルア人らによる一年限りの耕作(陸稲)と比較的短期(十年以下程度)の休閑を繰り返す定着型焼畑と、モン・ヤオ・リス・ラフ・アカなど最北部～北東部の山地諸民族やタイ人による、数年間にわたる陸稲および商品作物の栽培の後休閑ないしは時に土地の放棄に至る焼畑に大きくは二分されるといってよい。

北東部に多いモンなどの民族は、これまでケシ栽培を行う民族として広く知られてきた。ケシは、北部タイでいえば、標高千メートル以上の比較的冷涼な、しかも石灰岩母材の酸性の強くない土壌で好んで栽培される。これらケシ栽培も含めて、従来彼らは、新しく耕地を開いてから数年間商品作物ないしは陸稲を栽培し、土地が疲弊すると耕地を移し、ときにはそれに伴って移住するといった土地利用を行ってきたようである。このタイプの焼畑は「略奪的焼畑」と呼ばれ、評判は芳しくない。しかしながら、例えば彼らのうち最大の人口を擁するモン人の歴史は過酷である。元来中国南部の水田地帯で「苗族」として知られていた彼らは、度重なる中央政府の弾圧を受け山地に上り、戦乱のベトナム・ラオスを経て北タイに至ったものである¹⁾。いわゆる「略奪的な」土地利用法には、彼らの背負っている歴史 - - 常に移住を余儀なくされてきた - - がその背景にあるといえる。彼らタイ北東部焼畑民の定着型焼畑としての歴史は浅い。タイ国政府によるケシ栽培禁止の圧力が強くなってきた近年でも、彼らの間では商品作物の栽培が主流である。このラオス方面からタイ北部へのモン人の流入はごく最近まで大きなものがあり、正確な統計を待たなければならぬが、低地からのタイ農民の流入と並んで、近年のタイ北部山間地東部地域における耕作圧増大の主要な原因のひとつであったと思われる。

一方北西部のカレン人やルア人は、比較的長期にわたって当該地域およびビルマ東部に居住してきた民族であり、人口増による分村などといった事情があったらうにせよ、少なくとも今世紀に入ってから、その農地を継続的に使用しようとしてきた歴史がある²⁾。今日メイホンソン県東部のカレン人の間で見られる土地利用は、「一年耕作/四～八年程度の休閑のサイクルで陸稲を中心に作付けし、商品作物の栽培はそれほど多くはない」といったところであろう。人口が増えてきたり、あるいは可耕地が減少してきた場合、彼らは耕作期間を二年以上に増やすよりは、まず休閑期間を短縮するようであり、基本的に複数年耕作を回避する傾向が強いといえる。その理由として、耕作二年目以降の雑草害の深刻さを挙げる農民が多く、中には土地の疲弊を挙げるものもいた。

本論では、チェンライ県ラクペンディン村(タイ人・モン人居住村、以下RP村)、メイホンソン県ホエイマッカヌン村、ドゥラパ村およびポーソエ

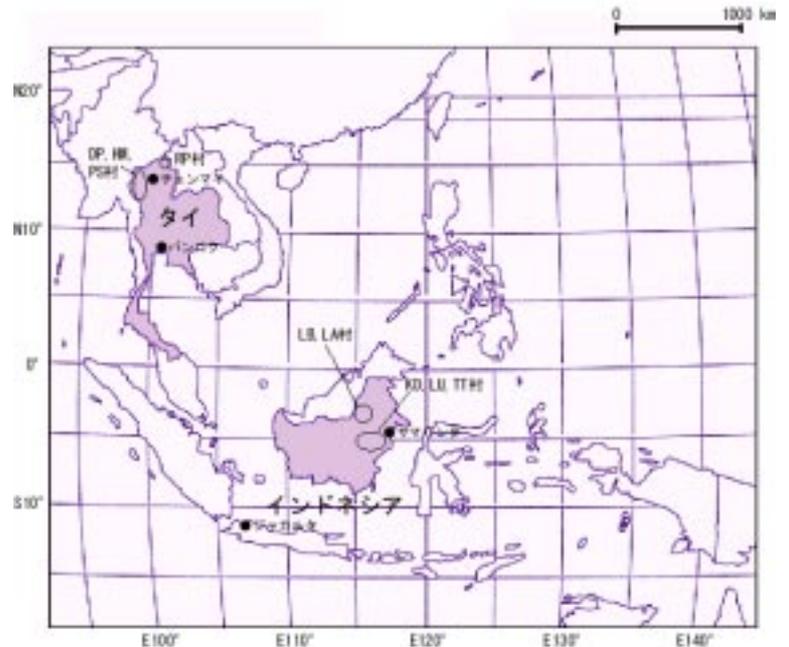


図1 調査地

村(カレン人居住村、以下HM村、DP村、PS村)において、一九九二年以降数次にわたって行った調査の結果に基づいて論じる。図1に調査村の位置を、表1にその概要を示す。本地域は、年間降水量の大部分が四月から一〇月の雨季に集中する、典型的なモンスーン性気候に属している。また本地域の山間傾斜地は、地質的には古生界の細粒質堆積岩の中に花崗岩が貫入してくる形となっており、地形は急峻で、焼畑耕地の傾斜はしばしば三〇度を超える。

RP村は、タイ人とモン人が混住したユニークな村である。ラオス国境に近いこの地域では、一九六〇年代以降一九八〇年頃までタイ国軍と共産ゲリラとの間で度々衝突が繰り返されてきた。衝突終結後、タイ国軍が治安維持を目的として再定住政策を立案し、一九八二年にタイ人50家族の入植によりRP村が開村された。当初は全員タイ人(50家族)であったが、一九八七年頃からモン人とタイ人の交代が始まり、調査時の一九九三年における人口構成はモン人270人(39家族)とタイ人65人(17家族)であった。本村では、若干の水田を除いて焼畑耕作が行なわれている。一九九二年には主食である陸稲および商品作物であるトウモロコシが作付面積の約四分の三を占める一方、商品作物としてショウガ、キャベツなどが栽培されていた。周辺の森林は既にほとんど消失している(写真1)。耕地の標高は約500～550mであり、古生界頁岩を母材とする細粒質の土壌が広く分布している。本村では、一九八九年以降、タイ・日本両国研究者による耕地生態と村落社会に関する共同研究が継続されており、その成果の一部は既に報告されている³⁾。

HM村は、メイホンソン県メイサリアン郡に位置する、人口およそ三〇〇人のカレン人の村である。



写真1 雨季の北タイ RP 村耕地

主要作物は陸稲である。近年この村でも人口圧の増大が深刻で、休閑期間も四年程度へと短縮を強いられているが、それでも一年間耕作した後は休閑するというサイクルを守っている。そのためか休閑林の再生は速く、RP村のように休閑地を雑草が占めてしまうような光景は見られなかった。この村の領域はほとんどが花崗岩に覆われており、一見したところでは土壌侵食の危険性が高いように見受けられた。商品作物として主にキャベツが栽培されているが、村人の話によれば、この村はキャベツ栽培を行うには標高が低すぎる(700 ~ 850 m) そうである。

DP村もメイホンソン県メイサリアン郡のカレン人の村である。人口はおよそ二〇〇人で、現在でも一年耕作 / 八年休閑のサイクルを守っている。ここでも主要作物は陸稲で、商品作物としては道路沿いでわずかに大麦、キャベツなどを栽培する程度である。村の近傍には天然生に近い景観を持つ森林を残しながら、村からやや離れたところで焼畑耕作を行っている(写真2)。本村周辺の表層地質は複雑で、細粒質堆積岩と花崗岩がモザイク状に分布している上に、一部接触変成の影響が見られる。本村耕地の標高は1,100 ~ 1,300 m とかなり高く、RP村と比べると気候はより冷涼である(表1)。また本村においては、谷沿いの棚田で水稲耕作が行われている。一方同じカレン人でも、「平地カレン」とよばれる人々の住むPS村は、メイホンソン県最西部のビルマ国境近くのサルピン川支流沿い低標高地(200 m程度)に位置している。約70家族320人ほどが生活し、水田を相当持っているせいか、焼畑の占める重要性は相対的に小さいようである。四~五年の休閑が一般的だという。

2. インドネシア国東カリマンタン州

本地域の焼畑農業に関するこれまでの研究成果には、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らの一連の研究⁴⁾、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⁵⁾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



写真2 北タイ DP 村周辺の景観

ものではない。一方焼畑農業を中心課題とした井上⁶⁾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、さらに詳細な生態学的調査が待たれる。

本地域の焼畑農業は、ここ数世紀間のダヤック系諸民族の移住の経緯から見て、元々中央高地付近で行われていたものが、近年低標高地に広がったものと考えてよいかもしれない。特に二〇世紀後半には、便利な生活を求めて、奥地からマハカム川などの河川下流域あるいは沿岸地域へ顕著な人口流出が見られたようである。本研究では、一九九七年および一九九八年の乾季末(七月~八月)に、東カリマンタン州マハカム川中~下流域の焼畑村三村(ケンデシック村(以下KD村)、ラバフウラック村(以下LU村)、ティティップ村(以下TT村))において、また一九九九年七月にはマレーシア国サラワク州との国境近くの、通称アポカヤン地区の二村(ロングベタオ村(以下LB村)、ロングアニエ村(以下LA村))において現地調査ならびに試料の採取を行った。調査地域を図1に示す。当該地域は、地質的には広く第三紀の堆積岩に覆われており、粗粒質および細粒質堆積岩の互層に石灰岩が時折混在する。一般にマハカム川中・下流域の景観は、緩やかな起伏の丘陵/低地が繰り返される地形に代表され、焼畑耕地の傾斜もそれほどきつくない(二〇度以下)。そのため土壌も侵食などの影響をあまり受けていないようであり、土壌断面内の粘土の機械的な移動・集積もはっきり見られる。一方、アポカヤン地域は河川上流域に位置することもあり、一般に山腹の傾斜地は急峻である。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(いずれも一九九一~一九九六年平均)であるが(表1)中央高地のアポカヤン地域では降水量はこれよりはずっと大きくなるようである。調査村の概要は以下の通りである。

KD村は約二〇〇年前に開村されたブヌア・ダヤック人の居住村で、一九九七年現在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

表1 調査地の概要

調査村	所在地	地質	標高 (m)	民族構成	年降水量 (mm)	年平均気温 ()
ラクペンディン村 (RP村)	タイ国チェンライ県 N19°49', E100°22'	堆積岩	500 ~ 600	タイ及び モン	1750	24.5
ホエイマッカヌン 村(HM村)	タイ国メイホンソン県 N18°20', E98°00'	花崗岩	500 ~ 600	カレン	-----	-----
ドゥラパ村 (DP村)	タイ国メイホンソン県 N18°24', E98°05'	堆積岩 及び花崗岩	1000 ~ 1200	カレン	1400	21.4
ポーソエ村 (PS村)	タイ国メイホンソン県 N18°20', E97°41'	花崗岩	約 200	カレン	-----	-----
ケンデシック村 (KD村)	インドネシア国東カリマン タン州 S00°53', E115°57'	砂岩・ 泥岩(細粒)	< 100	ブヌア・ ダヤック	2270 (ムアラ・パフ)	-----
ラバフウラック村 (LU村)	インドネシア国東カリマン タン州 S00°22', E116°44'	砂岩・ 泥岩互層	< 100	クタイ	2050 (サマリダ)	27.1
ティティップ村 (TT村)	インドネシア国東カリマン タン州 S00°33', E115°43'	砂岩	< 100	ブヌア・ ダヤック	2270 (ムアラ・パフ)	-----
ロングベタオ村 (LB村)	インドネシア国東カリマン タン州 N01°48', E114°50'	砂岩	600 ~ 700	クニャ・ ダヤック	-----	-----
ロングアニエ村 (LA村)	インドネシア国東カリマン タン州 N01°45', E114°58'	安山岩	600 ~ 700	クニャ・ ダヤック	-----	-----

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・火入れ後一年目に陸稲、次いで場所によっては野菜や果物を栽培し、二年目には通常陸稲の作付けは行わない。除草は必要であれば行うといった程度である。耕地使用に際して十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3)。

LU村は、約四〇年前に開村された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三時間程度と、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。本村でも十年以上の休閑期間を設定し、一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。またしばしば石灰岩の影響も受けているようである。KD村と比べると、本村の焼畑地における休閑林の回復



写真3 東カリマンタンKD村の休閑林
(20年以上)



写真4 東カリマンタンLB村の河川沿い
焼畑休閑地

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。

TT村は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。一九九七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。ここでも十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。耕地の多くを砂質土壌が占めており、この点で上記二村と異なっている。

LB村・LA村は、東カリマンタン州の州都サマリダからの交通手段が小型プロペラ機のみという遠隔地である中央高地のアボカヤン地域に位置している。消費物資はすべて航空輸送のため、物価は非常に高い。またこの地域は市場から遠いため、商品作物の生産はほとんど行われず、住民は生活に必要な現金収入を、主としてマレーシア側サラワク州への出稼ぎによって得ている。したがって本地域の焼畑農業は、商品作物との耕地の重複・競合などといった直接的な意味においては、市場経済の圧迫を免れている。しかしながら、例えば出稼ぎによる若年農業労働者の不足などという形で、間接的に市場経済浸透の影響を被っているともいえる。

LB村の耕地は、主として砂岩系の堆積岩を母材とする土壌に覆われている。焼畑耕作地として利用される土地は、通常斜度が三〇度に達する傾斜地であるが、しばしば河川沿いの小規模な沖積地も積極的に利用されていることから、本研究では、傾斜地と河川沿い平坦地の双方で調査を行った(写真4)。一方LA村の位置するカヤン川最上流地域は、カリマンタンでは珍しい安山岩質の火成岩起源土壌に覆われた地域である。人口減少が著しく、近年では比較的限られた範囲に分布する耕地を十年程度の休閑期間で利用している。

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、一九九七年七月の調査後、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、一九九八年三月にはほとんど収穫が得られなかったという。そのため一九九八年七月の調査時には、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、一九九七/九八年を境に、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。

タイ国北部および東カリマンタンにおける生産基盤としての土壌の理化学性

1. 土壌の肥沃度とは？

本論の冒頭で、焼畑が多く行われている熱帯の土壌は一般に低肥沃度である、といった趣旨のことを述べたが、そもそも土壌の肥沃度とはどう捉えられるのであろうか。焼畑生態系に関する議論に先立って、その概略を以下に述べる。

土壌を作物生育を支える培地として眺めた場合、その肥沃度論的意義は、ごく大雑把には、土壌の透水性、保水性、堅さなどの物理性と、養分の含量やその保持能などに代表される化学性に分けられる。そしてこれらの影響のもとに、各土壌生態系に特有な土壌微生物や植物などから成る生物相が構築され、これがまた土壌の化学性や物理性に影響を及ぼすといった関係にある。

物理性の良好な土壌とは、水持ちがよく、しかも透水性がよい、また適度なやわらかさを持ち、侵食に対する抵抗性がある、などといった特徴をもつ土壌であり、これらの性質は、主として土壌の有機物含量や土壌構成粒子の細かさ(粒度組成⁷⁾)などによって規定される。一般に、土壌有機物含量が高く中程度の細かさを持つ土壌で、良好な物理性が得られる。

一方土壌の化学的肥沃度は、端的に言えば、作物生育に必須の元素を供給する土壌の能力であり、土壌有機物含量や陽イオン交換容量⁸⁾、交換性塩基含量⁹⁾などを指標として表される。一般に有機物の多い土壌では窒素の供給力が高いと考えられており、また細粒質で2:1型層状ケイ酸塩鉱物¹⁰⁾に富む、あるいは有機物含量の高い土壌ほど、土壌の陽イオン交換容量が大きく、したがってカリウム、カルシウム、マグネシウムなど塩基類の保持・供給能も大きいと考えられている。また酸性の強い土壌では、交換性陽イオンとしてアルミニウムが卓越し、塩基類の供給力が小さくなる。

いわゆる熱帯土壌では、有機物含量が低く、1:1型カオリン鉱物が卓越するため土壌の陽イオン交換容量は小さく、また土壌は湿潤環境下で強く風化を受けているため酸性でありかつ塩基含量そのものも小さいといった特徴が見られ¹¹⁾、このような意味で低肥沃度土壌であると認識されている。

2. 土壌の一般理化学性から見たタイ国北部および東カリマンタン土壌の特徴

以上のことをふまえて、調査地の土壌の一般的な理化学性を検討してみたい。まず写真5に、タイ国北部DP村・東カリマンタンKD村焼畑耕地の土壌断面を示す。モンスーン気候下のタイ国北部土壌では、東カリマンタン熱帯多雨林下の土壌に比べて、より深い層位まで有機物の浸透が見られる。また表2に見られるように、東カリマンタン・マハカム川中下流域の土壌では、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

の増加すなわち粘土の機械的移動に伴うUltisol¹²の生成が顕著である。これが一因ともなって、当地域の表層土壌では、傾斜が急峻で常に侵食にさらされているであろう北タイあるいはアポカヤン地域の土壌と比べて粘土含量が低く、これを反映して土壌の有機炭素含量も低くなっている(図2 a)。また東カリマンタン表層土壌では粘土含量と有機物含量の間に正の相関が見られるが、北タイ土壌は粘土含量が高い割に有機物含量が低い。気候条件の違いが影響している可能性はあるが、北タイにおいて長期間十年以下程度の休閑で管理されてきたDP村耕地では、天然林下に比べて土壌有機物含量が低い水準で落ち着いているのかもしれない。連続耕作など、近年の耕作圧が著しく高いRP村表層土壌では、明らかに有機物含量が低くなっているようである。

また土壌試料はいずれの地域においても乾季後半に採取したのであるが、アポカヤン地域ではマハカム川中下流域や北タイと比べて、土壌水分含量ははるかに高かった(図2 b)。次いでマハカム川中下流域土壌の水分含量が高く、モンスーン気候下で乾季が厳しいタイ国北部土壌は大変乾燥していた。タイ国北部土壌における乾季末のこの厳しい乾燥は、当地生態系の土壌微生物バイオマスならびに易分解性有機物含量の消長に大きな影響を及ぼしていると考えられる。これについては後に詳述する。

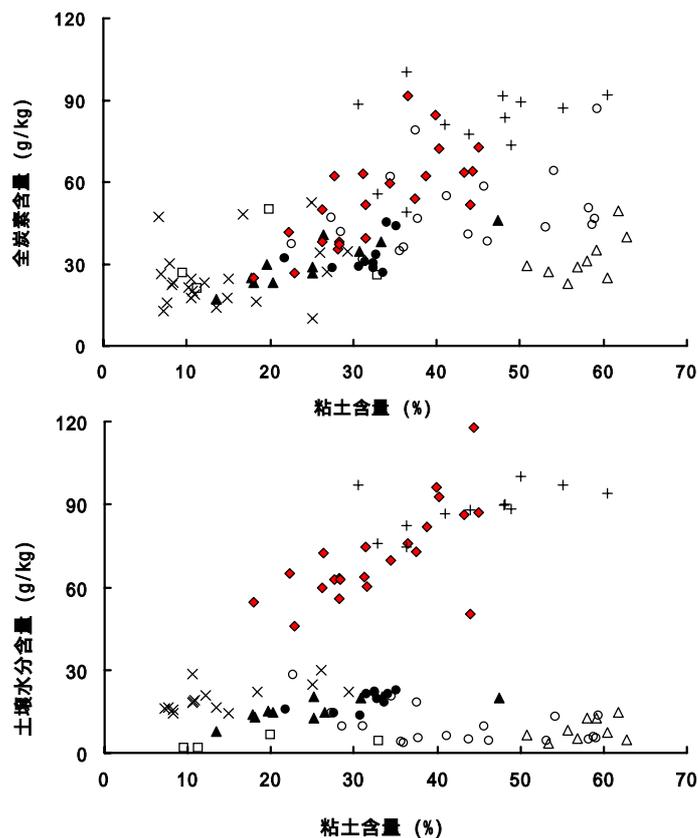


図2 表層土壌の粘土含量と全有機炭素量および土壌水分含量(採取時)の関係

- 北タイDP村 □ 北タイPS村 △ 北タイRP村
- 東カリマンタンKD村 ▲ 東カリマンタンLU村 × 東カリマンタンTT村
- ◆ 東カリマンタンLB村 + 東カリマンタンLA村



a)



b)

表3 調査土壌の一般理化学性

深さ (cm)	pH (H ₂ O)	全炭素 ^a (KCl)	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 (CEC)	陽イオン 交換容量 ^a (CEC)	粒度組成 ^b			
								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絶対土あたりに換算。
^b砂:2-0.02mm、シルト:0.02-0.002mm、粘土:<0.002mm。

写真4 a)タイ国北部DP村および
b)東カリマンタンKD村焼畑耕地の土壌断面

3. 土壌鉱物組成、化学組成、ならびにそれらに関連する性質

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3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膨潤性2:1型鉱物(バーミキュライト・スメクタイト、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⁴、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。このような粘土鉱物組成は、サマリダ近郊、マハカム川中下流域、アボカヤン地域にほぼ共通してみられたものである。膨潤性2:1型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4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0.61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 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、これまで土壌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

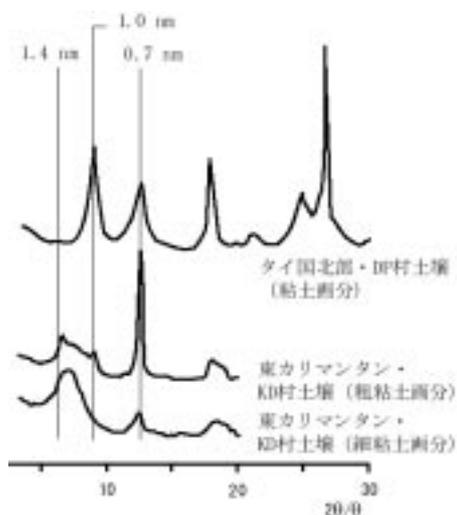


図3 調査地域土壌・粘土画分の代表的なX線回折図(Mg飽和試料)

¹³。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、北タイ土壌では約18 cmol/kg、東カリマンタン土壌では約31 cmol/kgという値が得られ、先にX線回折で見た両土壌の主要鉱物種の組成と矛盾のない結果が得られる¹⁴。すなわち東カリマンタン土壌では、膨潤性2:1型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。

次に、北タイとおよび東カリマンタン土壌を表層と次表層に分け、土壌pH(1モルKCl溶液中)と交換酸度(交換性Al³⁺と交換性H⁺の和⁹)についてプロットしたのが図5である。東カリマンタン土壌の酸性が、強度(pH)容量(交換酸度)ともに大きいことが分かる。一般にはCECの大きな土壌は肥沃な土壌と捉えられがちであるが、この東カリマンタン土壌のような強酸性土壌では、2:1型鉱物由来の高い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に注意すべきである。このような土壌を、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。

図6に、一部の土壌試料についてであるが、次表層土の全塩基含量と全リン含量をプロットした。

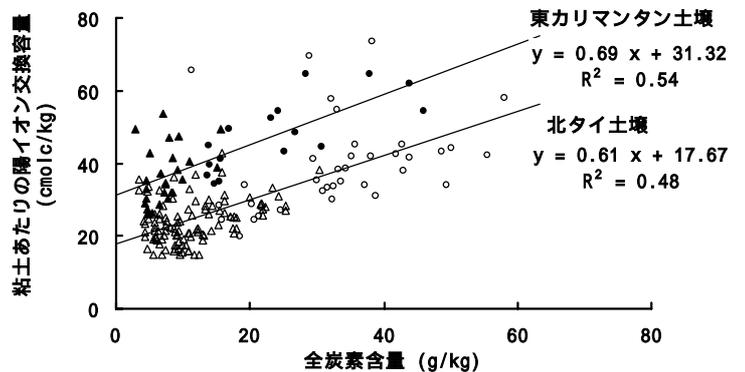


図4 土壌の全炭素含量と粘土あたりの陽イオン交換容量

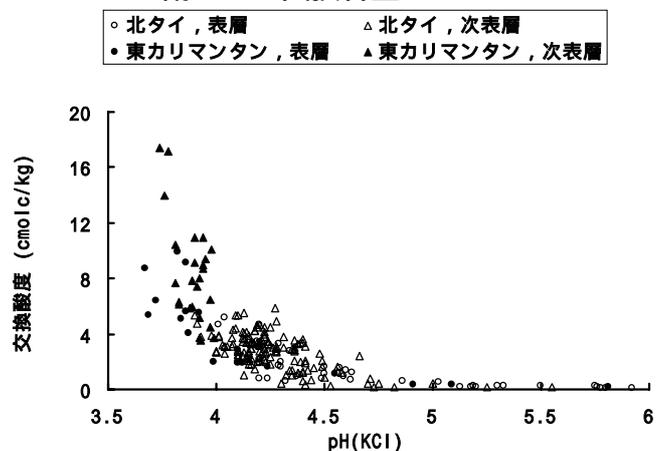


図5 土壌のpH(KCl)と交換酸度(交換性Al + H)

○北タイ、表層 △北タイ、次表層
●東カリマンタン、表層 ▲東カリマンタン、次表層

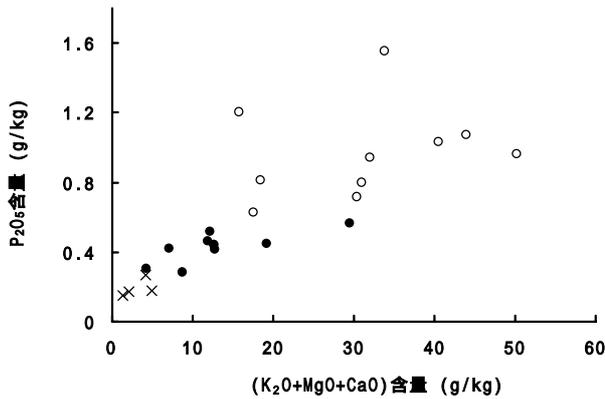


図6 30-40 cm 層位の全塩基含量と全リン含量

○北タイ ●東カリマンタン(粘土>20%)
×東カリマンタン(粘土<20%)

東カリマンタン土壌では強酸性であることを受けて、土壌の酸中和能を担うとともに植物の必須元素でもあるカリウム、マグネシウム、カルシウムといった塩基類の含量が、北タイ土壌と比べて低くなっている。また重要な植物の必須元素であるリンの含量も低い。これは、カリマンタンのほとんどが堆積岩で覆われており、リンの第一次給源である火成岩に乏しいことに関係があるのかもしれない。いずれにしても、北タイ土壌と比べて、カリマンタン土壌では塩基・リンの供給力が小さいものと見られる。

焼畑農業における塩基および土壌酸性に関連する諸性質の動態

焼畑農業においては、耕作前に休閑バイオマスが焼却され、土壌には灰が添加される。灰は通常アルカリ性が強いので、土壌酸性を中和する役割が期待される。これまでの研究においても、例えば東北タイで実験的に 300 ton/ha に達する天然林を焼却した場合、続く耕作期に土壌 pH が顕著に増大することが観察されている¹⁵。本研究においても、タイ国北部、東カリマンタンの焼畑生態系について土壌酸性の動態を調査したが、常に強酸性である東カリマンタン土壌については、耕作/休閑の各ステージにおける明瞭な土壌酸性の変化は見られなかった。しかしながら酸性ではあるが、その程度が比較的弱度であるタイ国北部の土壌については、焼畑各ステージにおける土壌酸性の動態について、以下のような事実が観察された。

1. タイ国北部土壌における陽イオンの存在形態

まずタイ国北部の土壌中における塩基の存在形態について概観しておく。土壌中のカルシウムについては、そのほとんどが交換性カルシウムであり、鉱物結晶構造中には存在していないものとみられる(図7)。したがって土壌酸性化の進行などでいったん土壌系から失われてしまえば、長期的な鉱物の風化を待っても再び供給されるチャンス

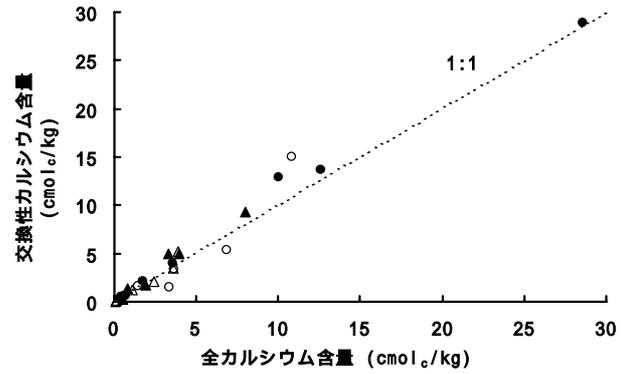


図7 タイ国北部表層土壌中の全カルシウム含量と交換性カルシウム含量

●RP村(堆積岩) ○HM村(花崗岩) ▲DP村(堆積岩) △DP村(花崗岩)

はなく、塩基類の中では生態系からもっとも失われやすい資源であるといえる。一方カリウムやマグネシウムは、交換性のもの以外にも鉱物結晶中に多量に存在するが、その存在様式は、マグネシウムが層状ケイ酸塩鉱物の結晶格子中に強く保持されていると考えられるのに対して、カリウムは2:1型鉱物の層間に保持された、どちらかといえば鉱物結晶とルーズに結合したものであると考えられる。例えば図8に示したように、深成岩である花崗岩を母材とする土壌では、地表での風化に伴って土壌が細粒質化し、2:1型雲母鉱物に対する1:1型カオリン鉱物の割合が増加するとともに、全カリウム含量が減少している。すなわち長期的には雲母鉱物のカオリンへの風化に伴って、カリウムが2:1型層間より放出されるようである。またマグネシウムは交換性陽イオンとしても土壌に保持されやすく、また層状ケイ酸塩結晶格子中にも比較的豊富に存在する(2.2~8.5 g/kg、平均4.0 g/kg) 元素であるが、鉱物結晶の風化は長時間を要するものなので、後者の画分がそのまま養分として有効であるとはいえないかもしれない。これら土壌中の塩基の存在形態をふまえた上で、生態系中の塩基および土壌酸性の動態について、以下検討を行う。

2. タイ国北部焼畑土壌における土壌酸性の動態

図9に土地利用歴と表層土のpH(H₀)および次表層土のアルミニウム飽和度¹⁶の関係を示した。土地利用歴と表層土pH(H₀)の関係はそれほど明瞭なものではないが、あえて言えば、数年間以上の休閑林下では、交換性アルミニウムが現れてくるpH 6以下となるような例が多く見られるようである。一方次表層土については、例外はいくつか見られるものの、休閑林焼却に伴う灰投入の後二~三年間はアルミニウム飽和度が低く比較的塩基に富む例が多いのに対して、五年以上の休閑林や連続耕作畑においてはアルミニウム飽和度の増大すなわち土壌酸性化の進行が著しい。また天然林

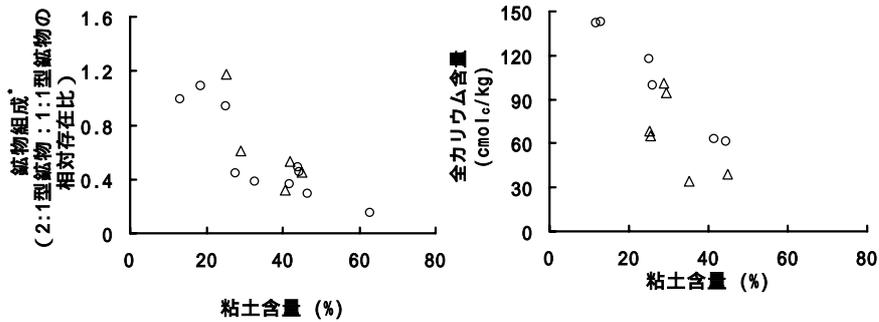


図8 タイ国北部花崗岩母材土壌における粘土含量と鉱物組成* および全カリウム含量の関係

○HM村 △DP村(花崗岩)

*粘土試料のX線回折において、カリウム飽和350度加熱プレートを用い、1.0 nmと0.7 nmの回折線強度比より求めた。

土壌では塩基に富む場合からアルミニウムが卓越する場合まで様々である。これら土壌酸性の動態は、具体的にはどのような生態系内の物質循環を反映しているのであろうか。

まず火入れ後の土壌酸性の緩和であるが、これはおそらく休閑林焼却に伴い耕地に投入される灰によって、土壌酸性の中和と土壌の交換性塩基保持量の増加が起こることによるものであろう。焼畑農業における灰の施肥効果については広く論じられているところであるが¹⁷、ここではこの施肥効果に加えて、特に土壌酸性の動態といった視点から灰の効果について述べる。

表3に、異なる年数の休閑林バイオマス中に含まれる養分元素量および灰化試料のpH 4.2滴定アルカリ度を示す。このように数年以上の休閑林の

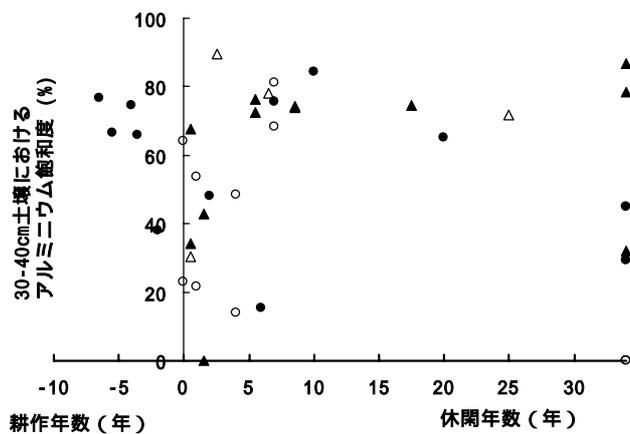
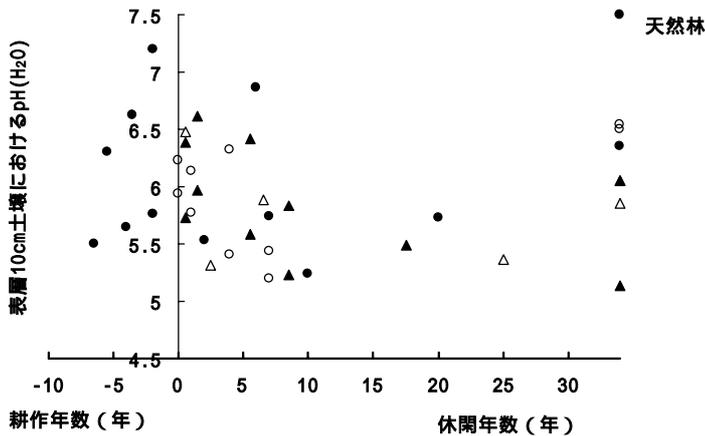


図9 タイ国北部焼畑圃場における土地利用歴と表層10cm土壌のpH(H₂O)および30-40cm土壌のアルミニウム飽和度

●RP村 ○HM村 ▲DP村(堆積岩) △DP村(花崗岩)

表3 調査村における投入可能地上部植生バイオマス量*とその成分

休閑年数	植生別地上部バイオマス [*]			塩基類			リン	灰化試料のpH 4.2滴定アルカリ度 (kmol/ha)
	草本類	タケ類	木本類	カリウム	マグネシウム	カルシウム		
	(t/ha)			(kg/ha)				
天然林								
RP村								
1年	1.6	3.0	わずか	36.7	5.4	8.0	2.4	1.65
2年	1.6	16.2	0.8	153.7	9.2	10.4	11.7	4.93
3年	わずか	11.7	3.0	85.4	11.0	30.8	5.9	4.83
4年	わずか	26.1	わずか	188.8	10.3	15.0	14.2	5.51
DP村								
1年(1)	1.6	なし	1.6	36.7	6.6	7.4	n.d.	1.78
1年(2)	4.5	なし	1.7	52.3	11.3	22.0	0.8	3.29
2年(1)	5.2	なし	わずか	46.8	3.4	11.6	1.6	1.90
2年(2)	6.1	なし	7.4	84.2	10.1	48.8	2.5	5.42
3年	3.6	なし	7.9	51.5	9.1	25.4	2.4	3.49
4年	6.2	なし	7.4	30.8	17.8	45.2	4.9	4.90
8年(1)	2.3	なし	6.7	48.0	7.0	39.4	1.4	3.90
8年(2)	2.7	なし	7.5	32.8	9.8	23.0	1.7	2.90
15年	0.8	なし	12.3	44.9	16.0	64.0	2.4	6.11
KD村								
1年(1)	3.9	なし	わずか					
1年(2)	2.4	なし	わずか					
2年	19.4	なし	わずか					
4年	19.3	なし	40.3					
5年	18.8	なし	20.9					
6年	8.5	なし	109.2					
20年以上	2.8	なし	321.3					
既伐採林	3.7	なし	171.6					
LU村								
1年(1)	7.4	なし	わずか					
1年(1)	7.5	なし	わずか					
2年	30.9	なし	わずか					
3年	10.3	なし	15.8					
5年	9.6	なし	67.3					
6年(1)	9.3	なし	47.6					
6年(2)	10.0	なし	42.2					
8年	11.9	なし	84.6					
13年	7.9	なし	74.5					

*70 乾燥重量。実際の火入れによって焼却されない幹部分を除いてある。

伐開・焼却後には、相当量の陽イオン（カリウム、マグネシウム、カルシウム）とこれにほぼ見合うだけのアルカリ度が土壤系へ添加されているものとみられる。例えば八年休閑後に期待されるような、カリウムとして約 40 kg/ha、リンが P_2O_5 として約 3 kg/ha、および後述するような数百 kg/ha にのぼる無機化窒素という養分投入量は、陸稲の施肥推奨量（窒素 48 ~ 56 kg、リン酸 35 ~ 45 kg、カリウム 25 ~ 35 kg）と比べても決して小さいものではない^{*18}。

一般に土壤はより多価の陽イオンに対して強い吸着選択性を示すので、休閑林下でしばしば見られる交換性アルミニウム卓越土壤に低濃度のマグネシウム、カルシウムなどの中性塩溶液を加えても容易に陽イオン交換は起こらない。しかしながらこれら陽イオンがアルカリ性溶液として土壤に添加されることによって、交換性アルミニウムの不活性化（ $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$ ）および土壤の陽イオン交換座の開放が起こり、同時に特に二価陽イオンの保持と土壤酸性の軽減が可能になるものと考えられる。

従って灰の投入は作物に対して直接養分元素を供給するだけでなく、酸性害の回避という点からも、本地域の焼畑では重要な過程であったと考えられる。また先に触れたように、休閑後期には土壤の酸性化に伴いリンの有効度はかなり低くなっているものと思われるが、灰の投入はその成分としてのリンの添加という意味以外に、pH 上昇に伴う鉄・アルミニウム結合態リン酸の溶解度上昇に寄与していると推測される^{*19}。

次に休閑林生育に伴い土壤酸性化が進行する点であるが、これはおそらく休閑植生によるカルシウムなど陽イオンの、陰イオンに対する相対的な過剰吸収によるものでないかと思われる。表 3 に示した休閑林バイオマス中の陽イオン蓄積量を見ると、休閑植生としてタケ類が卓越する RP 村では、休閑林へのカリウムの蓄積が著しい。一方ドウラパ村の休閑地では、初期の草本類が速やかに木本類主体の植生に取って代わられるのであるが、木本類バイオマス中には、特に幹にカルシウムが多く蓄積されるようである。タケ植生のカリウム蓄積については、インドなど他地域における報告もあり^{*20}、休閑植生構成種の違いによって土壤/植生間の養分動態が異なることを示唆する一例として興味深い。カリウムは一価陽イオンであり、いわゆる交換性陽イオンとして土壤粒子表面に保持されている量は小さいので、ここではおそらく雲母鉱物構造中のカリウムが相当量吸収されているのであろう。いずれにしても休閑期間中の土壤酸性化は、前述の灰添加効果の逆、すなわち土壤の交換性塩基の減少とアルミニウム活性化の過程である。このような休閑期間中の土壤養分の減少あるいは酸性化の進行は、他の研究例でもしばしば観察されており^{*21}、耕地を休閑させたときに広

く見られる現象であろう。さらに休閑期間が長期化した場合、土壤鉱物の風化に伴い交換性塩基が富化してくる可能性があるが、鉱物風化についてここで実証的に論ずるには材料が足りないので割愛する。

最後になるが、土壤酸性の動態で興味深いのは、連続的な耕作畑の次表層土で土壤酸性化（AI 飽和度の増大）が進行していることである。収穫物として系外へ持ち去られる養分量は、土壤中の蓄積量に比べれば微々たるものなので、やはりここでは洗脱・流亡に伴う養分の損失を考えるべきであろう。一九九三年度耕作期前半にラクペンディン村圃場より採取した土壤溶液の溶存元素組成より、次表層土でも土壤溶液中に相当量の養分元素が溶存していることがわかっており、これらのうち少なくとも一部は下層土より失われていると考えられる。そして連続耕作畑が土壤酸性化を受けた場合、休閑林下における土壤酸性化の場合とは異なり、地上部植生バイオマスという生態系内での重要な塩基の蓄積がもはや存在しないことに注意すべきである。ここでは特にカルシウムの給源を全く欠いているのである。

一般に土壤酸性化すなわち土壤からの塩基の損失を促進する要因として、土壤系外からの対陰イオンの酸としての付加、土壤浸透水量（降水量 - 蒸発散量）そのものの増加、植物の養分吸収において陽イオン吸収が陰イオン吸収を上回る場合が考えられる。森林下では、活発な蒸散を通して土壤浸透水量は減少していると見られる（土壤がより乾燥していることが多かった）ことから、そこでの酸性化プロセスでは三番目の養分吸収バランスの影響が大きいであろう。一方開畑後の土壤では、おそらく蒸散の減少に伴う浸透水量の増加にも影響を受けながら、表層土壤における有機物の分解に伴う硝酸や重炭酸の放出に伴う土壤酸性化が重要なプロセスとなるとと思われる。実際に測定された土壤溶液の溶存成分のイオンバランスから考えて、ごくおおざっぱには全陰イオンの 40% 相当量が硝酸イオンによって占められていると見積もられることから、土壤有機物の分解や焼土効果に伴う硝酸化成が土壤酸性化の進行に及ぼす影響はかなり大きいものと推察される。このことは、温帯農業において一般には推奨されている積極的な有機物の施用さえも、湿潤熱帯・亜熱帯環境下ではその速やかな分解を通して土壤酸性化を促進する要因となり得ることを示しており、慎重な対応が望まれるところである。

土壤微生物バイオマスならびに 土壤有機物易分解性画分の動態

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、焼畑農業生態系における、土壌の微生物バイオマス、易分解性有機物画分など土壌有機物関連資源の動態について検討する。

1. 土壌微生物バイオマスの動態

図 10a に土壌試料採取時の水分含量と土壌微生物バイオマス炭素量²²の関係を示した。いずれの試料も、乾燥のもっとも厳しい乾季末（北タイでは三月、東カリマンタンでは七～八月）に採取したものである。例外的に粗粒質である東カイヤンタン TT 村土壌を除けば、表層土壌においては土壌水分含量が土壌微生物バイオマス量に大きく影響していることが見て取れる。一般に、乾季の乾燥が厳しいモンスーン気候下のタイ国北部土壌で土壌水分含量、土壌微生物バイオマス量ともに小さくなっているが、これは特に連続耕作畑、休閑初期の圃場で著しい。休閑六年以上の圃場では、乾季末といえどもかなり水分含量、土壌微生物バイオマス量が大きくなっている。

また図 10b に土壌微生物バイオマス炭素量と塩

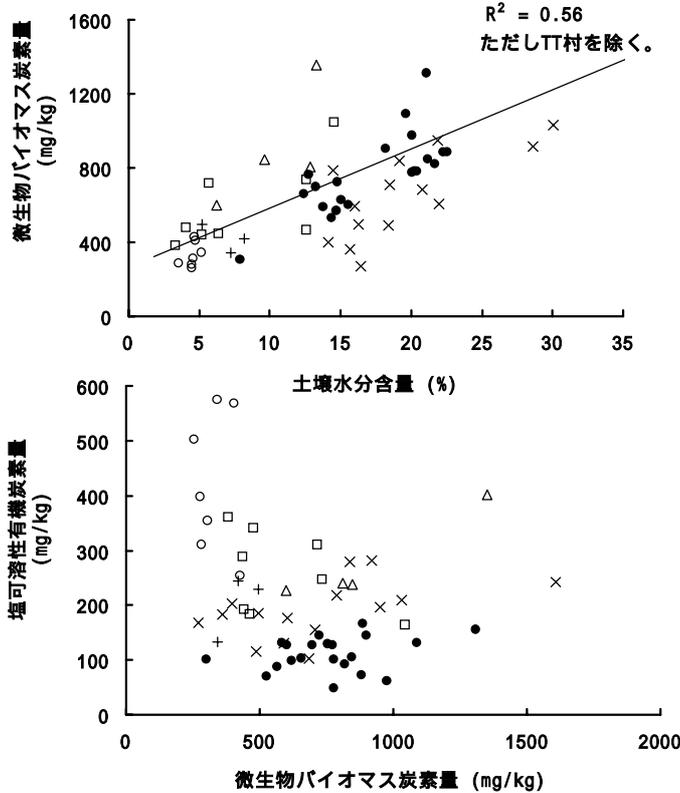


図 10 表層土壌の水分含量、土壌微生物バイオマス炭素量、および塩可溶性有機炭素量

+ 北タイ RP 村連続耕作地 ○ 北タイ DP・RP 村休閑 1 - 2 年
 □ 北タイ DP・RP 村休閑 3 - 5 年 △ 北タイ DP・RP 村休閑 6 年以上
 ● 東カリマンタン KD 村・LU 村 × 東カリマンタン TT 村

可溶性有機炭素量をプロットした。タイ国北部土壌では、特に開畑直後の圃場における低い微生物バイオマス炭素量と高い塩可溶性有機炭素量が特徴的である。おそらく乾季末の厳しい乾燥のため、土壌微生物の一定部分が死滅し、その菌体構成成分が可溶化したことを反映しているのであろう。タイ国北部土壌では窒素についても同様の傾向が見られるが、このような可溶性炭素・窒素は土壌の易分解性有機物の一部を構成すると考えられ、続く雨季に微生物ないしは植物によって利用しやすい画分が供給されていると見ることができる（乾土効果）。一方相対的に年中湿潤な環境下におかれる東カリマンタン土壌においては、このような乾土効果に伴う塩可溶性有機炭素の蓄積は見られず、易溶性の有機炭素源が常に微生物によって利用され続けている状況が推測される。

2. 土壌の易分解性炭素・窒素量、および窒素無機化パターンの解析

図 11 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炭素・窒素無機化パターンを示した²³。図 11a に示した北タイ土壌の窒素無機化においては、アンモニア態窒素の蓄積は見られず、硝酸態窒素量が順調に増加しており、窒素無

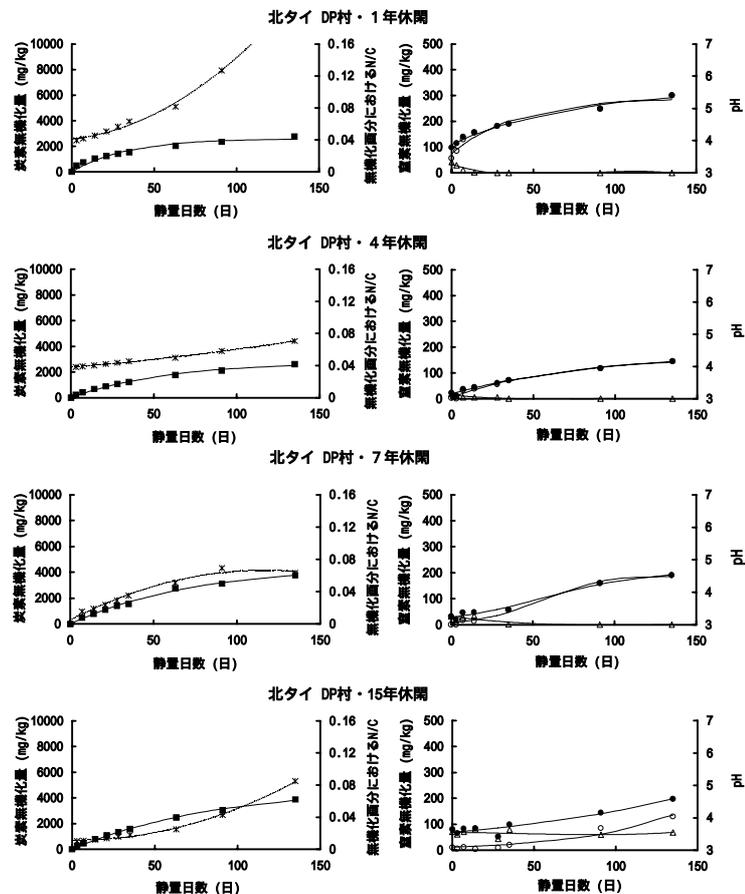


図 11a タイ国北部表層土壌の有機物無機化パターン

—■— C, --*-- N/C
 —△— NH₄-N, —○— NO₃-N, —●— Total N, --×-- pH

機化および硝酸化成が速やかに進行していると判断される。これに対し図 11b の東カリマンタン土壌の例では、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（五年休閑林）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。同図左側に見られるように、有機炭素の無機化が順調に進行していること、無機化画分の N/C 比が極めて小さいこと（通常 0.03 以下）などの事実から判断すると、これらの土壌では、有機態窒素がアンモニア態窒素まで無機化されるものの、その後硝酸化成よりもアンモニア態窒素の土壌微生物による取り込み（再有機化）が卓越する状況となっていることが想定される。この傾向は、タイ国北部の長期休閑林（一五年）でも見られる。しかしながら東カリマンタン土壌でも、河川沿いの緩傾斜地に位置する土壌や砂質土壌では、数年以上の休閑地においても、そのようなアンモニア態窒素の集積および硝酸化成の遅延はそれほど顕著ではない（図 11c）。その理由については現時点ではうまく説明できないが、一般に当地の焼畑民は河川沿いの緩傾斜地を好んで利用しており、これは無機化窒素の利用という点からは合理的な判断であるといえる。

ここまで見てきた土壌有機物の無機化特性を、無機化画分の C/N 比に関してまとめたものが図 12a である。東カリマンタン土壌が、前述した例外を除いて、土壌有機物無機化過程において、炭素に比べて窒素を放出しにくい土壌であることが分かる。また図 12b に見られるように、東カリマンタン土壌ではアンモニア態窒素の集積傾向が顕著であり、硝酸態窒素放出量の小さいものが多い。特に休閑三～四年目以降あたりで、アンモニア集積量の増加、硝酸放出量の減少、それに窒素無機化率の減少（図 12c）が、北タイ土壌と比べて顕著である。

その結果図 12d にまとめたように、TT 村砂質土壌を除いたカリマンタンの中～細粒質土壌では、特に七年以下程度の短期休閑地において、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例が多い。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、酸性土壌のより一層の酸性化（陽イオンの対イオンとしての硝酸イオンの放出・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。すなわち図 13 で北タイ土壌について示したよう

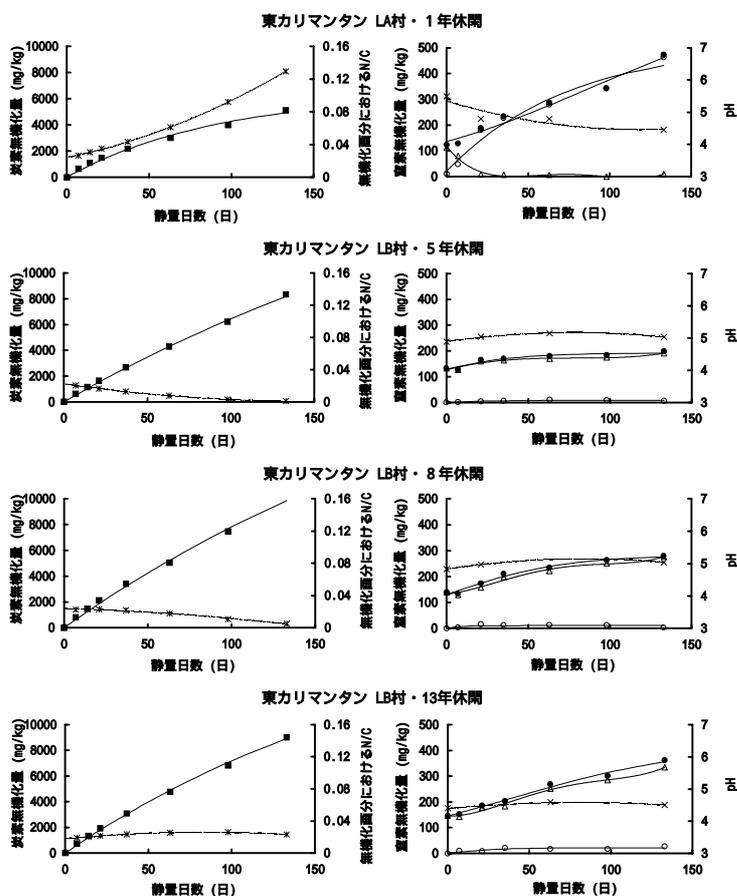


図 11b 東カリマンタン表層土壌の有機物無機化パターン

—■— C, --*-- N/C
—△— NH₄-N, —○— NO₃-N, —●— Total N, --×-- pH

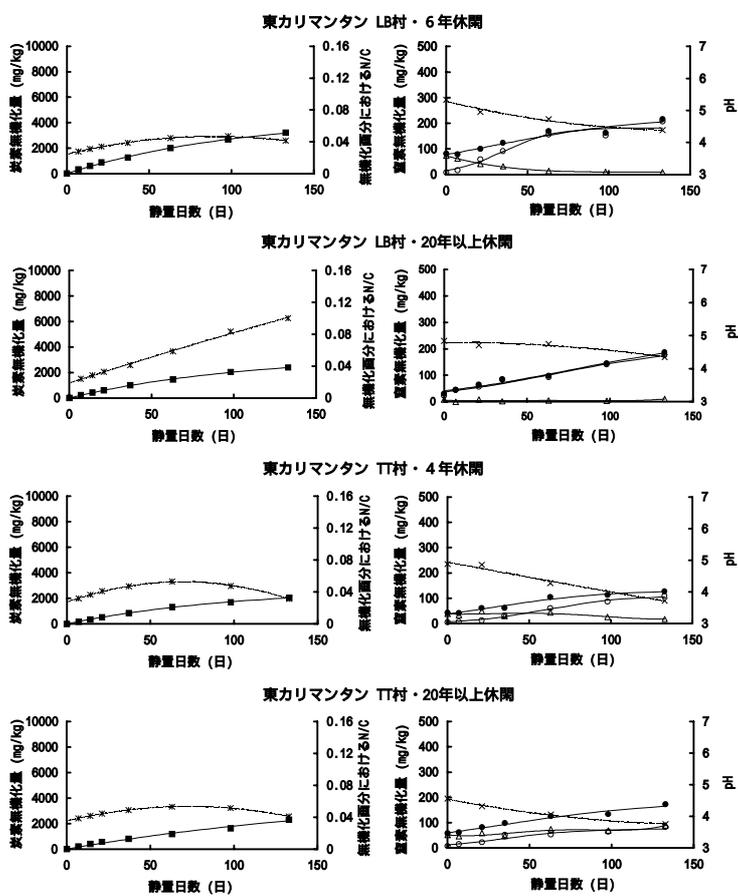


図 11c 東カリマンタン・河川沿い緩傾斜地および砂質表層土壌の有機物無機化パターン

—■— C, --*-- N/C
—△— NH₄-N, —○— NO₃-N, —●— Total N, --×-- pH

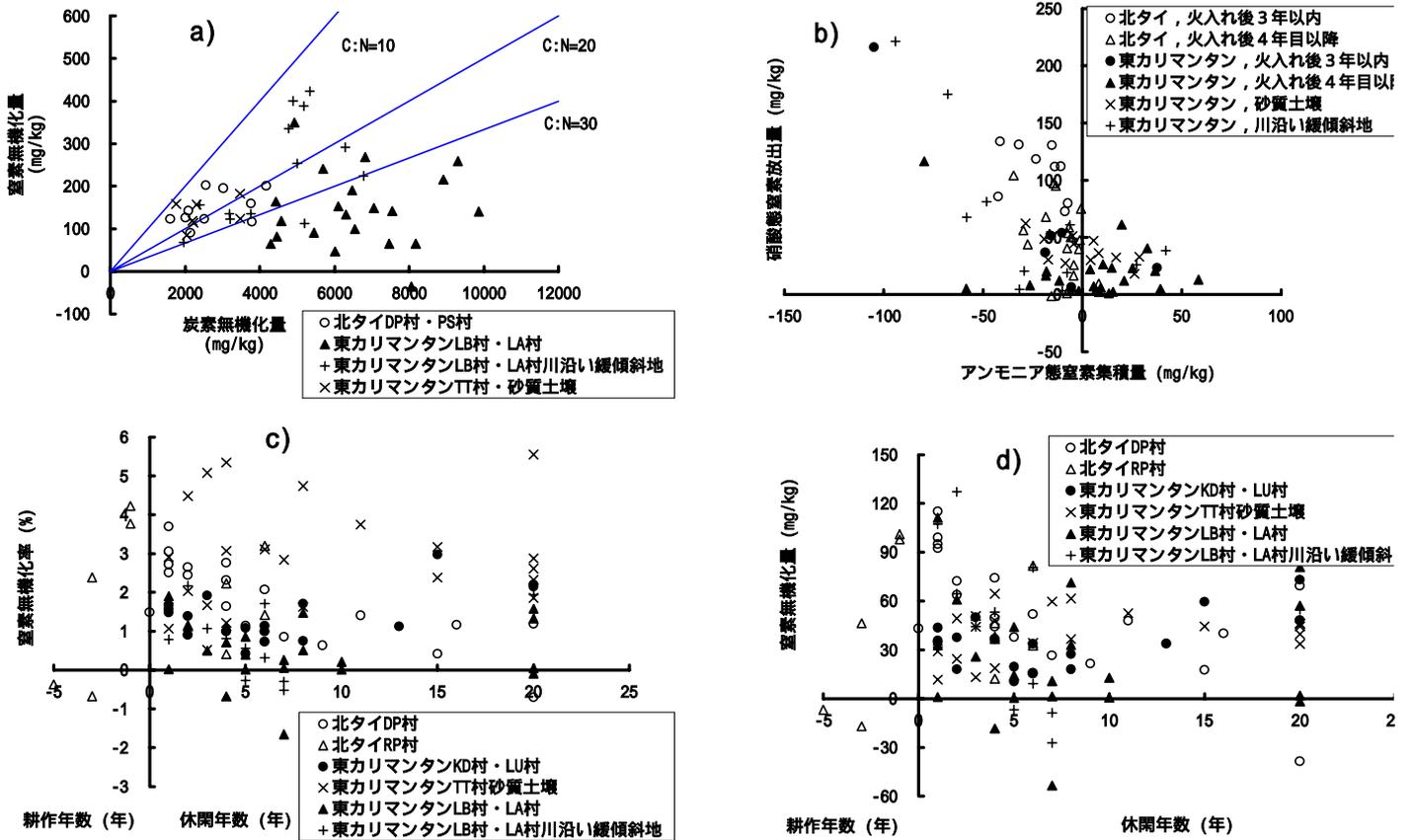


図12 静置実験35日目における、a) 無機化炭素量と無機化窒素量、b) アンモニア態窒素集積量と硝酸態窒素放出量、c) 休閑年数と窒素無機化率、d) 休閑年数と窒素無機化量 (アンモニア態窒素 + 硝酸態窒素)

に、土壌の有機態窒素の無機化が硝酸化成まで進めば土壌の酸性化も進行するが、アンモニア集積の見える北タイの休閑後期土壌および東カリマンタン土壌では、この硝酸化成に伴う酸性化プロセスがある程度抑制されていると推測される。

このような有機態窒素の無機化ないしは硝酸化成の抑制機構に対し、焼畑の火入れに伴う焼土効果は有効なものであろうか。限られた事例ではあるが、図14に、異なるバイオマスを持つ休閑林を焼却した場合の、火入れ前後における窒素無機化曲

線の変化を示した。このように、タケ類主体のRP村七年休閑林(焼却バイオマスは38.7 ton/ha)では火入れ前後で窒素無機化のパターンにほとんど違いが見られないのに対し、木本主体のRP村の20年以上休閑林(焼却バイオマスは58.4 ton/ha)では、火入れ後のアンモニア態窒素量の増加すなわち焼土効果が明らかである。表3に示した北タイ・東カリマンタン両地域の焼却バイオマス実測値より判断すると、焼却に供される休閑森林バイオマスが100 ton/haに達する東カリマンタンでは

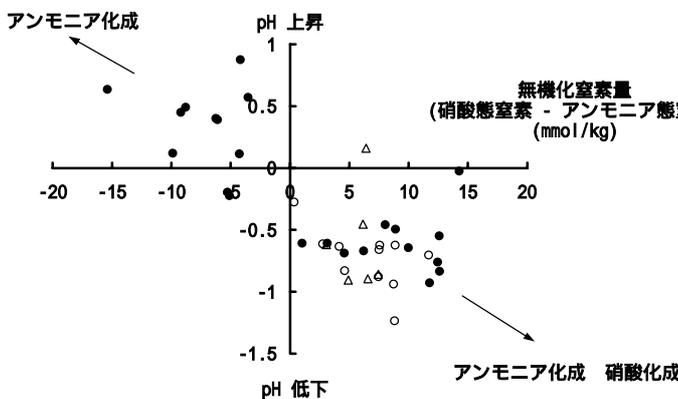


図13 北タイ表層土壌における窒素無機化に伴う土壌pHの変化

△連続耕作 ○休閑3年以内
●休閑4年以上

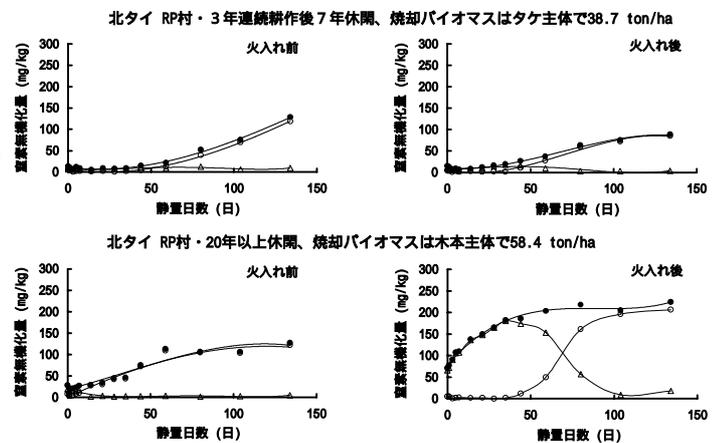


図14 火入れ前後における、北タイRP村表層土壌の窒素無機化パターンの変化

—△—NH₄-N, —○—NO₃-N, —●—Total N, ···×··pH

火入れによる焼土効果が期待されるのに対し、後述するように主として枝打ちのみで幹部を伐倒しない北タイ・カレン人の焼畑では、焼却バイオマスは多くとも20 ton/haにとどまるものと見られ、焼土効果はそれほど顕著に起こっていないのではないかと考えられる。北タイの初期休閑林下土壌で見られる窒素無機化量の増加はむしろ、耕作に引き続く乾季の厳しい乾燥による乾土効果の影響が大きいのではないだろうか。

3. 焼畑耕地・休閑地における土壌有機物無機化量

一般に森林植生下の土壌では、新鮮有機物が地上部植生から落葉落枝として供給されることで、分解される土壌有機物が補われていると考えられる。いったん森林を伐開しこれを耕地として利用し続けられれば、日照による地温上昇に伴って土壌有機物の分解が進行するのに対し、地上部からの有機物の供給がそれほど期待できないので、土壌有機物量は急激に減少することが予想される。タイ国北部のRP村で経時的に測定した土壌呼吸量(土壌からの炭酸ガス放出量)に基づいて年間の土壌有機物分解量を推定すると、12~17 ton 炭素/ha/yearの範囲となる(図15)。なお土壌呼吸量は雨季に高く、乾季に低い傾向が見られた。この分解量推定値を土壌有機物現存量と比較した場合、おおまかに言って、土壌表層50 cmの有機物現存量のおよそ10%相当量が一年間に分解されるものと見積もられる。ここでは植物根による呼吸量を考慮に入れていないので、この推定が過大評価である可能性はあるが²⁴、それでも、たとえ土壌侵食などを考慮に入れなくとも、森林伐開後数年間の耕作で土壌有機物量が激減するであろうことを間違いない。静置実験で推定された無機化画分のN:C比を考え合わせると、この土壌有機物の無機化にともなって、数百kg/ha/yearに及ぶ有機態窒素が無機化されるであろうことが予想される。このことはまた、無機化窒素の微生物による再有機化

あるいは植物による吸収に対し硝酸イオンの洗脱が卓越する場合、相当の酸性化の圧力となりうることを示唆している。また東カリマンタン土壌については、本研究で実測はしていないものの、特に次表層土で土壌有機物蓄積量がタイ国土壌をかなり下回ること、それに対して年中湿潤な条件下にあるため年間の土壌有機物分解量はタイ国北部土壌を上回るであろうことを考え合わせると、開畑後の土壌有機物の損失の割合は、タイ国北部土壌に比べてより大きなものとなると考えられる。

タイ国北部およびインドネシア国東カリマンタン州の焼畑農業に関する耕地生態学的検討

1. タイ国北部の焼畑農業

休閑林も十年近くのものになると、高さ十メートル以上はかなり大きな木が目立つようになる。タイ国北部のカレン人はこれを完全に伐ることはなく、枝のみを落とし焼却する(写真6)。焼却される森林バイオマスは、もしこれが天然林ならば300 ton/haにも達するはずであるが²⁵、一般にカレン人の焼畑で使われる二次林では多くとも20 ton/ha程度であり(表3)枝打ちされただけの木は火入れ後も生き残る。そして一年のみの耕作が終了し休閑期に入るやいなや、植生は急速に回復し(写真7)休閑三~四年目頃には木本類主体の植生に遷移する。もちろん彼らは森林伐開時の労働軽減を望んでいるのであるが、このような二次林の小径木を中心とした森林伐採・焼却によって、結果的には耕作のための養分投入より続く休閑期の植生回復を優先させた、ということにならないだろうか。そしてこのような農法がビルマ北部山間地など照葉樹林帯においても観察されていることを考えれば²⁶、その系譜は、いわゆる熱帯の低肥沃度土壌において行われる焼畑よりは、北方の照葉樹林帯の焼畑に連なるものであると思われる。

タイ国北部は、畑作地としてはかなり急峻である。もっとも恐ろしいのは土壌侵食であり、肥沃

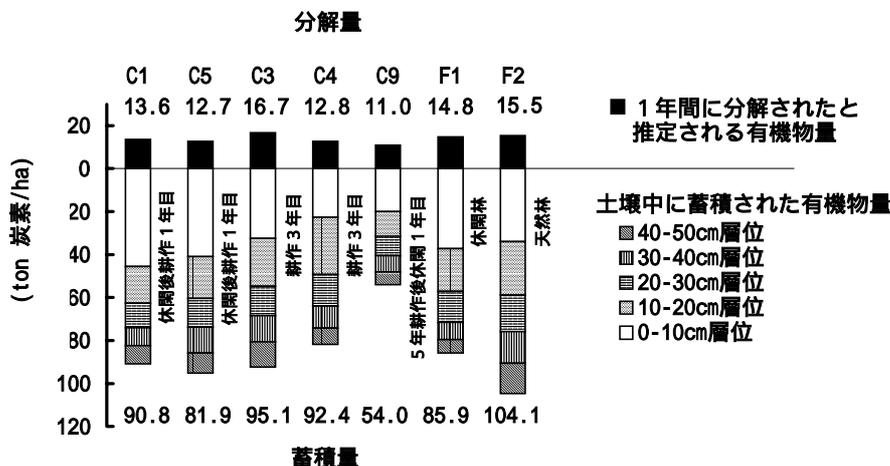


図15 RP村焼畑圃場および天然林における土壌呼吸量より推定した年間の有機物分解量と土壌中の有機物蓄積量

な表層土が短期間に失われてしまう²⁷⁾。一年生作物の耕作は、土壤表面の被覆程度が小さくなること、土壤が固結し表面流水が増加することなどを通して、土壤侵食が加速される危険といつも背中合わせである。土壤侵食を回避することは、傾斜地で継続的に農業を営むための必須条件であり、耕作後の早急な森林植生の回復と地表の被覆が侵食防止にもっとも効果的である。また当該地域は熱帯・亜熱帯モンスーン気候下に位置することから、概して畑作地における有機物の分解が速やかであり、耕作期間中に相当量の窒素が供給されるものと見られる。しかしながら過度の硝酸態窒素の供給は、塩基類の流亡を引き起こし土壤を酸性化させることから、中～長期的には硝酸化成はむしろ抑制される必要がある。

このような条件をもった当地域の土壤生態系を利用していく上で、カレン人の焼畑農耕システムは大変合理的な農法であったといえる。耕作期間を一年に限ることは、耕作時の雑草の繁茂を抑制するとともに、耕作後の休閑林の迅速な回復を確保し土壤侵食を防ぐ点で、また有機物の分解ひいては過度の養分流亡を防ぐ点でも有効であったろう。火入れによって森林バイオマス中に蓄積されていた塩基やリンをアルカリ性溶液として土壤に投入することで、土壤の酸性害を回避しながらこれら養分元素を利用し、また投入された塩基の相当量を土壤の陽イオン交換部位に保持させ、休閑林による再利用を可能にできたと考えられる。さらに天然林ではなく地上部バイオマスの小さな休閑林を焼くことで焼土効果を抑制し、結果的に土壤系からの硝酸態窒素および塩基の流亡をより小さくしていたと解釈することも可能である。すなわち耕地利用の際の攪乱を最小限にしつつ、耕作/休閑システム全体としては水・養分などの下方への損失をできるだけ抑えるという森林生態系の機能を維持することで、土地を持続的に利用してきたのである。このように、カレン人による一年耕作/比較的短期の休閑という焼畑システムは、

比較的肥沃な土壤条件に対応しながら、耕作時に一時的にいかにも高い養分投入を行うかという点よりも、極端な土壤侵食や土壤酸性化といった土地劣化を防ぐ点を優先させた合理的なものであったといえる。休閑の役割として、耕作時の養分供給よりも土地劣化防止機能の方が強調されるべきシステムであると考えられる。

2. インドネシア国東カリマンタン州の焼畑農業

一方、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生産基盤を、モンスーン気候下のタイ国北部と比較して土壤学的観点からまとめてみれば、以下のようなものとなるであろう。すなわち、

- 1) 湿潤多雨の気候を反映して、東カリマンタン地域の土壤の方が、より強酸性である。
- 2) 東カリマンタン地域では、特に河川近くでCECの大きな膨潤性2:1型鉱物が相当量存在する。1)の条件とも相まって、土壤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、東カリマンタン土壤では現存量が小さい。
- 4) 東カリマンタン土壤では、窒素無機化過程ないしは硝酸化成が緩慢である。いったん無機化されたアンモニア態窒素の微生物による取り込みが、硝酸化成を上回ることに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、多量の灰による無機養分の投入、焼土効果による窒素の投入、低い土地利用率(耕作/休閑年数比)による土地劣化の回避などを要としたとした、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、比較的良好な土壤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壤有機物の消耗を最小限とすることを意識した北タイ・カ



写真7 タイ国北部DP村耕作後乾季末の景観



写真8 タイ国北部花崗岩母材土壤における、連作後の土壤侵食

レン人の休閑十年以下の焼畑農業と比較してみると、特に休閑の役割という点において対照的である。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進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) 多雨林気候下で土壌有機物の損失速度がよ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業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ような集約的農法の方が、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のかもしれない。

おわりに

現在タイ国北部一円で広く見られる休閑期間の短縮化や土地の常畑的使用の広がり、土壌侵食の加速や、有機物関連資源の減少、土壌酸性化の進行など土地劣化の問題を顕在化させている。

相対的に使用できる土地が少なくなってきたとき、山地民がとる対応には二通り見られる。カレン人は、少なくとも今回の調査の範囲では、耕作期間を一年に保ったまま休閑期間を減らしていくようである。それに対して、モン、ラフなどの民族では連続耕作の期間を延長していくようである。後者の場合、営農上まず問題となるのは特に耕作二年目以降の雑草害である。そして除草剤などの手段を持たない山地民が頼る除草法は耕起である。モン人・カレン人いずれの焼畑においても、休閑直後の陸稲栽培は伝統的に不耕起なのであるが、二～三年以上の連続耕作では必ず耕起を行い、多くの場合ショウガなど付加価値の高い商品作物を栽培する。耕起は土壌侵食を誘発する。タイ国北部山間地には、広く花崗岩母材の土壌が分布するが、このような土壌ではこのほか侵食が激しいようである(写真8)。ここに傾斜地における畑作でもっとも危険な土壌侵食の問題が、可耕地の窮迫によって顕在化するという構図がある。

また従来土地を循環利用してきたカレン人の焼畑においても、耕作圧の増大が、森林面積そのものを直接減少させることはなくとも、休閑期間の減少すなわち生態系のバイオマス蓄積量の減少を通して生態系の質的劣化を招いているといえる。

それに、いかにももとの土地資源に恵まれているとはいっても、許容される休閑期間の短縮化には限度があろう。

このような従来型の土地・森林資源利用の行き詰まりに直面して、本地域の農業は、これまでのように森林生態系としての機能を生かすというコンセプトの中でアグロフォレストリーや果樹など永年生作物の植栽を取り入れていくか、あるいは耕地のテラス化を伴うより労働集約的な畑作への質的転換を行うか、といった土地利用形態の変化を迫られている。また特にカレン人はこれまでも積極的に水稲耕作に取り組んできているが、斜面下部における水田造成にさらに努めることも、土地劣化を招きやすい斜面上部における耕作圧軽減には有効であると思われる。

一方インドネシア国東カリマンタン州では、生活の便利さを求めての奥地から沿岸部へのダヤック系民族の移住、および政府主導の移住政策による他地域からの移民の流入といった理由から、奥地の過疎化と沿岸部の人口増が顕著になっている。アポカヤン地域においては、特にサラワク側での賃金労働による現金収入に支えられた貨幣経済と、焼畑農業による食糧自給体制がこのまま共存してゆくのか、あるいは労働力不足に陥った焼畑農業が衰退してゆくのか、いまのところその将来像は明らかでないといえよう。

逆に人口増の見られるマハカム川中下流域や沿岸部では、このまま従来のような長期休閑が必須な焼畑農業が存続しうるに足る農地面積が、焼畑農民の手に残されるのか危ぶまれる。ただタイ国北部で見られるような、焼畑耕地を蚕食するような形での商品作物の作付けは、おそらく一年生作物については、生態系の許容量からいっても、また都市部のマーケットの発達程度からいっても無理であろう。貨幣経済が浸透していく中で、従来の焼畑耕地から現金収入を得る途は、果樹や有用樹など多年生作物の栽培などに限られると思われる。現在当該地域では、ゴムやアブラヤシ、あるいはパルプ材などの植林プランテーションが増加しつつあるが、焼畑農民が現金収入を求めて雇用労働に傾斜していけば、やはり当地の焼畑農業は衰退していくのかもしれない。

ここまで述べてきたように、本研究で調査してきたタイ国北部およびインドネシア国東カリマンタン州における焼畑農業の将来像は必ずしも明るいものではない。むしろ彼らを取り巻く今日の社会・経済的状況は、中長期的にはその存続を著しく困難なものとしているように思われる。ただここで私たち自身が立ち止まって考えてみたいのは、このような「粗放な」焼畑農業が、少なくともここ何世紀にもわたって、「持続的」に彼らに食糧を供給してきた事実についてである。「持続的」に生活を維持してきた彼らではあるが、おそらく「発展」という語からは程遠いところで生きてきたは

ずである。その彼らが、「発展」の論理、すなわちグローバル化した資本主義経済体制にまさに呑み込まれようとしている、というのが現在の状況である。

これまで私たちの社会は発展してきたし、それは食糧生産体制についてもあてはまる。農業分野におけるその発展はしかし、再生不能な化石燃料の浪費によって可能となり、またその結果として、不適切な生態系利用に伴う森林減少と環境破壊、半乾燥地における土壌塩性化、ないしは優良な耕地における土壌肥沃度・土地生産性の低下などといった沙漠化=食糧生産の危機をもたらしている。

おそらく、「持続的な発展」は不可能な物語である。これに関わる焼畑民と、私たち資本主義社会の住人のベクトルは正反対である。私たちは「発展」の道を進むことで「持続性」の危機に陥り、今必死にこれを取り戻そうとしている。逆にこれまでその「持続性」を誇ってきた焼畑民は、今まさにそれを失い、「発展」の論理に巻き込まれようとしている。このような文脈の中で、彼ら焼畑民の生態系利用の本質を学び、もう一度私たちの文明を見直すきっかけとしたい、彼らにはこれを誇りある財産として上手に継承してほしい、というのが私の焼畑農業研究における願いである。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、日本学術振興会、京都府立大学後援会、トヨタ財団、アサヒビール学術振興財団より研究助成をいただいた。また共同研究者として、タイ国農務省研究官・Thamanoon Khaewkhongka、インドネシア国ムラワルマン大学講師・Makhrawie、同国ボゴール農科大学講師・Heru Bagus Pulunggono、高知大学農学部助手・田中壮太、京都府立大学農学研究科大学院生・上田恒平、京都大学農学部・南隆昭の各氏にご協力いただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

【注】

*1 曹洞宗国際ボランティア会 一九九三。

*2 飯島 一九七一。

*3 Funakawa et al., 1997a,b; Tanaka et al., 1997; Hayashi et al., 1993; 1996a,b; 平井ら 一九九五。

*4 Ohta et al., 1992a,b; 1993.

*5 Foreign and Commonwealth Office, England and Department of transmigration, Indonesia 1997.

*6 井上 一九九五。

*7 土壌の各粒度画分の範囲は国によって若干異なるが、ここでは2 mm以下の細土について、2~0.2 mmの画分を粗砂、0.2~0.02 mmの画分を細砂、0.02~0.002 mmの画分をシルト、0.002

mm以下の画分を粘土とする方法を用いる。これら砂(粗砂+細砂)、シルト、粘土の存在割合によって、土性(土壌の粒度組成)を判定する。

*8 鉱物成分と有機物成分から成る土壌粒子は、通常負荷電が卓越するコロイドである。この負荷電には、外液のイオン濃度あるいはpHによって変化しない永久負荷電(一定荷電)と、イオン濃度あるいはpH増大に伴って増加する変異負荷電の二種類がある。永久負荷電は、主として層状ケイ酸塩鉱物結晶構造中の同型置換に起因する正荷電欠損によって、また変異負荷電は層状ケイ酸塩鉱物端面の破壊原子価や鉄・アルミニウム酸化物・水酸化物の構造末端OH基の解離、あるいは有機物中のカルボキシル基・フェノール性水酸基の解離によって発現する。このように、通常土壌の陽イオン吸着能は外液のpHやイオン濃度によって異なるので、一般的にはpH 7に調整した1 mol/L酢酸アンモニウム溶液中で土壌に吸着されるアンモニウムイオン量を測定して、その土壌の陽イオン交換容量とする。したがって本稿で扱っているような酸性土壌では、実際に陽イオン吸着に寄与している負荷電量(有効陽イオン交換容量)は、陽イオン交換容量より小さくなるのが普通である。

*9 土壌学では、一般に負荷電を帯びた土壌コロイド表面に吸着され交換複合体を形成しているナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、アンモニウムなどの陽イオンを「交換性塩基」と称する。これはプロトン供与体を酸、受容体を塩基とするブレンステッドの酸・塩基の定義とは一致せず、混乱を招きかねない呼称である。むしろ交換複合体全体を塩基と呼ぶべきであるが、本論では土壌学分野の通例に従って、これら土壌コロイドに吸着・保持された陽イオン類を「交換性塩基」と呼ぶ。なお六分子の配位水を持つアルミニウムイオンは加水分解に伴いプロトンを放出するので($Al(H_2O)_6^{3+} + H_2O \rightarrow Al(OH)(H_2O)_5^{2+} + H_3O^+$)、プロトンとともに通常酸として扱われ、これらの含量は交換酸度とも呼ばれる。

*10 層状ケイ酸塩鉱物はアルミニウム八面体とケイ素四面体のシートが交互に積み重なった構造を持っている。その重なり方によって、四面体-八面体-四面体を単位構造とする2:1型鉱物と、四面体-八面体を単位構造とする1:1型鉱物に大別される。前者の代表例として、パーミキュライトやスメクタイトなどの膨潤性2:1型鉱物、および雲母鉱物などが挙げられ、後者の代表例としてはカオリン鉱物がある。陽イオン交換容量など鉱物表面の活性は、1:1型鉱物と比べて2:1型鉱物ではるかに高い。

*11 造岩鉱物の風化過程および土壌生成過程において、雲母や長石など様々な一次鉱物は物理・化学風化を受け、主として層状ケイ酸塩鉱物や

鉄・アルミニウムの酸化物・水酸化物を主要構成成分とする二次鉱物へと変化する。一般には、この鉱物の風化過程の最終産物は、ヘマタイト(酸化鉄)やギブサイト(水酸化アルミニウム)それにカオリン鉱物などであると考えられている。湿潤熱帯の土壌には、これら風化の進んだ鉱物を主要な成分とするものが多い。

*12 米国農務省の Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1992)による分類で、土壌断面内に粘土集積層を持つ酸性土壌。

*13 Jenkinson 1988.

*14 和田(一九九七)などを参照。

*15 Tulaphitak et al. 1985.

*16 アルミニウム飽和度(%) = 交換性アルミニウム / 有効陽イオン交換容量 × 100。この値が大きいほど土壌酸性が強い。これに対して、塩基飽和度(%) = 交換性塩基含量 / 陽イオン交換容量(あるいは有効陽イオン交換容量) × 100、もしばしば用いられ、この値が小さいほど酸性が強い土壌となる。

*17 灰の施肥効果については、例えば Nye and Greenland, 1960 や Tulaphitak et al., 1983 などを参照されたい。

*18 今日陸稲は、日本ではわずかし栽培されていないのであるが、ここに述べた施肥推奨量については、藤原 一九九四、より引用した。なおリンについては灰による投入量はかなり小さいようにも見られる。ただ当該地域表層土壌の可給態リン酸含量は P₂O₅ として 50 ~ 100 mg/kg (トルオーグ法による)と熱帯土壌としてはかなり肥沃であり、また三要素試験によればリンの肥効はそれほど高くはないことが示されている。

*19 土壌中でのリンの挙動は複雑であるが、酸性条件下では主にアルミニウムや鉄と水に不溶性の塩を形成したり、あるいはこれらの酸化物・水酸化物中に取り込まれたりして不可給態化するようである。

*20 Ramakrishnan, 1992.

*21 Zinke et al., 1978; Ramakrishnan, 1992.

*22 土壌をクロロホルムで薫蒸処理すると微生物は死滅し、その菌体の構成成分である炭素、窒素、リンなどの一部が可溶化する。これを適当な抽出剤で抽出し、微生物バイオマス量として測定しようというのが、ここで用いたクロロホルム薫蒸・抽出法である。

*23 この手法で測定される土壌有機炭素・窒素無機化量は、土壌中に存在する易分解性炭素・窒素量を表す微生物学的指標値としてよく用いられるものである。一般に土壌中の窒素の大部分は有機態窒素であるが、土壌有機物の分解に伴い窒素はアンモニア態あるいは硝酸態として放出され、植物に利用可能な形態となる。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、一段階目のアンモニア化成に引き続き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。

*24 一般に土壌呼吸量は、土壌微生物による有機物の分解に起因する部分と、植物根の呼吸によるものの含量として測定されるが、双方の寄与を分けて考えるのは容易ではない。吉良 一九七六、は森林植生下では土壌呼吸量の約 40 % が植物根の呼吸によるものであるとの推定を用いているが、今回測定を行った裸地あるいは畑地では呼吸量の内訳の分別根拠が得られないので、過大評価であることを覚悟して、一括して土壌有機物の分解に由来するものとして論を進めた。

*25 Tsutsumi et al., 1983.

*26 吉田 一九九五。

*27 Takahashi et al., 1983.

[引用文献]

飯島茂 一九七二 『カレン族の社会・文化変容』 創文社

井上真 一九九五 『焼畑と熱帯林』 弘文堂

吉良竜夫 一九七六 『陸上生態系』 共立出版：一四二 - 一四八

曹洞宗国際ボランティア会 一九九三 「自由と悲劇の民 = モン族」 曹洞宗国際ボランティア会 発行 『シャンティ』：一二 - 一五

平井英明, ベラパタナニルンド・プラティープ, 林幸博, 舟川晋也 一九九五 「焼畑から常畑への移行過程における耕地生態学的研究 - タイ国北部の住民参加による農業振興と環境保全」 『熱帯農業』 三九(二)：一二六 - 一三

藤原俊六郎 一九九四 「施肥法の原理」 『土壌・植物栄養・環境事典』 博友社：三 - 三六六

吉田敏浩 一九九五 『森の回廊』 NHK出版：二一七 - 二五五

和田信一郎 一九九七 「土壌の化学性」 『最新土壌学(久馬一剛編)』 朝倉書店：七三 - 九五

Foreign and Commonwealth Office, England and Department of transmigration, Indonesia 1997: Regional physical planning programme for transmigration, volume 1 and 2 (pp.310) 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, 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, 681-693
- Hayashi, Y., Hirai, H., Verapattananirund, P., Nagara, T., Hattori, T., and Shigenaga, S. 1993: Ecological studies on the transition from shifting cultivation to continuous upland farming in northern Thailand. I. Topography, soils and land productivity. *Jpn. J. Trop. Agr.*, 37, 219-232
- Hayashi, Y., Verapattananirund, P., and Shigenaga, S. 1996a: Ecological studies on the transition from shifting cultivation to continuous upland farming in northern Thailand. II. Crop productivity under 1996b: Ecological studies on the transition from shifting cultivation to continuous upland farming in northern Thailand. III. Crop root systems under mono-cropping and intercropping conditions in slash and burn field. *Jpn. J. Trop. Agr.*, 40, 49-54
- Jenkinson, D.S. 1988: Soil organic matter and its dynamics. In Russell soil conditions and plant growth, 11th edition, pp. 564-607. (Ed.) Alan Wild, Longman Scientific and Technical, UK
- Nye, P.H. and Greenland, D.J. 1960: The soil under shifting cultivation. Technical Communication No. 51, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks, UK
- 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
- Ramakrishnan, P.S. 1992: Shifting agriculture and sustainable development. Man and the biosphere series, Volume 10, UNESCO and The Parthenon Publishing Group, UK and USA
- Soil Survey Staff 1992: Keys to Soil Taxonomy, 5th edition, SMSS Technical Monograph No. 19, Blacksberg, Virginia
- Takahashi, T., Nagahori, K., Mongkolsawat, C., and Losirikul, M. 1983: Run-off and soil loss. In *Shifting Cultivation*, (Eds) K. Kyuma and C. Pairintra, Kyoto University, p. 84-109
- 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, 695-708
- Tsutsumi, T. Yoda, K., Sahunalu, P., Dhanmanonda, P., and Prachaiyo, B. 1983: Forest: Felling, burning and regeneration. In *Shifting Cultivation*, (Eds) K. Kyuma and C. Pairintra, Kyoto University, p. 13-62
- Tulaphitak, T., Pairintra, C., and Kyuma, K. 1985: Changes in soil fertility and tilth under shifting cultivation. II. Changes in soil nutrient status. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 31, 239-249
- Zinke, P.J., Sabhasri, S., and kunstadter, P. 1978: 7. Soil fertility aspects of the Lua's forest fallow system of shifting cultivation, In *Farmers in the Forest*, (Eds) P. Kunstadter, E.C. Chapman, and S. Sabhasri, The University Press of Hawaii, Honolulu, pp.134-159