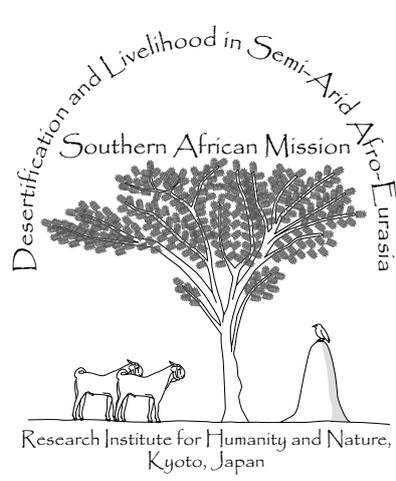


ザンビア東部の農耕と土地資源

田中 樹 監修

安藤 薫 著



序 文

総合地球環境学研究所の研究プロジェクト『砂漠化をめぐる風と人と土』は、アフリカやアジアの半乾燥地における砂漠化問題（資源・生態環境の劣化と貧困）への関心を起点として形成された。プロジェクト名にある「風と人と土」には、対象地域に住まう人々の暮らしとそれを取り巻く社会・文化・生態環境などの諸相を理解しようという意味を込めている。とはいえ、地域理解を深めることは、問題解決への取り組みのみに向けられる志向性の狭いものではなく、ひたすら「知ること」への関心と憧憬に根差すものでもある。プロジェクト名の「風と人と土」は、長い年月にわたり織なされてきた人々の暮らしとそれを取り巻く自然や森羅万象との関わりであり現われを言い表している「風土」に由来する。そして、その中心にある人間の存在（暮らしや文化）にあらためて目を向けようというよい意志を反映させ「風と人と土」とした。

第三号である本書は、南部アフリカに位置するザンビア共和国・東部州ペタウケ県の村落での「草木と人と土」をめぐる研究の報告である。この村落は、同県と同名の小都市から車で小一時間ほど移動したところにあり、緩やかに波動する地形とミオンボ林帯で農耕を主生業とする人びとが暮らしている。人びとはミオンボ林や草原を拓いて畑にする際に、「火入れ」を行う。「火入れ」とは、伐採したり刈り倒して乾燥させた樹木や灌木や草本を燃やすことである。「火入れ」をめぐるのは、一般に、正負の両面があることが知られている。人びとの暮らしを支える作物生産を助ける役割と、その代償としての植生や土壌の損傷である。この作業自体は、土壌に作物の生育を支えるための好ましい条件を引き出すことを意図して行われる。「火入れ」によってかかる温熱の効果で土壌有機物の分解が促され、作物の根が利用しやすい形の養分が放出される。草木が燃えた後の灰の一部は、雨季の雨とともに土壌に溶け込み、植物の栄養となるミネラル分をもたらす、また土壌の酸性条件を緩和したりもする。温熱が十分に加えられた場所では、土壌中にある雑草の埋没種子が破壊されるため、除草作業の負担が軽減する。一方で、伐採され燃やされたミオンボ植生が再びもとの姿に戻るには百年かそれ以上の歳月を要するだろう。作物生産の必要性からその途上で灌木や草本が繰り返し「火入れ」を受けることで、回復することなく草原化したり場合によっては荒地として長いあいだ放置されるかもしれない。「火入れ」後数年間で、土壌は一時的に養分を解放し作物生育を助けつつ養分ストックを徐々に減らしながら疲れていく。人びとが暮らしていくために、周辺の生態環境や土壌資源が緩やかに疲弊へと向かうのは必然なのだろう。

この研究は、2008年4月から2014年5月にわたって行われた。村の人びとの協力のもと、そこで行われているやり方でミオンボ林の一区画を伐採し、火を入れ、作物を栽培した。その一隅に土壁の住居をつくり、滞在し、土壌や灰や作物などの試料を集めた。おびただしい量の試料を大学の実験室でひたすら分析した。時として、研究は愚直な取り組みである。「火入れと土」そして「耕作と土」の関係を明らかにすることに多くの時間を割いた。「知ること」は私たちに力強さを与えてくれる。人びとの暮らしの営みである「火入れ」と耕作が土にどのような変化をもたらすかを詳細に知ること、その発見や経験や認識を起点に新たな知識や技術や迷いのない活動が形成される。

周辺の生態環境や土地資源に大きく依存して暮らす人びとは、崖っぷちをバランスを崩して歩き続ける姿に形容される。この研究が目指すのは、資源や生態環境の劣化を抑えながら日々の暮

らしを豊かにするための働きかけの糸口を見出すことである。このフィールド研究にあてた6年余りの歳月は、それでもなお短い。しかし、「知ることにたどり着いた。これまでの認識を変えるような注目すべき発見も幾つかあった。若い土壌学者である筆者は、ザンビアの村やミオンボ林や人びとの暮らしの風景を膨大なデータに裏打ちされた図や表に重ねながら飾り気のない言葉で力強く描いている。

(プロジェクトリーダー 田中樹)

砂漠化をめぐる風と人と土 フィールドノート3
ザンビア東部の農耕と土地資源

目 次

序 文

001 はじめに

第1章 ザンビア共和国の概要

005 第1節 人々の暮らし

- 1 ザンビアでくらす人々
- 2 歴史
- 3 政治・経済

007 第2節 気候

008 第3節 地形と土壌

009 第4節 植生—ミオンボ林—

010 第5節 農業

- 1 食生活
- 2 農耕
- 3 焼畑農業の特徴

014 第6節 農業大国 ザンビア東部州が孕んでいる問題

014 第7節 調査村

- 1 概要
- 2 農事暦
- 3 試験区の設定

第2章 農村部における農耕の現状

019 第1節 土地利用の実態

- 1 土地資源の重要性とは
- 2 調査方法—土地利用の地図化—
- 3 ミオンボ林と農耕地の利用状況

020 第2節 トウモロコシ栽培の実態

- 1 収量の増加を目指して
- 2 トウモロコシの改良品種の導入
- 3 トウモロコシ栽培の現状と問題点

023 第3節 化学肥料とトウモロコシ

- 1 化学肥料の利用と問題点
- 2 調査方法
- 3 化学肥料によるトウモロコシ収量の増加

027 第4節 まとめ・結論

第3章 焼畑農業—火入れと土地資源—

029 第1節 火入れの現状

- 1 ミオンボ林の減少と焼畑農業の変化

- 2 火入れと収量・土地資源
- 3 目的
- 031 第2節 調査方法
 - 1 試験区の設定
 - 2 火入れ時の温度の測定
 - 3 土壌調査
 - 4 植生・収量に対する火入れ効果の評価法
- 032 第3節 火入れによる収量増加と土地資源の減耗
 - 1 火入れ時の土壌温度の上昇
 - 2 火入れ時の温度と土壌肥沃度
 - 3 火入れ時の温度と植生
 - 4 火入れ法の変化が収量に与える影響
- 038 第4節 まとめ・結論

第4章 焼畑農業—耕作・休閑と土地資源—

- 040 第1節 休閑の短期化と土地資源の劣化
 - 1 土地資源の減耗
 - 2 短期休閑の可能性
 - 3 調査村で短期休閑の利用
 - 4 新たな土地管理の提案に向けて
- 043 第2節 耕作と土地資源の劣化
 - 1 耕作と土地資源の概説
 - 2 調査の準備・方法
 - 3 耕作とトウモロコシ収量
 - 4 耕作と土壌肥沃度
 - 5 土壌水分量と土壌肥沃度
 - 6 耕作と植物遺体
- 049 第3節 休閑と土地資源の回復
 - 1 休閑と土地資源の概説
 - 2 調査の準備・方法
 - 3 休閑と土壌肥沃度
 - 4 休閑と植生
 - 5 休閑時の植生と土壌肥沃度
- 054 第4節 耕作の長期化・休閑の短期化と土地資源

第5章 まとめ・総論

059

061 謝辞

063 参考文献

本書で対象とする国



著者紹介

安藤 薫 (あんどう かおり)

【所属】 京都大学アジアアフリカ地域研究資料センター

【専門】 土壌化学、土壌有機物動態、地域研究 (ザンビア)

【現在関心のあるテーマ】 短期休閑サイクルによる作物収量の変化 (ザンビア)、降水量変動が土壌肥沃度・作物収量に与える影響 (ザンビア)

はじめに

筆者は2008年4月～2014年5月にかけて、南部アフリカに位置するザンビア共和国（以下ザンビア）で農業に関する調査・研究をおこなってきた。調査開始以降のこの7年、首都ルサカでの人々の生活スタイルは止まらず変化していた。その例として、自動車を所有し、移動手段として利用する人が年々増加したことがあげられる。それにともない、出勤時（朝8～9時）・昼食時（昼1～2時）・帰宅時（夕方5～6時）に、渋滞の列が年々長くなっていった。さらに広い駐車場を持つ大型ショッピングモールもつぎつぎと建設された。そのショッピングモール内には、南アフリカ資本の外資チェーンの飲食店がつぎつぎと参入し、食事の選択肢は増えていった。ザンビアでは、トウモロコシの練粥（シマ *nshima*）¹が主食であるが、選択肢の幅の広がりによって、パンやコメを食べる機会も多くなったように思われる。その結果、食品の質も向上し、たとえばパサパサだったパンが少しずつもちりとした食感に変わっていった。

こうした大きな発展は、2003年から経済成長率²が7%前後（IMF 2014）で推移していた結果の産物であろう。この経済成長は、ザンビアで産出される銅資源に大きく依存したものである（銅が総輸出額の約7割を占める）。もちろん、ザンビアの政治体制が安定していることが経済発展の基盤となっていることは間違いない。さらに近年は、政府が農業、観光をはじめとした産業の多角化に積極的に取り組んでいることも、この経済成長に寄与していると考えられる。

国全体の経済発展の影響は、都市部だけではなく農村部にも到達しつつある。ルサカから400 kmほど離れた筆者の調査村周辺にも、2010年にとうとう電線が引かれた。そのおかげで、トウモロコシ子実の電動粉碎機を村ごとに導入できるようになってきている。これまでシマを作るために、トウモロコシ子実を杵でつき粉にしていた女性たちにとって、機械の導入

がどれほどの助けになったことか、想像に難くない。このように農村部の生活も経済成長の恩恵を幾ばくか受けている。しかし依然として村内の多くの世帯には電線が引かれておらず、電気を気軽に使用できる状況には至っていない（2014年現在）。

銅鉱山などの好況な産業部門で生計を立てている国民はごくわずかである。国民のおよそ70%は農業で生計を立てており、その多くは農村部に住む最貧困層で（1人当たり1日の所得：1.25 \$ 以下、World bank 2010）、表面的な経済発展の裏側でその格差は大きくなりつつある。この経済格差の是正を目指し、ザンビア政府は独立後から一貫して農村部での農業生産高の改善を重要な課題の一つと考えている。

農村部での貧困の原因の一つに、近年の急激な人口増加が挙げられる。ザンビアは、日本の約2倍に当たる75万 km²もの国土に日本の10分の1程の1502万人が居住する、人口密度の低い国である（IMF 2014）。しかし1980年からおよそ30年の間に、その人口はおよそ2.6倍に膨れ上がっている³（FAO 2014）。この増加した人口分の食料を補うために、農村部では土地利用圧が高まっている。当地域に広がる疎開林⁴は、畑地への転換の増加や、炭・薪・材木の採取の増加によって、急激に減少している（FAO 2014; Brouwer and Falcão 2004）。実際に調査村では、使用する材木・薪の量が増えたため、村人たちは家から離れた疎開林の中にそれらを採取しに出かけなければならなくなっている。半乾燥地に位置し、近年の人口爆発による疎開林の減少・劣化が進行する最前線であるザンビアは、土地資源（植生、土壌肥沃度⁵など）の劣化、つまりは砂漠化⁶が引き起こされる可能性の高い国である。そして、こうした土地資源の劣化の影響を被るのは、主に農村部の最貧困層である。

以上を背景に、筆者はザンビアでもっとも農業が盛んな東部州が抱えている農業の問題に焦

点を当て、収量を維持・向上できるような土地利用を目指し、研究をおこなってきた。本稿ではとくに、

- A 施用する化学肥料の減少による収量の低下
- B 疎開林の減少による土地資源の劣化

をザンビア東部州の問題として取り上げている。

A に関して、増加した人口分の食料を確保するためには、単位面積当たりの収量の維持・改善が必須である。そのためには、土地利用圧の増加によって劣化しつつある土壌肥沃度を、化学肥料などの農業資材によって補う必要性が高まってきている。しかし近年の肥料価格の高騰により、農村部の人々は今まで以上に化学肥料への投資が難しくなっている。化学肥料の施用量の減少が、収量にどの程度の影響を与えるのか解明し、農村部の現状に沿った施肥管理を提案することは喫緊の課題である。

B ではとくに、焼畑農業に関して研究をおこなった。焼畑農業は収量を確保するために、開墾の際に樹木を燃やすことで（火入れ）、土壌中に不足している養分、とくに作物が利用しやすい養分を補ったり、雑草を抑制したりする農業である。火入れ後、何年か耕作し収量が減少した際に休閑して、土壌肥沃度の回復・樹木の再生を図る（Nye and Greenland 1960）。しかし近年、東部州では人口増加によって土地利用圧が高まり、耕作期間が長期化・休閑期間が短期化し、土地資源の劣化が危惧されている（Chirwa *et al.* 2004）。一方で従来の休閑期間が必要以上に長く、短期化した休閑期間でも十分に土地資源を回復できる可能性も示唆されている（Hauser *et al.* 2006）。このように、近年の疎開林の減少によって土地資源がどのように変化するか未だ不明瞭であり、その解明が待たれる。

そこで本稿は以下のような章立てで、A、B の問題に対する筆者の研究を紹介したい。

第1章ではザンビアの人々の暮らしを歴史・政治・経済の観点から概観している。そしてザンビアの人々がどのような環境で農耕をしているか、気候・地形・土壌・植生の特徴をまとめている。その後、ザンビア東部州の農村部における農耕の特徴と現状を概観する。本稿の第3章・第4章で記述している東部州の焼畑農業を他の熱帯地域の焼畑農業と比較し、その特異性を述べている。最後に土地資源や収量の観点から見たザンビア東部州の農耕の問題点をまとめている。その問題の解決に向け調査村を選定し、第2章から第4章の試験設定について概要を述べている。

第2章では調査村の問題を浮き彫りにするため、疎開林（休閑地）・農耕地が村の中でどの程度の面積を占めているのか調べ、土地利用の現状について述べている（倉光ら、未発表データ）。さらにザンビアの主食作物であるトウモロコシ栽培に着目し、化学肥料の施用量の違いによって収量がどの程度異なるのかを明らかにする。トウモロコシの在来品種（自家消費用）と改良品種（換金用）の両品種の栽培試験を、降水量の違う2作期にわたって実施し、化学肥料がトウモロコシ収量に与える影響についてまとめている（未発表データ）。

第3章では、焼畑農業の火入れ（伐倒した樹木を燃やすこと）に関する調査をまとめている。ザンビア東部州では、昨今の疎開林の減少により、火入れ時に燃やされる樹木の量も減少している。火入れ時に燃やす樹木の量によって土地資源や収量も変化しうる。その変化をもたらすメカニズムについて説明を加えながら、火入れが土地資源（土壌肥沃度や植生）と収量に与える影響についてまとめている（論文として発表済み；Ando *et al.* 2014a）。

第4章では、焼畑農業の耕作と休閑に関する調査をまとめている。耕作年数の増加による土地資源と収量の変化を明らかにし、その後の短期間の休閑で土地資源は回復するのかどうかについてまとめている。耕作・休閑によって土地資源が変化するメカニズム、とくに土地資源で

ある土壌肥沃度と植生が相互に作用しながら変化することについて説明している。最後に、耕作の長期化・休閑の短期化が土地資源に与える影響をまとめ、調査村の土地資源の劣化に対する解決の糸口を提案している（一部は論文として発表済み；Ando *et al.* 2014b）。

第5章では、第2～4章の調査結果をもとに、ザンビア東部州の農耕と土地資源についてまとめ、最後に今後の展望について述べている。

本稿で掲載した写真は但し書きがない限りにおいて、筆者が撮影したものである。

- 質が損なわれること
(3) 自然の植生が長期的に失われること

註

- シマの作り方の概要は、トウモロコシの粉を沸騰した鍋に入れ、加熱しながら力強く練り上げて、最後に何分かふかして出来上がる。家庭ごとに味や食感がことなっていることが特徴で、まさに家庭の味といえる。
- GDPが前年比でどの程度成長したかを表したものの。
$$\text{経済成長率} = (\text{当年の GDP} - \text{前年の GDP}) \div \text{前年の GDP} \times 100$$
- 1980年から30年間の人口増加率は世界全体で1.6倍であるが、サブサハラ以南アフリカに限れば2.5倍に増加している。
- 疎開林とは、樹木が疎らに生え林床にイネ科の草本が茂る植生である。樹高は20 m以下であることが多い。
- 土壌肥沃度とは、作物が育つ十分な養分があるかどうかの指標である。作物にとっての必須養分元素である窒素・リンなどの土壌中の存在量や、それら必須養分元素の給源である土壌有機物量として表されることが多い。
- 1994年に批准した砂漠化対処条約では、砂漠化を「乾燥地域、半乾燥地域及び乾燥半湿潤地域における種々の要因（気候の変動及び人間活動を含む）による土地の劣化」と定義している。ここでいう土地の劣化とは、以下のことを指す。
 - 風又は水により土壌が侵食されること
 - 土壌の物理的、化学的、生物学的、経済的特

はじめに

第1章 調査地の概要

第1節 人々の暮らし

1 ザンビアでくらす人々

ザンビアは南部アフリカ¹に位置する内陸国で、タンザニア、マラウィ、モザンビーク、ジンバブウェ、ボツワナ、ナミビア、アンゴラ、コンゴ民主共和国に囲まれている。ザンビアは、東アフリカに分類されることもあるが（国連による分類、図1-1）、南アフリカ資本の企業が

多く参入していることや、南部アフリカ開発共同体（SADC）²に属していることなど経済的な結びつきの面からは南部アフリカに属する。

人口は2014年現在で1502万人であり、73の民族集団からなる（掛谷・市川1983; 図1-2）。主には北部にベンバ（Bemba）、南西部にはイラ（Ira）、トンガ（Tonga）、ロジ（Lozi）、東部にンセンガ（Nsenga; 図1-3）、トゥンブカ（Tumbuka）、ンゴニ（Ngoni）、チェワ（Chewa）が居住している。イギリス植民地であったため公用語は英語であるが、ベンバ語・ニャンジャ語・トンガ語も主要言語である。

筆者が接してきたザンビアの人々は限られているものの、民族集団に関わらず穏和である人が多かった。これは、帯同させてもらったナミビア・カメルーンでの調査を通して、筆者が感じた感覚である。独立以後のザンビアの政治体制が安定しているのも、彼らの性格がある程度影響しているのではなかろうか。またさらに、IEP（Institute for Economics and Peace）によって発表された世界平和度指数³なる指標によって、ザンビアは世界第44位、アフリカ大陸ではもっとも平和な国と評価されたことによっても裏付けられる（2014年時のデータ）。

そのほか、ザンビアの人々の暮らしを表す項目を表1-1にまとめたので、参考にしていただきたい。

南部アフリカの分類体系



図1-1 アフリカ大陸の地域分類の定義による違い
国際連合（UN）、アフリカ連合（AU）、南部アフリカ経済開発共同体（SADAC）



図1-2 ザンビアの民族集団の分布図
（Davies 1971 を引用）

表1-1 ザンビア共和国

項目	詳細
通貨	ザンビア・クワチャ（1ドル=5.18クワチャ）*
識字率**	83.6%
宗教	キリスト教（プロテスタント・カトリック）が9割以上 イスラーム教・ヒンドゥー教など
HIV感染率***	12.5%（世界第7位）
出生率	5.73人
平均寿命	57歳

* 2015年2月現在

** 15歳以上の調査結果（Unesco 2013）

*** HIVに感染した人が人口に占める割合を示す（15歳から49歳）（World Bank 2012）



図 1-3 ンセンガの女性（2009年3月撮影）

2 歴史

ザンビアは1964年にイギリスから独立を果たした。どのような経緯でイギリス植民地におかれ、そして独立に至ったのか、概要を述べる（林2010）。

19世紀半ばにイギリス人が初めてザンビアの地に訪れ、その後19世紀末に鉱山資源を求め、イギリス南アフリカ会社が南ローデシア（現在のジンバブウェ）と北ローデシア（現在のザンビア）全域を支配下に置いた。しかしその後、鉱山資源の少ない北ローデシアへの白人入植は進まず、北ローデシアはイギリス政府の直轄植民地となった。

1925年に北ローデシア中部（現在のザンビアコッパーベルト州）に銅の富鉱が発見されると、アメリカ系列とイギリス系列それぞれの会社による採掘がはじまった。北ローデシアの銅の産出量は、世界恐慌（1929年）と銅価格の暴落（1931年）を乗り越えるほどであった。

南ローデシアに住むイギリス系白人はこの銅資源に着目し、1953年に南ローデシア・北ローデシア・イギリス領のニヤサランド（現在のマ

ラウイ）をローデシア・ニヤサランド連邦に改編し、白人の利益を優先する連邦政府を設立した。この連邦政府は黒人民族主義者の反発を招き1963年に崩壊し、翌1964年7月にニヤサランドはマラウイとして独立を達成し、北ローデシアもケネス・カウンダと統一民族独立党により、1964年10月24日にザンビアとしてイギリスから独立した。

3 政治・経済

ザンビアは2011年現在で世界第7位の銅産出国である。ザンビアは独立以後も銅に依存したモノカルチャー経済であったので、経済成長も農業生産も、銅の国際価格によって変化してきた。独立直後の10年間はザンビアの黄金時代といわれるほど、銅の高価格に支えられた目覚ましい経済成長を遂げた。一方でカウンダ政権は銅に大きく依存した経済は危険であると考え、農業分野にも力を注いだ。当初は白人農家の流出などにより農業生産は伸びなかったが、トウモロコシの買い取り価格の引き上げやヒマワリの生産奨励などにより1975年までに農業

分野の生産量は増加した。しかし1970年代後半に銅価格の低下とそれに付随した銅生産量の低下によって、ザンビアの経済は低迷した。その結果、トウモロコシ生産への補助金のねん出が難しくなり、トウモロコシ生産量も減少した。

対外債務⁴が積み重なったカウ ندا政権は1991年にチルバ政権へと交代した。新政権は世界銀行の構造調整計画を積極的に受け入れ、トウモロコシと肥料に対する補助金の廃止と市場の自由化を打ち出した。その結果、とくに市場からの距離が遠い農村部の農業は大きな打撃を受け、肥料の高騰によってトウモロコシ生産は減少した。1964年のザンビア独立後の政治・経済については、島田(2007)に詳しい。

2005年のムナワサ政権時によりやく世界銀行指導の構造調整計画が評価されるに至り、対外債務負担が大幅に削減された。その後は、2006年からの銅の価格の上昇に支えられザンビア経済は好況となり、2010年から再び政府による高価格でのトウモロコシの買い付け・肥料購入の援助がはじまったのである(Mason and Myers 2011)。このように独立してから50年経った今でも、初代政権から目標としていた銅依存経済からの脱却には至っていない。

第2節 気候

ザンビアの気候を表す特徴の一つとして、半年に及ぶ乾季(4～10月)と雨季(11～3月)に分かれていることがある。その例として、図1-4にザンビア東部州の調査村での降水と気温の季節変化を示している。このような明瞭な雨季・乾季をもたらしているのが熱帯収束帯の移動であり、南緯10～15度に位置するザンビアでは熱帯収束帯が南下してくる夏季(11～3月)に大気が不安定になりやすく、雨季到来となる。

ザンビアの年平均降水量は地域によって異なるが、およそ800～1500mm程度である。熱帯収束帯が夏季に南下してくることを反映し、年平均降水量はザンビア北部から南部にかけて

減少する傾向にある(図1-5、木村2005)。降水量が年によって大きく変化することも、ザンビアの気候の特徴である。年によって熱帯収束帯の移動が変化することに起因している。その例として、年平均降水量が1000mm程度である東部州に着目すると(図1-6)、過去40年間

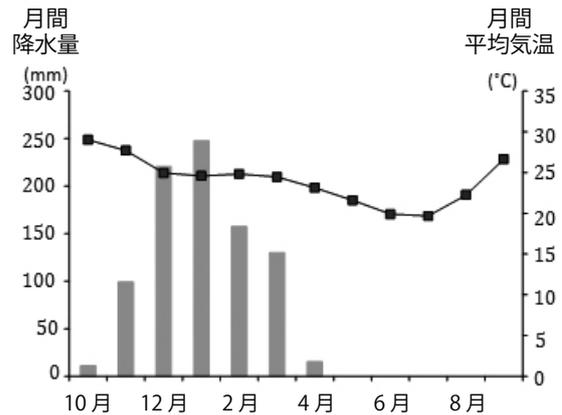


図1-4 ザンビア東部州の降水量と気温の季節変化 (ペタウケ県M村の圃場で2007～2013年にわたり測定した値の平均)

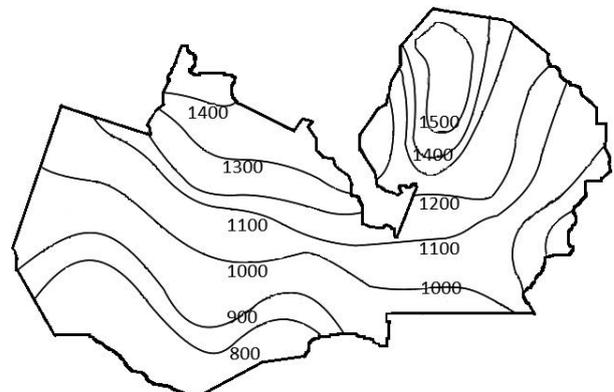


図1-5 ザンビア国内の降水量の違い (Wheat Atlasのデータを一部改編)

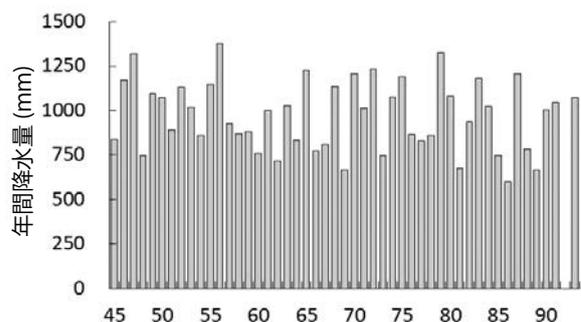


図1-6 ザンビア東部州ペタウケ県の年間降水量の変動 (Zambia meteorology department よりデータ提供)

に 596 ~ 1381 mm の間で年間降水量は変動しており、多い年と少ない年では 2 倍強も異なる。

ザンビアの気温は日変動のほうが年変動よりも大きい、熱帯特有の気温変化を示している(図 1-4)。年平均気温に地域差はそれほどなく、おおよそ 20 ~ 24℃で、最寒月は乾季の 7 月、最暑月は雨季前の 10 月になる(雨季は曇天の日が多く、気温はそれほど上昇しない)。

第3節 地形と土壌

内陸国であるザンビアの大部分は標高 900 ~ 1300 m の高地が占めている(図 1-7)。アフリカ大陸は安定した楕状地を起源としており、南部アフリカでは 1000m を超える標高に高原がひろがっている(図 1-8)。この広大な高原状の地形面は、安定した地塊の上で非常に長い年月をかけて削剥され出来上がった準平原である(八木 1988)。南部アフリカの準平原は崖地形に囲まれており、ザンビア南部、ジンバブウェとの国境に存在する、世界三大瀑布のヴィクトリア滝⁵はその一例で、幅は 1708 m もあり、標高は 347 m から 239 m まで下がる。

ザンビア北部に源を発し、ヴィクトリア滝を流れたザンベジ川は、流向を東に変え、世界最大の貯水量を誇るカリバダムに注ぎ、モザン



図 1-7 ザンビア東部州にひろがる高原 (2010 年 4 月撮影)

ビークを通過してインド洋へ至る。そのザンベジ川の支流の一つに、ルアングア川がある。ルアングア川はザンビア東部州を横断するように流れる全長 800 km ほどの川である。ルアングア川が流れる一帯は谷地形になっており、アフリカ大地溝帯の南端といわれている。標高は低い場所で 520 m まで下がる。

ザンビアの土壌⁶は、 Gondwana 起源の傾斜の小さい安定陸塊(楕状地)で、長きにわたり、侵食作用や火山活動といった攪乱なしに土壌生成作用を受けてきた場所が多く、いわゆる発達した土壌が多い⁷。ザンビアの中でも比較的雨の多い北西部や北部、中部にかけては(図 1-5)、養分が洗い出されたオキシソル(Oxisols)と呼ばれる貧栄養な土壌が主にひろがっている

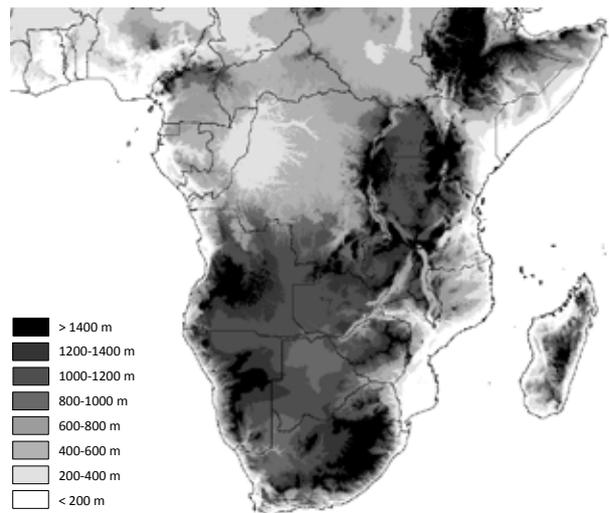


図 1-8 アフリカ大陸の標高 (データ: WorldClim)

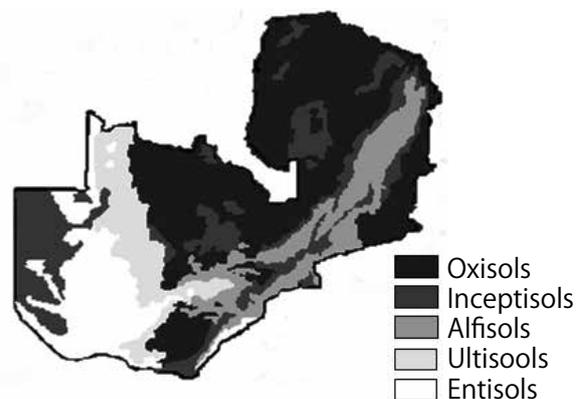


図 1-9 ザンビア国内にひろがる土壌 (Soil Taxonomy USDA)

(図 1-9; Soil Survey Staff 2006)。南部や南東部はやや降水量が少なく、養分の洗脱がそれほど進まなかったアルフィソル (Alfisols) と呼ばれる土壌もひろがっており、農業に適した比較的肥沃な土壌がひろがっている (図 1-9)。また西部には、排水不良な丘陵地と、カラハリサンド⁸ が積もった養分保持力が小さいエンティソル (Entisols) という土壌がひろがっている。

第 4 節 植生—ミオンボ林—

明瞭な乾季を持つ南部アフリカの半乾燥帯には、樹木が疎らに生え、下層植生となる草本がよく生育したサバンナ植生が広がっている。ザンビア一帯に広がるサバンナ植生は、ミオンボ林、モパネ林、カラハリ林、ムンガ林や、草地に大きく分けられる (図 1-10)。

ザンビアの大部分はミオンボ林に覆われている (図 1-10)。本稿ではとくにミオンボ林について詳細に紹介したい。ミオンボ林は南部アフリカ 11 か国 (アンゴラ、ブルンジ、ボツワナ、コンゴ民主共和国、マラウィ、モザンビーク、ナミビア、南アフリカ、タンザニア、ザンビア、ジンバブウェ) 270 万 km² にひろがる。

ミオンボ林は、主にマメ科樹種である *Brachystegia* 属、*Isoberlinia* 属、*Julbernardia* 属によって構成される。ミオンボ林は写真のように (図 1-11) 樹冠が開いているために、林床には青々としたイネ科草本が揺れる、見通しのよい明るい林である。疎開な林ゆえに、バイオマス量は 69 ~ 90 Mg ha⁻¹ 程度と低い (Chidumayo 1997)。疎開な林が成立している要因は、土壌・気候・定期的な攪乱、の 3 つである。Ryan ら (2011) によると、ミオンボ林は①貧栄養な土壌で、②年間降水量が 700 ~ 1400 mm の明瞭な乾季がある気候下で、③野火による定期的な攪乱があることで維持される。またミオンボ林の樹木の多くは、種子からの実生による更新よりも、根や切り株からの萌芽更新が卓越しているといわれている (Luoga *et al.* 2004)。半年に

わたる乾季があることなどがその理由としてあげられている。

ミオンボ林は食べ物や薪炭材⁹、薬や建築資材を住民に提供するだけでなく、近年は炭素蓄積源や水涵養地としても注目されている。およそ 1 億人の人々がミオンボ林の恩恵を受けているといわれ (Cambell *et al.* 2007)、とくに貧しい人々は薪炭材を作ったり、薬となる樹木を採取したりなど、ミオンボ林から収入をえている。

現在、ミオンボ林の被覆面積の急激な減少が報告されており (表 1-2)、その減少面積は南部アフリカ 11 か国の中でもザンビアが一番高いと報告されている (Cambell *et al.* 2007)。主な原因は、人口増加にともなう耕地への転換と



図 1-10 ザンビアにおける植生の分布



図 1-11 ミオンボ林の二次林 樹冠が開き、下層植生の草本が生える (2012 年 12 月撮影)

表 1-2 ミオンボ林が優占している地域の森林減少 (FAOSTAT)

	全面積 (1000 ha)	減少面積 (1900-2005)	
		1000 ha	減少率 (%)
ザンビア	42452	-7120	-16.8
タンザニア	35272	-6592	-18.7
ジンバブウェ	17540	-5008	-28.6
アンゴラ	59104	-2000	-3.4
モザンビーク	19262	-800	-4.2
マラウイ	3402	-528	-15.5

薪炭材の利用増加といった、人為的影響によるものである。

ザンビアに広がるそのほかの植生について、簡単にその特徴を述べる。モパネ林はマメ科樹種のモパネ (*Colophospermum mopane*) が単一で優先する植生でザンビア東部のルアングア川に沿うように分布する。カラハリ林は *Guibourtia* 属、*Burkea* 属、*Diplorhynchus* 属などが優占する植生で、ザンビアの西部州や北西州に分布する。ムンガ林は背の高い草本植生に灌木が点々と存在する植生で、マメ科の *Acacia*

属、シクンシ科の *Combretum* 属や *Terminalia* 属が優占した灌木林である。モパネ林、カラハリ林、ムンガ林はバイオマス量がおおよそ 40 Mg ha⁻¹ 程度と、ミオンボ林よりも低い (Chidumayo 1997)。

第5節 農業

1 食生活

主食のシマは、トウモロコシ子実¹⁰の粉から作られる。製粉時のトウモロコシ子実の外皮の削り具合によって、シマの風味は異なる。たとえば外皮が削られた「ブレックファウスト」で作られたシマはくせが少なく、初めて食べる人にはなじみやすい。また外皮を削らずに製粉した「ローラー」のシマは風味が強い。付け合せのおかずとして食卓に上るのは1品か2品である (図 1-12)。シマのおかずにはキャベツ・オクラといった野菜、カボチャの葉やサツマイ



図 1-12 ザンビアの食事 中心が *nshima*、左奥が肉もどき (ダイズの搾りかす)、左手前が *delele* (モロヘイヤのような雑草)、右奥が *kalemba* (サツマイモの葉) (2009年10月撮影)

モの葉や畑に生える食用草（モロヘイヤに似た草）、マメ、ダイズの搾りかすで作られた肉もどき（鶏肉のような食感）、タマゴ、小魚などが調理される。調理法は炒めるか煮ることが

多く、味付けは基本的にはトマト・タマネギ・油・塩である。農村部では、ニワトリを絞めて食べることはあるが、ヤギ（図 1-13）・ブタ（図 1-14）を絞めて調理することはハレの日以外滅多にない。



図 1-13 ヤギを絞める（2009年3月撮影）

2 農耕

ザンビアの農業は商業的な大規模農家でない限り天水に依存し、また多くの農家は無施肥で作物を栽培している。雨季に主としてトウモロコシが栽培（自家消費用と換金用）されているが（図 1-15）、食用油となるヒマワリや、ワタの栽培（換金用）も増加している（図 1-16）。農村部では、トウモロコシの在来品種が自家消費用に作付され、改良品種が換金用に作付されている。トウモロコシの在来品種は村人たちに根強い人気がある。その理由として食味がいい、貯蔵中に虫害を受けにくいなどがあげられていた。



図 1-14 ブタを焼いた後（2014年5月撮影）



図 1-15 収穫前のトウモロコシ畑（化学肥料を施用）（2013年4月撮影）



図 1-16 ザンビアに広がるさまざまな畑たち（2011年4月撮影）
綿花畑（化学肥料と殺虫剤を施用、写真左）、ヒマワリ畑（写真右）



図 1-17 ザンビアの乾季畑
野菜など換金作物を栽培（2011年4月撮影）

面積は広くないが、乾季に野菜を栽培する畑がある（図 1-17）。乾季畑は、雨季には季節河川となる湿地帯に設けられる。雨季には冠水しているので使用できないが、乾季には水位も下がり畑として利用できる。乾季畑は多くの農村に点々と存在している。

ザンビアでは伝統的に、焼畑農業がおこな

われている（図 1-18）。開墾の際に樹木を燃やすことで（火入れ）、土壤中に不足している養分、とくに作物が利用しやすい養分を補ったり、雑草を抑制したりする効果がある。火入れ後、何年か耕作し収量が減少した際に休閑して、土壌養分の蓄積・樹木の再生を図る（Nye and Greenland 1960）。ザンビアでは近年、常畑化が進んでいるものの、いまだに農村部では焼畑農業にも依存した農耕をおこなっている。ここでザンビアの焼畑農業をほかの熱帯地域の焼畑と比較しつつ、特徴を説明しよう。

3 焼畑農業の特徴

ザンビアの焼畑農業は、東南アジア・南米・西アフリカなどの熱帯雨林地域や日本の焼畑農業とことなる点がある。違いを生み出す要因の一つに、ミオンボ林のバイオマス量の低さがある（Ando *et al.* 2014a）。熱帯雨林地域では、開墾地全体に樹木を積み上げることが可能なので、火入れの効果は開墾地全体にいきわたる。



図 1-18 ザンビア東部州の焼畑農業の火入れ（2010年10月撮影）



図 1-19 耕地内の火入れの空間的なばらつき（白く見える場所が灰の積もった火入れ場所）

一方でザンビアでは、バイオマス量が低いので、開墾地全体に樹木を積み上げることはできない。そのためザンビア北部州では、開墾地の樹木だけでなく、周りの休閑林を枝打ちし、その枝も合わせて開墾地に積み上げることで、開墾地全体に火を入れることができる（詳細は以下の論文を参照していただきたい；Strømgaard 1984, 1992; Chidumayo 1997; 荒木 2001 など）。一方で東部州や南部州では、開墾地で倒された樹木だけを使用し、畑の一部にのみ樹木を積み、火を入れており（図 1-19）、火入れの影響は開墾地全体に及ばない。よって、開墾地内には火が入った場所、火が入らなかった場所が混在している。

なぜこのように火を全体に入れる場合と入れない場合が存在するのか。その理由は、火入れの目的の違いによるのだろう。焼畑がおこなわれている多くの熱帯地域、およびザンビア北部州では酸性土壌がひろがっている。酸性土壌では、樹木を燃やした後に残る灰が土壌へ添加さ

れ、土壌の酸度が矯正されなければ¹¹、収量を与えることができない。よって、火を全面に入れる必要がある（Nye and Greenland 1960; Strømgaard 1984）。一方で、東部州では土壌は酸性ではなく、灰の添加がなくてもある程度の収量は確保できるので、開墾地全面を必ずしも焼く必要はない。開墾後に樹木を焼くことは、収量も増加し、耕すのも楽になるので、一石二鳥である、という考え方をしている村人もいる。このように、ほかの各地域でおこなわれる焼畑でも、それぞれの地域の地形・土壌・植生の条件に合わせ、多少その方法は異なっている。

昨今ザンビアでは、火入れ時に燃やすバイオマス量も減少している。以前は樹高が 20 m を超えるような樹木（高木）を主に燃やしていたが、高木の量は減少し、現在は 5～10 m の樹木を燃やす場合が増加している。この燃やすバイオマス量の減少によって、上記に説明した火入れの効能が十分に発揮されず、収量の減少が危惧されている。

第6節 農業大国 ザンビア東部州が孕んでいる問題

ザンビアは10つの州（北部州、ルアプラ州、ムチンガ州、コッパーベルト州、中央州、ルサカ州、北西州、東部州、西部州、南部州）からなるが、とりわけ東部州で農業は盛んである。ザンビアの北部、北西部では養分の抜け落ちた酸性土壌がひろがり、南部では降水量が少なく干ばつが起こりやすく、西部では水はけの悪い低地土壌や養分保持力の低い砂質土壌がひろがっているからだ。東部州はザンビア国土の中では比較的土壌も肥沃で降水量もあり、もっとも農業に適した州である（Kumar 1994）。農業に適しているといっても国内での相対的な話であり、これまで述べてきたような問題が東部州の農業にもある。主な問題を以下に4つ（a、b、c、d）示す。本稿ではとくに、bからdの問題に着目し、調査村における現状を把握し、解決への道筋を検討することとした。

- a. 年次変動が大きく不安定な降水であるにも関わらず、天水に依存した農業
- b. 世界的にみれば貧栄養な土壌であるにも関わらず、化学肥料の高騰による肥料低投入または無施肥の農業
- c. 休閑年数の減少によって樹木が十分に育た



図1-20 ザンビア東部州の圃場試験場の位置

ず、燃やす樹木の量が減少し、火入れによる増収効果が低下した農業

- d. 耕作年数の増加や休閑年数の減少によって、土壌養分が十分に回復せず、土壌劣化による低収量な農業

第7節 調査村

1 概要

本研究の調査村は、ザンビア東部州ペタウケ県の農村に選定した（標高 890 m、14° 08'S, 31° 43'E; 図1-20）。村民の大部分はンセンガであり、ンセンガ語を話す（小倉 2009）。近年はマラウィから移住してきたチェワも増加している。東部州ペタウケ県の中心街であるペタウケ市周辺の農耕地は常畑化しており、ミオンボ林は著しく後退している。筆者が選定した調査村は、そのペタウケ市中心街から 30 km ほど北西にいった場所にある。調査村あたりは、ミオンボ林が

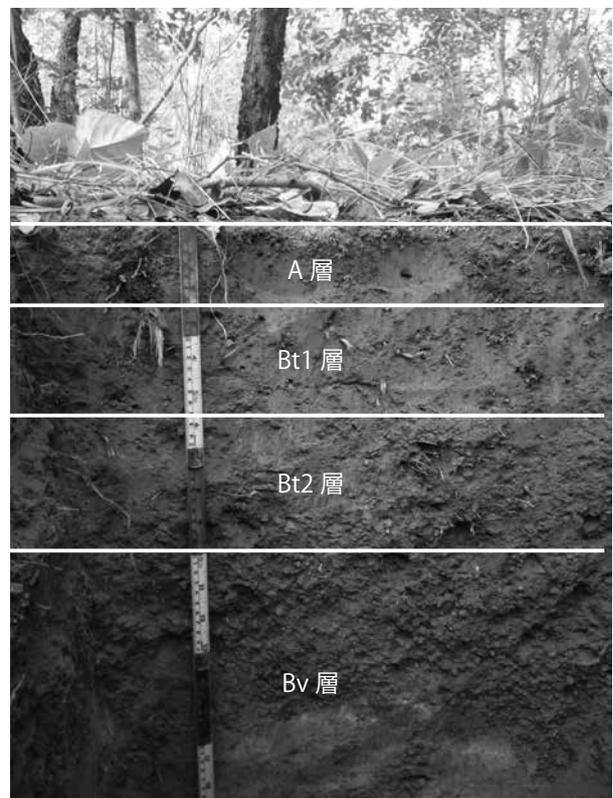


図1-21 土壌断面（休閑20年以上のミオンボ林）（2013年5月撮影）

表 1-3 土壌の一般理化学性

	深さ (cm)	pH*	全窒素 (%)	全炭素 (%)	CN 比 **	土性			交換性塩基				CEC***
						砂	シルト	粘土	Ca	Mg	K	Na	
A 層	0-5	6.76	0.091	1.4	15	75	14	11	4.8	1.8	0.2	0	7.43
Bt1 層	5-17	6.76	0.042	0.58	14	62	16	22	1.9	1.1	0.3	-	4.63
Bt2 層	17-30	6.64	0.04	0.44	11	60	19	20	1.3	15.1	0.3	0	5.87
Bv 層	30-60	6.51	0.044	0.45	10	57	30	13	1.3	1.4	0.4		7.51

* pH は土液比 1:5 で抽出

** 窒素に対しどれだけ炭素があるか表した指標

*** CEC (Cation exchange capacity) 交換性陽イオン容量。どれだけ養分を保持できるかの指標。酢酸アンモニウム (pH7.0) で抽出

A 層は分解された植物遺体の影響を受け黒みがかかった (有機物の色) 無機質層、B 層は植物遺体の影響が A 層より小さく、構造が発達した無機質層を指す。小文字の t は粘土が集積していることを示し、v はプリンサイト (鉄が多く含まれた物質、熱帯土壌で見受けられる) を示す。詳しくは註 12 を参考のこと。

表 1-4 ザンビア東部州の農村の農事暦

	乾季					雨季						
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
開墾・ 伐倒した樹木の乾燥	←————→											
火入れ				←————→								
耕起 (人力)	←————→											
耕起 (牛耕)						←————→						
播種						←————→						
除草							←————→		←————→			
収穫	←————→											←————→

村を取り囲むように成立しているものの、薪炭材の採取量の増加によってその面積が減少しつつある場所である。調査村のミオンボ林は、*Brachystegia manga*、*Julbernardia globiflora*、*Diplorhynchus condylocarpon* が優占種であり、バイオマス量は 39 Mg ha⁻¹ であった。このミオンボ林下の土壌を 60 cm ほど掘り、土壌断面¹²を作成し (図 1-21)、その特性を表 1-3 に示した。作物が利用しやすい養分の指標である交換性塩基量はそれほど低くない。しかし土壌に存在する養分全量の指標である土壌炭素量・窒素量は低い土壌である。pH は中性であり、灰による pH 矯正が必要な場所ではない。60 cm より深くなると礫量¹³が増加し、植物根の伸長が難しくなるほどであった。調査村の年平均降水量は 860 mm 程度であったがその年次変動は大き

く、762 ~ 1019 mm の間で変化していた (2007 ~ 2013 年)。

2 農事暦

トウモロコシ作付けの農事暦を表 1-4 に示す。新たに畑を開く場合は、雨季終了後の 5 月に休閑林を開墾する。伐倒した樹木は圃場の一部に積み上げ (図 1-19)、乾季に樹木を乾燥させ (5 ~ 10 月)、雨が降り出す前に火を入れる。その際、延焼を防ぐために、樹木が積みあがっていない場所は火を入れる前に耕す (火が入った場所は、直後 1 年の耕作では耕さない)。そして、雨が断続的に降り始める 12 月以降に播種する。なかには最初の雨を逃さないよう、11 月中旬に播種する畑もあり (Early planting)、降雨をいかにとらえるか農家によって戦略はこ

となる。播種後3週間ほどで1回目の除草、播種後6週間ほどで2回目の除草と畝立てをおこなう。播種後3か月ほどで登熟し、その後1か月ほどでトウモロコシを立ち枯れさせ、4～5月に収穫する。

3 試験区の設定

試験区の概要を説明するが、詳しくは3・4章の試験設定を参照されたい。調査村の焼畑農業の慣行法にしたがい、開墾・火入れ・耕作(1～40年)・休閑(1～3年)の試験区を設けた。侵食の影響を除くために平坦な場所に試験

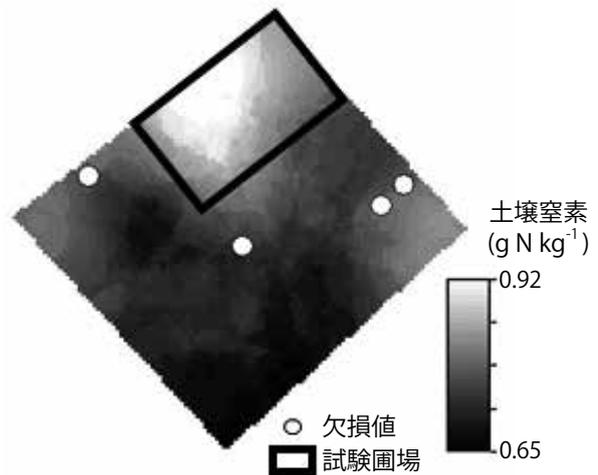


図 1-22 試験圃場内の土壌窒素量の空間変動

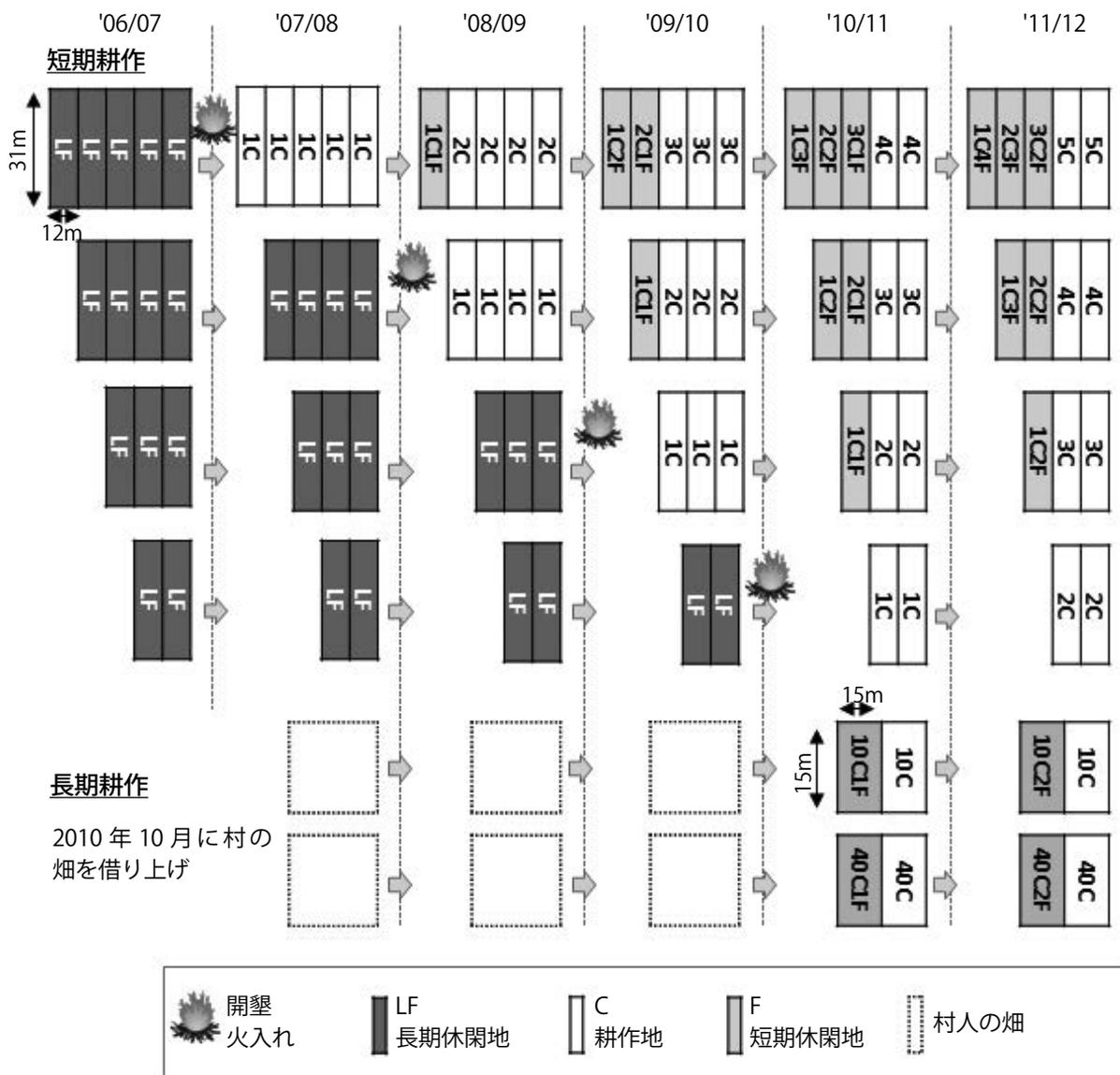


図 1-23 試験圃場の設定 (6年にわたる試験圃場の試験履歴)

耕作(C)と短期休閑(F)の前の数字は年数を示す。たとえば、1Cは耕作1年圃場で、1C1Fは耕作1年した後の休閑1年目を示す

区を設定した。また試験区間の比較ができるよう、土壌炭素・窒素含量と植生が均一な場所(100 × 230 m)に試験区を設定した(図 1-22)。2007 ~ 2010 年にかけて、毎年、試験区の一部を開墾・火入れした後耕作し、一部は休閑地に戻し、残りは耕作を続けた(図 1-23)。耕作 1 ~ 5 年の試験区と、それぞれの耕作年数後に 1 ~ 3 年休閑に戻した試験区が最終的には出来上がった。ただし 10 年・40 年耕作試験区は、村内にあるトウモロコシ単作無施肥の農耕地を借用し設定した。

註

- 1 アフリカ大陸は、北アフリカ、西アフリカ、中部アフリカ、東アフリカ、南部アフリカの 5 つの地域に分けられることが多い。
- 2 SADC (Southern African Development Community: 南部アフリカ開発共同体): 南部アフリカ開発調整会議を前身とし、1992 年に設立され、現在 14 か国が加盟している。2018 年までに共通通貨の導入を目指している。貧困の削減を主眼に置いた経済協力の強化と安全保障面での協力強化などを目的とし、21 の分野にわたったプロジェクトを掲げる組織である。
- 3 世界平和度指数は、治安に関する 22 の指標を使用し、各国を相対的に評価したものである。2014 年現在で 162 ケ国を対象としている。ただし、実際の治安の良し悪しを正確に評価できていない、という批判も多い。たとえば、犯罪発生率が日本より圧倒的に高い国が、日本よりも上位にランキングされていることもある。
- 4 対外債務とは、開発資金をまかなうためや経常収支の赤字を補うために、先進国や国際機関、民間企業などから借り入れた国際的な債務をさす。
- 5 イギリス人の宣教師であり探検家でもあるデイビッド・リヴィングストンは 1855 年にヨーロッパ人として初めてこの地を踏襲し、壮大な滝と出会った。彼はこの壮大な滝を女王の名にちなんでヴィクトリア滝と命名した。
- 6 土壌は 5 つの因子(気候、生物、母材、地形、時間)によって生成していく。母材(火成岩や堆積岩といったもの)が長い年月にわたって化学的・物理的に風化されて土壌は生成する。たとえば化学反応は気温が高くなるほど進みやすく、乾湿や寒暖の差が激しいと物理的な風化は進みやすい。
- 7 発達した土壌とは、土壌肥沃度が高い土壌という意味ではなく、長い間風化作用を受けた「強風化土壌」といわれる養分が抜け落ちた貧栄養な土壌のことである。
- 8 カラハリサンドはザンビア西部に広がる土壌のことで、石英砂が主体であり、土壌水分を保持できる粘土やシルトが極端に少ない(村尾 2006)。
- 9 ここでいう薪炭材は、firewood(薪)と charcoal(炭)であり、firewood は各農家の燃料となるが、charcoal は多くの場合、販売用である。
- 10 トウモロコシは黄色いスイートコーンではなく、白いデントコーンで、味はあまりしない。
- 11 土壌が酸性、中性、アルカリ性であるか判断する基準として pH を用いる。pH は H^+ の濃度を常用対数で表したもので ($pH = \log[H^+]^{-1}$)、pH5.6 以下が酸性となる。北部州の pH (H₂O 抽出) は 5.0、東部州では 6.6 程度である。
- 12 土壌がどのように生成したか調べるために土壌断面を作成する。土壌分野の調査では、断面調査は基礎データであり最初の調査におこなわれる。上から O 層、A 層、B 層、C 層といった層位に分けられることが多い。O 層は主に未分解の植物遺体によって構成される有機物層、A 層は分解された植物遺体の影響を受け黒みがかかった(有機物の色)無機質層、B 層は植物遺体の影響が A 層より小さく、構造が発達した無機質層、そして C 層は母材が風化しつつある層を指す。
- 13 礫は 2 mm より大きいものことで、一般的に石とみなされるものである。粒径の大きさが 2 mm 以下のものが土壌として扱われる。本稿を通して土壌のすべての分析は粒径の大きさが 2 mm 以下のものでおこなっている。

第2章 農村部における農耕の現状

第1節 土地利用の実態

1 土地資源の重要性とは

ザンビアの大部分を覆うミオンボ林は土地利用圧の増加によって著しい減少に直面している(Brouwer and Falcão 2004)。

ミオンボ林はとくに農村部に住む人々にとってなくてはならない資源である。シロアリ害¹に耐性があり建築資材となる樹木、虫の採取に利用される粘着質な樹液をもつ樹木²、雨乞いに用いる神聖な樹木³(小倉 2009)など、ミオンボ林には人々の生活に欠かせない有用樹種が多く存在している。また生活に必要な燃料となる薪をえたり、販売用の炭を生産したりする(図2-1)重要な場でもある。さらにミオンボ林は休閒地としての性質も兼ね備え、作物の生育に必要な養分量を土壤中に蓄える場でもある。

これまでは人口が少なく、各農村でミオンボ林・農耕地・居住区がバランスよく存在し、人々はミオンボ林を持続的に利用しながら、作物収量も一定に維持できる農業を営んでいたと考えられる。しかし人口増加にともなう炭の生産の増加、薪の利用の増加、耕作面積の増加によって、樹木の減少・土壌肥沃度の低下といった土地資源の劣化が危惧されている(Chirwa *et al.* 2004)。そのため、どの程度ミオンボ林が残存しているのか、どの程度農耕地として利用さ

れているかといった現在の土地利用を把握し、農村部の問題を浮き彫りにすることが必要である。

2 調査方法—土地利用の地図化—

ザンビア東部州 M 村において(第1章参照)、土地利用状況を、農耕地・ミオンボ林(休閒林)・居住区・湿地植生⁴に分けて測定した。GPS(eTrex VistaR HCx, Garmin Ltd)を用い、2010年3~4月にかけてそれぞれの境界線の地理座標を収集した。なお、これらのデータは主に倉光らによるものである(倉光ら 2012)。

3 ミオンボ林と農耕地の利用状況

図2-2にM村の土地利用状況を地図化した。M村では、ミオンボ林(休閒林)が64%、農耕地が18%、湿地植生(図2-3)が16%、居住区(図2-4)が2%、それぞれ占めていた。

この地図を概観すると、興味深い土地利用分布を発見できる。まず、居住区を取り囲むように存在するミオンボ林に着目したい。その外側に農耕地がひろがり、さらにその農耕地のまわりにミオンボ林が再びひろがっている。このようにあえて居住区の周りにミオンボ林を残すことで、村人にとってアクセスのいい薪炭材の採取場を確保していたようだ。しかし、近年は居住区の周りのミオンボ林だけでは、生活に必要な



図2-1 炭焼きの準備 ここに土をかぶせて燻す(2010年10月撮影)

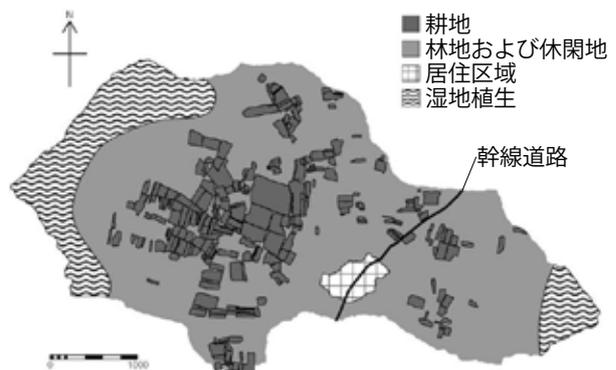


図2-2 M村の土地利用図(2011年4月時、倉光ら未発表データ)



図 2-3 湿地植生 (2013 年 5 月撮影)



図 2-4 M 村の居住区 (2013 年 5 月撮影)

な十分量の薪が採取できず、農耕地を超えて奥のミオンボ林まで行く村人が増加した。さらに炭作りに最適な高木（高さがおおよそ 20 m 以上の樹木）は選択的に採取された結果、筆者が滞在した 7 年の間に、村内で炭作りに利用できる高木はほぼなくなってしまった。この現象は M 村近隣の村でも生じており、炭の販売価格はここ数年で増加し、筆者の滞在中に 6 クワチャから 20 クワチャに跳ね上がった⁵。

Chidumayo (1997) の研究によると、ミオンボ林のバイオマス量はおよそ 67 Mg ha^{-1} と報告されている。しかし M 村では 39 Mg ha^{-1} しか存在していなかった。このデータから、薪炭材の採取によってミオンボ林の単位面積あたりの樹木の量が確実に減少していることが裏付けられる。このような単位面積当たりの樹木の量の減少は、焼畑農業に影響を与える。開墾の際に焼かれる樹木の量が減少することで、火入れの効果（収量増加をもたらす効果）が減少する可能性がある（第 3 章参照）。

次に農耕地の分布に着目すると、農耕地は主に、幹線道路（図 2-2 の黒線）を挟んで西側に広がっていることがわかった。村人 A さんによると、道路を挟んで西側の土地は東側よりも肥沃であり、村に入植した人から順に西側の土地を開墾・耕作していったのだという⁶。

この土地の肥沃度に関わらず、全農耕地面積の 80% でトウモロコシが作付けされ、そのほ

かにワタ、ラッカセイ、ヒマワリなどが栽培されている。面積は小さいが、オクラやサツマイモといった野菜も栽培されていた。M 村の主幹の農業であるトウモロコシ栽培の収量増加をめざすには、まずトウモロコシ栽培の現状とその問題点について明らかにする必要がある。

第 2 節 トウモロコシ栽培の実態

1 収量の増加を目指して

まずトウモロコシ収量の増加の必要性について説明することから始めよう。サブサハラ以南アフリカ全体で、穀物生産量は確かにここ 30 年で増加している（図 2-5）。しかし実際には、穀物生産の増加量は増加した人口分の食料ですらカバーできておらず（図 2-5）、1 人当たりの穀物量はむしろ悪化している（Kidane *et al.* 2006; 真常・荒木 2011）。穀物の生産量を増加させる方法として、①栽培面積の拡大と、②単位面積当たりの収量（単収）の増加がある。サブサハラ以南アフリカでは、穀物の収穫面積はたしかに増加している。しかし、化学肥料や除草剤などの使用が進まず、単収の増加は緩慢であった。その結果、サブサハラ以南アフリカの多くの国々は栽培面積の拡大だけでは必要な穀物量を確保できず、その不足分を補うため各国の穀物輸入量は年々増加傾向にある（真常・荒

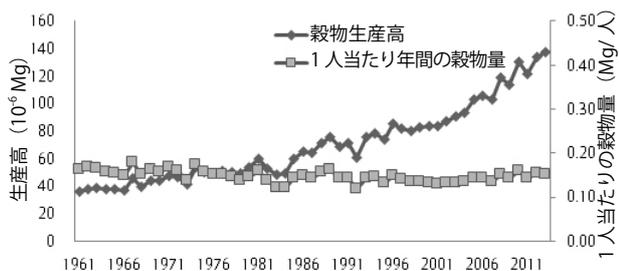


図 2-5 サブサハラアフリカの穀物生産量と 1 人当たりの穀物量の変化 (FAOSTAT)

木 2011)。

なぜ東南アジアでは劇的な収量増加をもたらした化学肥料などの利用が、アフリカでは成功に至っていないのであろうか。その原因は、自給的な農業の根強さと、気候・環境要因(降水量の少なさ・不安定さと、土壌肥沃度の低さ)にある。もともと、焼畑農業という自然の治癒力に頼った農業に依存してきたことで、収量をえるためになにか資材に投資をする、という観念が薄かったと考えられる(真常・荒木 2011)。

さらに、干ばつが起きてしまうと、たとえ肥料を施用していても収量は激減する。収穫がなければ、投資した現金は返ってくることはない。干ばつが起こりうる地域に住む農民にしてみれば、肥料への投資は危ない賭けである(杉原 2012)。M 村の貧しい農家は、化学肥料を購入しトウモロコシを栽培するのではなく、ワタを栽培することが多い。ワタは企業によって化学肥料の提供から買い付けまで保証されているからだ。ただし、企業はワタを買いたたくことが多く、一所懸命にワタを栽培しても一家が食べていけるだけの現金を得ることは難しい。

2 トウモロコシの改良品種の導入

ザンビアの経済は銅資源に大きく依存している。よって銅の価格が下落した場合、十分量の食料を輸入することができず、食料難に陥る可能性が高い(小倉 2009)。よって国民の 70%が農業で生計を立てているザンビアでは、国内の穀物生産高の向上は重要な課題である。ザンビ

表 2-1 政府推奨の化学肥料施用量

土壌肥沃度	基肥 (Compound D) kg ha ⁻¹	追肥 (尿素) kg ha ⁻¹
低	200-250	250
中	200	200
高	150	150

基肥は 10% N・20% P₂O₅・10%K₂O・6-8%S、追肥は 46% N を含む
当調査村 (M 村) は、土壌肥沃度「中」に分類される

ア政府は主食作物の安定的な確保を目標に、トウモロコシ改良品種の導入⁷と化学肥料の購入を一部援助している。しかし、政府による化学肥料への援助額は少なく、また近年の化学肥料の高騰もあり、改良品種が十分に育つ化学肥料の目安施用量(表 2-1)を購入できる農家は少ないことが予想される。

さらに改良品種の種子や化学肥料をまったく購入できないほど貧しい農家も多く存在しており⁸、政府の援助の恩恵にあずかれないことも見過ごせない事実である(伊谷 2002)。貧しい農家は、自給消費用に在来品種のトウモロコシを栽培している。在来品種はその食味の良さや耐虫性の強さを持ち、たとえ改良品種を作付けしている農家であっても自家消費用として栽培している場合が多い。つまり農村部においては、改良品種導入による収量改善だけでなく、在来品種それ自体の収量の向上も村人の生計の改善に大きく寄与する。

そこで M 村におけるトウモロコシ栽培の現状について、①改良品種(図 2-6)と在来品種(図 2-7)の栽培面積、②化学肥料の施用量の 2 点に着目し、調査することとした。トウモロコシの在来品種と改良品種が栽培されている場所に分けて GPS で地理座標を収集し、さらに使用した化学肥料の施用量の聞き取り調査をおこなった。以下にその結果を示す。

3 トウモロコシ栽培の現状と問題点

自給的な農業を営んできた農村部では、換金目的に投資してまで改良品種を栽培することは



図 2-6 トウモロコシの改良品種
実がびっしりと入り色が白い (2009年3月撮影)



図 2-7 トウモロコシの在来品種
粒や色が不ぞろい (2008年4月撮影)

少ないと報告されてきたが (伊谷 2002)、M 村では在来品種も改良品種も同程度の面積で栽培されていた。なぜ改良品種が農村部にも浸透したのか、その鍵は政府による助成にある。2010年に政府は、農家が生産したトウモロコシ子実の買い取り価格を上げる政策を打ち出した⁹ (Mason and Myers 2011)。この政策決定を受け、農村部の小農家も改良品種のトウモロコシ栽培に乗り出したと考えられる (Mason and Myers 2011)。その結果、2010年にはトウモロコシ生産高は増加に転じ (図 2-8)、国民一人あたりの穀物量も増加した。2010年以降のトウモロコシ生産高の増加は、作付面積の増加だけでなく単収の増加も大きく寄与していた (図 2-9)。つまり、化学肥料などの農業資材への投資が行われていたと考えられる。このように、M 村でトウモロコシ改良品種の作付け面積が増加したことは、政府の政策のたまものであるといえる。

ではトウモロコシ畑に化学肥料はどの程度施用されていたのか。トウモロコシの改良品種・在来品種の栽培面積を、化学肥料の施用量ごとにわけて図 2-10 に示す。M 村では、改良品種を作付けした面積のうちおよそ 25% の面積で化学肥料を施用せず栽培していたことがわかった。さらに、たとえ化学肥料が手に入っても、政府推奨量を施用し改良品種を栽培できることは非常にまれであった。多くの村人は政府推奨

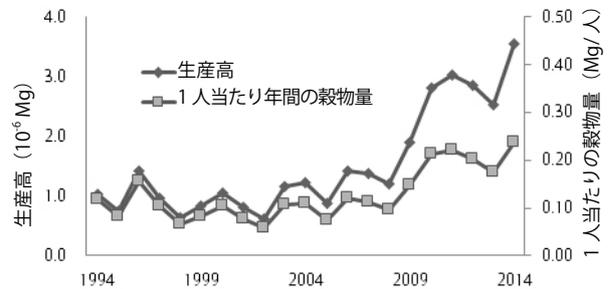


図 2-8 ザンビアの農業流通自由化後のトウモロコシ生産高と1人当たりの量 (FAOSTAT)

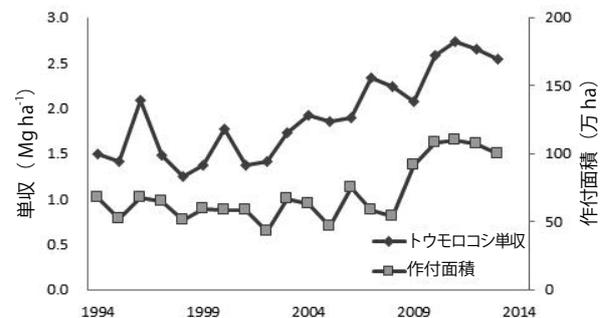


図 2-9 ザンビアの農業流通自由化後のトウモロコシ生産の単収と作付面積 (FAOSTAT)

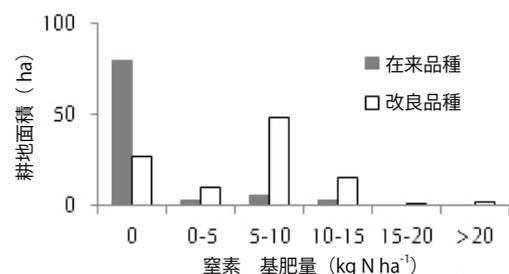


図 2-10 トウモロコシの基肥施用量別の作付面積 (2011年4月時)

量の半分以下の化学肥料を施用していた（図 2-10）。筆者が調査をした際に、改良品種を栽培する場合は化学肥料を施用しないと、在来品種よりも収量が落ちるといふ風評があった。そのような風評があるにも関わらず、改良品種をわざわざ購入し（＝農業資材への投資）無施肥で栽培していた村人がいた。村人 A さんの話によると、雨季初めの段階で政府が発表した以上に化学肥料の価格が高騰したこと、また政府から組合を通して安い価格で配布される化学肥料の量が予定より減少したことなどにより、化学肥料を入手できなかったという。

一方で在来品種は無施肥での作付けが大部分を占めているが、一部の農家は在来品種にも少ないながら化学肥料を施用していることがわかった。在来品種に肥料を与えている農家の中には、改良品種は購入せず、化学肥料のみを組合から買い取る場合もあった。少数派ではあるが、農家によっては在来品種を作付けする場合であっても、化学肥料に投資する場合があることがわかった。

以上のように M 村では、トウモロコシの在来品種・改良品種の両品種で、政府推奨量の化学肥料を施用していた畑はほとんどなかったこと、あえて化学肥料を改良品種ではなく在来品種に施用していた畑があったことがわかった。M 村では化学肥料の利用状況は農家の経済状況や認識によって違うと考えられる。

第 3 節 化学肥料とトウモロコシ

1 化学肥料の利用と問題点

農村部の多くの小農家は、畑全体に政府推奨量の化学肥料を播けるほどは購入できない。M 村でも、購入できた少しの化学肥料を畑の一部にのみ施用したり、政府推奨量に満たない化学肥料を畑に施用している場合が圧倒的に多かった（図 2-10）。

さらに、当地域のような降水量の不安定な場所で、化学肥料の施用量が政府推奨量以下で改良品種を栽培したとしても、化学肥料は効果的に収量を改善するのかわかではない。また在来品種に化学肥料を与えた場合の正の効果はどの程度かわからない。在来品種では化学肥料を投入してもその効果は現れにくく、茎葉だけが無駄に繁茂して収量は増加しない例もあるからだ。よって農民は化学肥料を在来品種に用いることは少なく（伊谷 2002）、在来品種の収量の向上にも大きな課題がある。そこで、トウモロコシ収量の増加をめざし、降水量の不安定な当地域で、化学肥料の施用による在来品種・改良品種の生育の応答を解明することにした。

2 調査方法

化学肥料の施用量の違いがトウモロコシ収量に与える影響を解明するには、その地域で実際に栽培しなければわからない（このような試験を圃場試験と呼ぶ）。トウモロコシの在来品種・改良品種の両方に対する化学肥料の効果を調べるため、2008 年 10 月～2010 年 4 月にかけて圃場試験をおこなった。トウモロコシの在来品種として M 村では 3 品種が主に栽培されている（表 2-2）。本試験では、村内で多く栽培されている虫害に強い *nsenga*（図 2-11）を

表 2-2 M 村で栽培されているトウモロコシの在来品種

		成熟に要する期間	特徴	利用頻度
在来品種	<i>nchizhya njala</i>	100 日程度	草丈が低い、耐干ばつ性	ほとんどない
	<i>nsenga</i>	120 日程度	子実の皮が固く、虫害に強い	ほぼすべての農家
	<i>chibawe</i>	120 日程度	虫害に弱い、大きく柔らかい子実	ほぼすべての農家
改良品種	MM604	145 日程度	施肥がないと育たない	—



図 2-11 在来品種 (*nsenga*) の種 (2008 年 4 月撮影)



図 2-12 改良品種 (MM604) の種 (2008 年 11 月撮影)

使用し、改良品種としてザンビア政府が開発した MM604 (図 2-12) を使用した。化学肥料の施用量は基肥・追肥それぞれ、なし (0 kg ha^{-1})、政府推奨量の半分、(100 kg ha^{-1})、政府推奨量 (200 kg ha^{-1}) の区 ($7 \times 7 \text{ m}$) を設けた (図 2-13)¹⁰。2008 年 12 月と 2009 年 12 月に播種し、2 作期にわたり栽培試験をおこなった。なお試験区は、開墾時の影響を除くため、開墾後 1 年間トウモロコシを作付した場所に設定している。村の慣行法にしたがうと、トウモロコシの



図 2-13 在来品種・改良品種に対する化学肥料効果の試験圃場 (2008 年 11 月撮影)

在来品種と改良品種で異なった播種密度であった。よって本試験は、化学肥料の応答を評価するために、両品種ともに $1 \times 1 \text{ m}$ に 3 粒播種し、播種 3 週間後には生長の良好な 2 株を残し、間引きした。播種密度の変更にともない、化学肥料の施用量も、個体あたりの量が同等になるよう変更した。

生長応答の指標として 12 ~ 3 月にかけて、およそ 1 週間ごとにトウモロコシの草丈測定をおこなった。4 月には立ち枯れ状態のトウモロコシの茎葉・子実量の測定をした。

3 化学肥料によるトウモロコシ収量の増加

試験圃場の土壌養分量を表 2-3 に示した。サブサハラアフリカのほかの土壌と比較すると、中程度の肥沃度となる土壌であるといえよう (Buresh and Tian 1998)。

トウモロコシの在来品種と改良品種の収量は、化学肥料によってどの程度増加したのか。結果については以下に詳述するが、概観すると、在来品種・改良品種ともに政府推奨の目安量より少ない化学肥料でも収量は増加すること、そして降水量に年次変動が大きい場合、目安量以下の化学肥料を施用したほうが、確実に化学肥料へ投資した分を回収できる収量をえられることが明らかになった (図 2-15; 2-16)。

まず、図 2-14 をみていただきたい。化学肥料を施用した場合(中央)としなかった場合(右)



図 2-14 無施肥の改良品種（左）と、施肥した改良品種（中央）と在来品種（右）
在来品種のほうが地上部の生育がいい（2009年3月撮影）

表 2-3 土壌中に存在する養分量（耕作2年目）

	全量 Mg ha ⁻¹	可給態量 kg ha ⁻¹
窒素 (N)	1.35	41
リン (P)	-	130
カリウム (K)	-	330

窒素の可給態量は28日間24℃、圃場容水量の60%で培養した後、培養前の無機態窒素量を差し引いた値である。リンの可給態量はBray1法で抽出し、カリウムの可給態量は酢酸アンモニウム(pH7.0)で抽出した値を示す

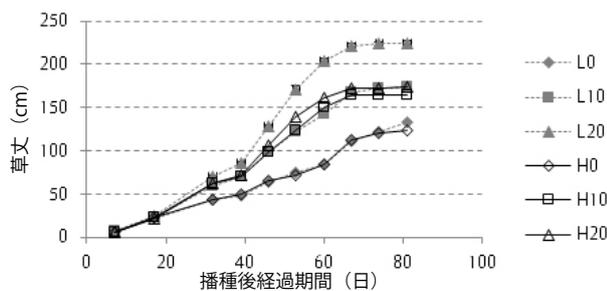


図 2-15 施肥に対する在来品種と改良品種の
草丈の応答の違い

凡例のLは在来品種、Hは改良品種を示す。また、0、10、20は窒素の基肥量を示す。2008年12月～2009年2月にかけて測定

は歴然と差があり、化学肥料を施用したほうが大きく生育した。また写真では判然としないが、トウモロコシの茎葉は、在来品種のほうが改良品種よりも大きくなった（中央と右）。生育

期間中のトウモロコシ草丈の変化をみると（図2-15）、とくに政府推奨量の化学肥料を施用した改良品種（L20）で、草丈は生育期間を通して高い傾向であった。これまでも報告があったように（伊谷2002）、在来品種では改良品種より茎葉がよく生育してしまう。しかし本章の結果で在来品種と改良品種の間に有意な差がみられたのは、政府推奨量の施肥をおこなった場合のみであった。

このような草丈の変化を経て、収穫時にどれだけの収量と茎葉量であったのかを図2-16に示した。上図が2009年4月、下図が2010年4月に収穫したものの結果である。この2作期では、作期中の降水量が違っていった。降水量は1作期目に762mmであり（2008年10月～2009年5月）、2作期目の986mmのほうが多く（2009年10月～2010年5月）、降水量が多かった2010年4月に、収量・茎葉量は高い傾向を示した。以下に化学肥料とトウモロコシの関係について、4つの項目に分けて説明する。

①化学肥料によってトウモロコシ収量は増加

政府推奨量を施肥すれば、在来品種・改良品種ともに同程度、収量が増加することがわかった。また2作期で収量に違いはあるものの、在来品種・改良品種ともに、化学肥料の増加にし

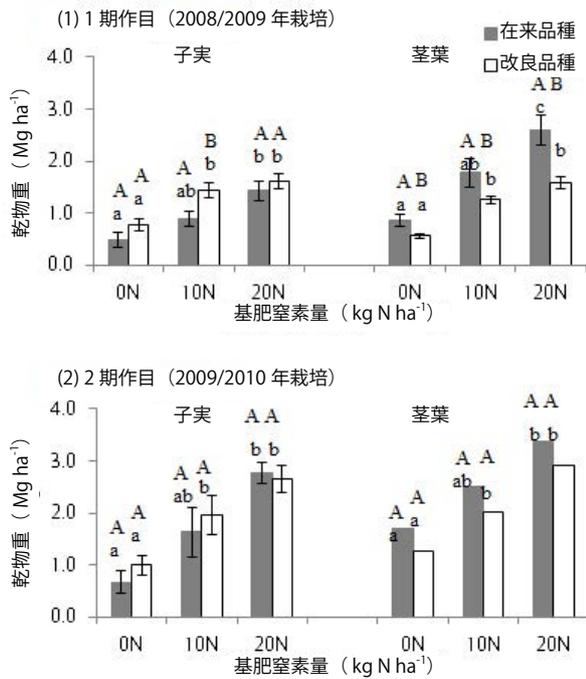


図 2-16 施肥に対する在来品種と改良品種の応答の違い

異なる大文字は同じ施肥量の時に改良品種と在来品種で有意差があることを示す (P<0.05)。異なる小文字は同じ品種間で施肥量によって有意差があることを示す (P<0.05)。有意差検定には Turkey 法を用いた (n=3)

たがって収量は増加した。つまり、たとえ少ない量でも化学肥料を施用すれば収量は増加すると考えられる。しかし②のように、例外がある。

②政府推奨量の施肥は必要ない

降水量が少ないと (1 作期目)、改良品種では、化学肥料が政府推奨量の半分 (10N) から全量施用 (20N) へと増加しても、収量は増加しなかった (図 2-16)。トウモロコシに限らず作物の生育には、利用できる水分量がなにより重要である。たとえ土壤中に十分な養分があっても、利用できる降水量が少ないと土壤中の養分を上手に利用できない場合がある。つまり、1 作期目は降水量が少なくトウモロコシは十分に生長できなかったため、政府推奨量分の化学肥料を上手に利用できなかったと考えられる。

天水農業を営む M 村のような農村部では、政府推奨量の化学肥料を施用すると、むだな投

資に終わってしまう可能性が高い。むしろ政府推奨量よりも少ない化学肥料を施用することは、降水量の変動に対するリスクヘッジとなる。

③施肥は改良品種にすべき

政府推奨量以下の施肥や無施肥の場合、降水量が少ないと (1 作期目) 改良品種で在来品種より収量がよくなるが、降水量が多いと (2 作期目)、改良品種と在来品種の間に有意な差はなかった (図 2-16)。つまり降水量が少ない場合を考えると、トウモロコシ収量は改良品種のほうが効果的に増加するといえる。このように、年によって降水量が変動するような地域では、化学肥料の肥効率は在来品種と改良品種で年によってことなる。限られた化学肥料を有効に利用したい場合には、改良品種に施肥をしたほうが高い増収効果が見込めるといえる。

④在来品種の茎葉の生長

なぜこのように在来品種と改良品種で化学肥料に対する肥効率はことなるのであろうか。その理由の一つに茎葉量の違いがある。草丈の結果では差がみえなかったものの、同じ量の化学肥料を施用した場合、在来品種では改良品種より茎葉量が多かった (図 2-16)。在来品種が改良品種と同じだけの収量をえるためには、より茎葉が生長せねばならない。つまり、より多くの養分が在来品種の生育には必要となる。その結果、同じ量の化学肥料を施用すると、改良品種のほうが在来品種よりも収量はいい (または同程度) にもかかわらず、在来品種のほうが茎葉量は大きくなるのが起こりえる。そうなる、たとえ化学肥料を施用し、在来品種の収量が増加していたとしても、村人にしてみれば、「在来品種に化学肥料を与えても茎葉が育つだけで収量は増加しない」という感覚になってしまうのではないか。

第3節 まとめ・結論

ザンビアでは昨今の人口増加にともなって、都市部周辺だけではなく農村部のM村でも、ミオンボ林の面積・単位面積当たりのバイオマス量が減少していた。農耕地の増加や、炭の生産による高木の減少がその原因である。そのため、M村は農耕地や薪炭材利用の増加による土地資源の劣化が進行している最前線であると考えられ、早急の対処が求められる。一方で、M村では作付面積の増加によるものだけではなく、単収の増加によるトウモロコシ収量の増加も期待できる。トウモロコシの改良品種の利用は在来品種と同程度にまで伸びているからだ。政府による農業セクターへの投資を、村人が積極的に利用しようとしていると考えられる。M村だけでなくザンビア全土でも、2010年からトウモロコシ生産量は増加し、それは化学肥料を用いた改良品種の栽培による単収の増加も大きく寄与していると考えられる。

とはいいつつも、M村では在来品種・改良品種どちらも未だ無施肥栽培の割合は高い。さらに化学肥料を施用している場合でも、政府推奨量以下で施用することが圧倒的に多い。本章の結果から、①在来品種・改良品種ともに、化学肥料の増加にしたがって収量は増加した、②降水量が少ない年には、政府推奨量とその半分の化学肥料を施用した場合、改良品種の収量は同程度であったこと、③在来品種よりも改良品種のほうが肥効率がいいこと、がわかった。以上のことから、降水量の年次変動が大きい地域（灌漑設備を持たない場合）では、政府推奨量以下の化学肥料でトウモロコシ栽培をおこなうこと、改良品種の畑に選択的に化学肥料を施与することが、経済的な損失の少ない栽培形式であると考えられる。M村の村人たちも、雨が十分に降らない場合には肥料が無駄になってしまうことを認識しており、化学肥料の投資にあまり積極的でない人もいる。

そうであっても、2010年から政府が始めた農業セクターへの助成金によって確実にトウモロコシ収量は増加している。ザンビアの農村部

では、自給的な農業から換金作物を栽培する商業的な農業への転換、つまり投資をする農業へと転換できる可能性がある。サブサハラ以南アフリカの生産高を支えるような生産高上昇をもたらす可能性がザンビアの農業には秘められていると、筆者は考えている。

註

図についているエラーバーはすべて標準誤差を示す ($n=3$)。

- 1 シロアリは枯死植物を好んで摂食する。枯死樹木だけでなく、立ち枯れしたトウモロコシ茎葉も摂食する。ザンビアに生息するシロアリは、本稿の表紙のロゴにもあるような、大きなシロアリ塚を築く。シロアリ塚にはミネラル分が豊富であるといわれ、栄養が不足しがちな妊婦の中には、シロアリ塚の土を好んで食べる人がいる。
- 2 樹液の色は赤い。ンセンガ語で *mlombe*、学名は *Pterocarpus amgolensis*
- 3 ンセンガ語で *msolo*、学名は *Pseudolachnostylis maprouneifolia*
- 4 ダンボと呼ばれる低湿地帯の植生を指す。雨季には冠水し、乾季でも地下水位が地表面近くにあるので、乾季に野菜など換金作物の畑として利用されている。M村では2014年4月現在で、この湿地は畑として利用されていない。
- 5 2014年4月現在で、クワチャのレートは6クワチャで1ドルである。
- 6 筆者の調査時には東側西側に関わらずさまざまな耕作年数の畑が存在していた。よって、土壌肥沃度が西側で東側の畑より高かったのか、化学分析による裏付けはできていない。
- 7 トウモロコシの改良品種は化学肥料に対する肥効率が高いだけでなく、穀実が白く市場価値が高い。
- 8 ザンビアでは、トウモロコシを生産する小農家のうち、5割は自家消費分のトウモロコシ生産が精いっぱい、市場に出す余剰はない (Jayne et al. 2011)。

- 9 小規模農家が生産したトウモロコシ子実の買い取りは、食糧備蓄庁（Food Reserve Agency; FRA）によっておこなわれている。
- 10 圃場試験をおこなう場合、同じ処理をした区を3つ以上設けることが必要である。本試験でいえば、在来品種だけでも、無施肥で作付けした試験区を3つ、化学肥料を政府推奨量の半分で作付けした試験区を3つ、化学肥料を政府推奨量で作付けした試験区を3つ、合計9つの試験区を準備しなければならない。最低3つずつ試験区を設けなければ、違う処理をした区間どうしが「もっともらしく違う」といえない。

第3章 焼畑農業—火入れと土地資源—

第1節 火入れの現状

1 ミオンボ林の減少と焼畑農業の変化

ザンビア東部州の焼畑農業は、いわゆる焼畑とは性格を異にしている（第1章第5節参照）。樹木を焼かなくても（火入れしなくても）収量は 1 Mg ha^{-1} 程あり、決して十分量ではないが、一家が食べていく分をある程度賄うことができる。焼畑農業は図3-1のように、①長期休閑地（ミオンボ林）を開墾・火入れした後、②数年耕作し、収量が減少したら、③休閑に戻して土壌肥沃度・樹木の回復を図る、というサイクルである。この焼畑農業のサイクルは、東南アジアや西アフリカなどの熱帯雨林下でおこなわれるサイクルと同じである。しかし、熱帯雨林下の焼畑農業は2・3年耕作した後、10年以上の休閑をする場合が多いが、ザンビア東部州の焼畑は耕作年数・休閑年数は明確に決まっていない。

焼畑農業は、人口密度が高くなければ、劣化した土壌肥沃度・樹木（土地資源）が十分に回復できるまで休閑できるので、収量が維持される持続的な農業である（Mertz 2002）。しかし近年、ザンビアの農村部では土地利用圧の増加によって休閑期間は短期化しており、土地資源の劣化と収量の低下が危惧されている（Chirwa et

al. 2004）。

さらにM村では、薪炭材の採取圧の増加によって、高木（高さ20m以上；図3-2）が著しく減少している¹。この高木の減少によって、ザンビア東部州で伝統的におこなわれてきた焼畑も変化しつつある。もともとミオンボ林のバイオマス量は少なく、開墾地全体に樹木を積み上げ火を入れることは不可能であった。そのため、開墾地の一部にのみ、伐倒した高木に低木を積み上げ、火を入れていた（第1章、図1-18）。しかし昨今の高木の減少によって、高木主体の火入れ場所は減少し、低木のみを積み上げた火入れ場所が増加している。開墾の際に焼かれる樹木が高木から低木へと減少すると、火入れの効果（収量増加をもたらす効果）が減少する可能性がある。ではまず、火入れ効果とはなにか、なぜ焼かれる樹木の量が減少すると火入れ効果も減少する可能性があるのかについて説明しよう。

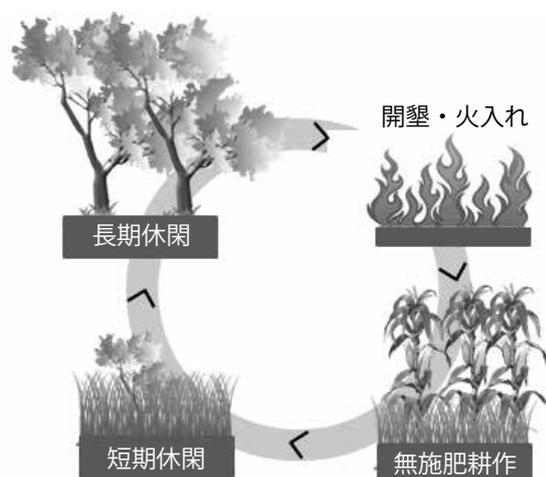


図3-1 ザンビアの焼畑農業サイクル

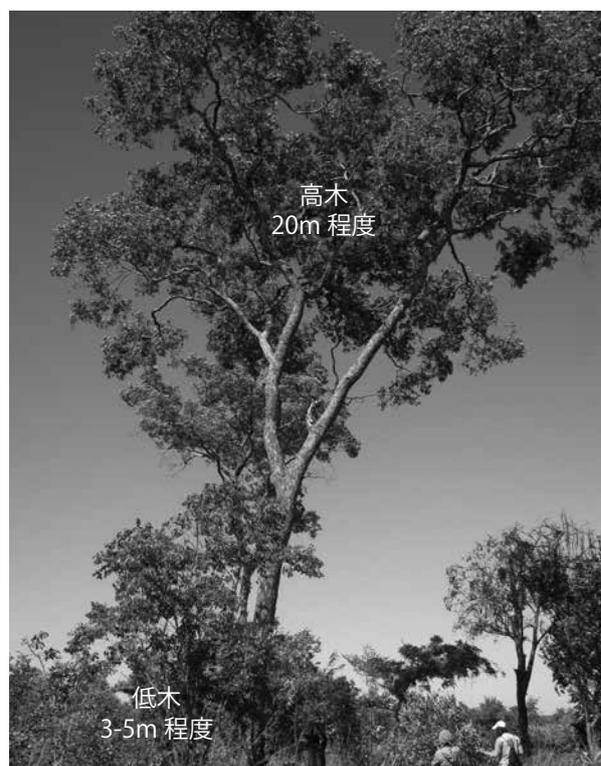


図3-2 ミオンボ林の高木・低木
(2010年4月撮影)

2 火入れと収量・土地資源

樹木を燃やした場所では、収量が増える。樹木を燃やすと（火入れすると）、植物が利用しやすい養分量が増加し、雑草害は抑制されるからだ。世界各地で、なにが増収の主要因となったのかはさまざまである² (Giardiana *et al.* 2000a and 2000b; Tanaka *et al.* 2004; Strøngaad 1984)。ザンビア東部州の増収の主要因は植物が利用しやすい窒素の増加である (Buresh and Tian 1998)。土壤中に不足していた植物が利用しやすい窒素が、火入れをすることで増加し、収量も増加するのだ³。

この火入れによる増収効果（植物が利用しやすい養分の増加・雑草害の抑制）は、燃やされる樹木の量によってことなる。その理由は、燃やされる樹木の量によって①灰の添加量と②土壤の温度上昇が異なるからである。

①灰の添加量

燃やされる樹木の量が減少すれば、灰の添加量も減少する。

樹木が燃やされた後に残る「灰」の中には、樹木が持っていた養分がたっぷりと含まれている。樹木を燃やすと、樹木に含まれる炭素・窒素の大部分は揮発し失われるが、樹木に含まれる養分（リンや塩基類であるカリウム・カルシウム・マグネシウム）は、燃やされても揮発せず灰の中に残る。燃やされる前は、樹木中の養分は炭素と結合し「植物が利用しにくい形態」である。炭素の揮発によって灰に残った養分は、「植物が利用しやすい形態」に変化している。

②-1 土壤の温度上昇—植物が利用しやすい窒素の増加—

燃やされる樹木の量が減少すれば、火入れ中の土壤温度の上昇は低くなる。土壤温度の上昇は、火入れ中に到達した土壤の最高温度と高温継続期間によって表される (Hatten and Zabowski 2009)。

植物が利用しやすい窒素はほかの養分と異なり、灰の添加によって増加するのではない。土

壤中の利用しにくい窒素が、利用しやすい窒素に変化し、増加する。土壤中の窒素は、A 微生物体内に蓄えられていたり、B 炭素と結合して存在していたりするため、植物が利用できる窒素量は限られている。しかし樹木を燃やし土壤の温度が上昇すると、A 土壤に生息する微生物が死滅し、微生物体内に蓄えられていた窒素が放出され、B 土壤中の炭素が揮発し、炭素と結合していた窒素が放出され、植物が利用しやすい窒素が増加する。植物が利用しやすい窒素は、無機態窒素と呼ばれる⁴。

②-2 土壤の温度上昇—雑草種子の死滅—

上述のように、火入れ中には土壤温度が上昇する。この温度上昇によって、雑草種子は死滅する。乾燥した土壤であれば 90℃程度、湿った土壤であれば 70℃程度まで土壤温度が上昇すると、雑草種子の発芽率は急激に低下する (Martin *et al.* 1975)。

火入れ時の温度上昇による植物が利用しやすい養分の増加や雑草害の減少などの効果が、収量を増加させる。しかし注意しなければならない点もある。火が強く入ると（燃やされる樹木の量が多いと）、土壤肥沃度は著しく損失する可能性がある (Johnson *et al.* 2011)。高い土壤温度が長い時間維持されてしまうと、灰と同様に土壤に含まれる炭素・窒素は著しく揮発し、減少してしまう (Giardina *et al.* 2000b)。その結果、火入れ直後の耕作 1 年目では火入れ効果によって収量は増加するだろうが、その後の耕作で収量が著しく減少する可能性がある。

このように火を入れることは、収量増加をもたらす一方で、土壤の著しい劣化を引き起こす可能性も持っている。しかし、当地域で燃やされる樹木の量が高木から低木へと減少していることが、土地資源と収量にどの程度影響するのか、未だにわかっていない。

3 目的

近年のミオンボ林の減少によって変化した現

表 3-1 燃やした樹木と火入れ場所の特徴

	樹木高 (m)	樹木の 胸高直径 (cm)	樹木 バイオマス量 (Mg ha ⁻¹)	開墾全面積中 火入れ面積 (%)	火入れ面積当燃やした バイオマス量 (Mg ha ⁻¹)
火入れ強	18.9	43.1	26.2	6.9	204.4
火入れ弱	3.5	3.1	7.1	7.5	78.5

樹木バイオマス量 (y) (Chidumayo 1997)

高木 : $y = 13.67 \times \text{DBH} + 7.48 \times \text{height} - 193.2$ 低木 : $y = 0.99 \times \text{DBH} - 0.61$

行の火入れ法によって、開墾地全体で収量や土壌肥沃度がどのように変化したのか、その解明が待たれる。そこで、開墾地内の①火が入らない場所、②低木を燃やした場所、③高木を燃やした場所それぞれの場所で、増収効果（植物が利用しやすい養分量の増加と雑草害の抑制）と土壌肥沃度の劣化程度を解明することを目的とした。以下にどのような調査をすれば解明できるのか説明し、その後結果を示す。

第 2 節 調査方法

1 試験区の設定

36 × 31 m の大きさの休閑林を試験区とし、2008 年 4 月～2010 年 4 月までの 2 作期にわたり開墾・火入れした⁵。2008 年 4 月と 2009 年 4 月（雨季の終わり）に開墾し、図 3-3 のように高木、低木に分けて積み上げ、次の雨季が始まる前の 10 月に火入れした。燃やした高木、低木の特徴は表 3-1 のとおりである。試験区内の 3 つの燃やされた樹木の量の場所で土壌・トウモロコシ・雑草のサンプリングをおこなった。

- 1) 火入れなし：火入れをしていない場所
- 2) 火入れ弱：低木を燃やした場所
- 3) 火入れ強：高木を燃やした場所

2 火入れ時の温度の測定

火入れ中の土壌の最高到達温度と高温継続時間を火入れ強と火入れ弱、両方の場所で 3 か所ずつ測定した。

1) 最高到達温度

ある温度以上になると溶解する性質を持つサーモクレヨンという示温剤を用いて測定した（日油技研工業株式会社、埼玉）。本章では 50、100、200、300、460、615、765、885℃で溶解するサーモクレヨンを使用し、0、5、10、15 cm 深それぞれでどの温度まで溶解するのか調べた。

2) 高温継続時間

着火後から測定を開始し、火入れによって上昇した土壌温度が、40℃以下になるまで経時的に測定した。1、3、5、10、15 cm 深に温度センサー



図 3-3 乾燥させるために伐倒し積み上げた樹木のパイル(上:低木 下:高木) (2009 年 10 月撮影)

を挿入した(図3-4)。火入れ中の温度の測定なので、センサーとケーブルが燃えないように土をかぶせ、埋め込んだ。

3 土壌調査

土壌・灰を火入れ直後の10月に採取し、作物収量を規定する養分量として、以下の項目を測定した。火入れ跡では、土壌採取は0~5 cm、5~10 cm、10~15 cmと深さ別に採取した。深さによって、土壌温度の上昇程度が異なると想定されるためである。本章では、土壌の結果は0~15 cmの総量として計算しているので、結果の詳細はAndo *et al.* (2014a)を参照していただきたい。

1) 土壌 pH (土液比 1:5)・土壌有機物量

土壌有機物量とは、植物が利用しやすい養分の給源となる量のことで、本章では土壌肥沃度の指標として用いる。この土壌有機物中の、土壌中の全炭素量(土壌炭素量)、全窒素量(土壌窒素量)を測定した(測定機器: Vario Max



図3-4 火入れ中の温度変化の測定
(2010年10月撮影)

CHN; Elementar、ドイツ)。

2) 植物が利用しやすい養分量

植物の必須養分元素である窒素(N)、リン(P)、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)を測定した。元素ごとに、植物が利用しやすい画分を土壌から抽出する方法が存在する。Nは、2 mol L⁻¹塩化カリウムで抽出し、アンモニア態窒素(NH₄-N)と硝酸態窒素(NO₃-N)を測定し、PはBray1法で抽出し(Bray 1945)、オルトリン酸(PO₄-P)を測定し、その他塩基類は(K、Ca、Mg)、1 mol L⁻¹酢酸アンモニウムによって抽出し、測定した。

3) 作期を通して利用できる窒素量

自然条件下で存在する植物が利用しやすい窒素(無機態窒素)は、水の流れによって土壌から流れ出てしまったり、微生物が利用したりするので変化しやすい。そこで作付け期間中に利用できる可能性のある窒素量を推定するための室内培養実験をおこなった。土壌を適潤(圃場含水量の60%)、適温(25℃)条件下で培養し、3、7、14、28、42、56日目に無機態窒素量を測定した。

4 植生と収量の調査

トウモロコシの茎葉量・子実量は各処理区(火入れなし、火入れ弱、火入れ強)3株ずつ収穫時に採取した。雑草は2回の除草時と収穫時に1 m²のコドラート⁶から草本の雑草と木本の雑草に分けて採取した。採取したサンプルは70℃のオーブンで48時間乾燥させ、乾燥重量を算出した。

第3節 火入れによる収量増加と土地資源の減耗

1 火入れ時の土壌温度の上昇

低木を燃やすと、高木を燃やす場合より、火入れ時の土壌温度の上昇は低下した。表3-2を

みていただきたい。高木を燃やした場所（火入れ強）では、土壌の最高到達温度が 10 cm 深まで高くなった。一方で、低木を燃やした場所（火入れ弱）では 5 cm 深までしか温度が上昇しなかった。同様の傾向が、火入れ中の土壌温度の経時変化の結果でも示された（図 3-5）。実際に火をつけてからすべての樹木が燃え、灰になるまでを観察したところ、火入れ弱では 2～3 時間程度で燃えきるが、火入れ強では 2 日ほどかかった。すべての樹木が燃えきるまでの時間を反映し、土壌温度は高木を燃やした場所で低木を燃やした場所よりも、より長い間、より高い温度で地温が上昇していたことがわかった⁷（図 3-5）。

2 火入れ時の温度と土壌肥沃度

これから各項目の結果について詳しくみていくが、結果を俯瞰すると、燃やされる樹木量の増加とともに植物が利用しやすい養分量が増加していた。しかし一方で、負の影響もあり、燃やされる樹木量の増加とともに土壌中に存在する炭素と窒素の全量は減少していた。

燃やされる樹木が多いほど、土壌の温度はより深くまで上昇していた。本稿では示さないが、土壌養分量もこの温度上昇に合わせて変化していた。とりわけその変化は、火入れ強の深さ 0～5 cm で強く、ついで火入れ強の 5～10 cm と火入れ弱の 0～5 cm で高くなっていた(Ando *et al.* 2014a)。本章で示す以下の結果は、土壌表

表 3-2 火入れ中の土壌最高到達温度

深さ (cm)	最高到達温度 (°C)	
	火入れ強	火入れ弱
0	460 - 600	460
5	460 - 300	100 - 50
10	200 - 100	50
15	50	50

層 0～15 cm 深に存在する養分の総量である。

1) 土壌有機物量（土壌肥沃度の指標）

土壌有機物は、作物が利用する養分の給源である。今後どの程度の耕作期間、収量を維持することが可能なのかという土壌肥沃度の指標としてよく利用される。燃やされる樹木量が増加すると、土壌有機物中の炭素量・窒素量は著しく減少していた（図 3-6）。火入れによる土壌温度の上昇によって、土壌有機物が燃焼・分解されたためである。とくに炭素と窒素はリンなどほかの養分と比べ低温で揮発するため、気体として大気中へ放出された結果、土壌から減少してしまったと考えられる (Dunn *et al.* 1979)。

2) 植物が利用しやすい養分量

火が強く入ればはいるほど（燃やされるバイオマス量が多いほど）、土壌肥沃度は著しく低下していた。しかし一方で、燃やされる樹木の量の増加に合わせ、植物が利用しやすい養分量は増加していた。図 3-7 にその結果を示した。図のように、植物が利用しやすい養分量は（土

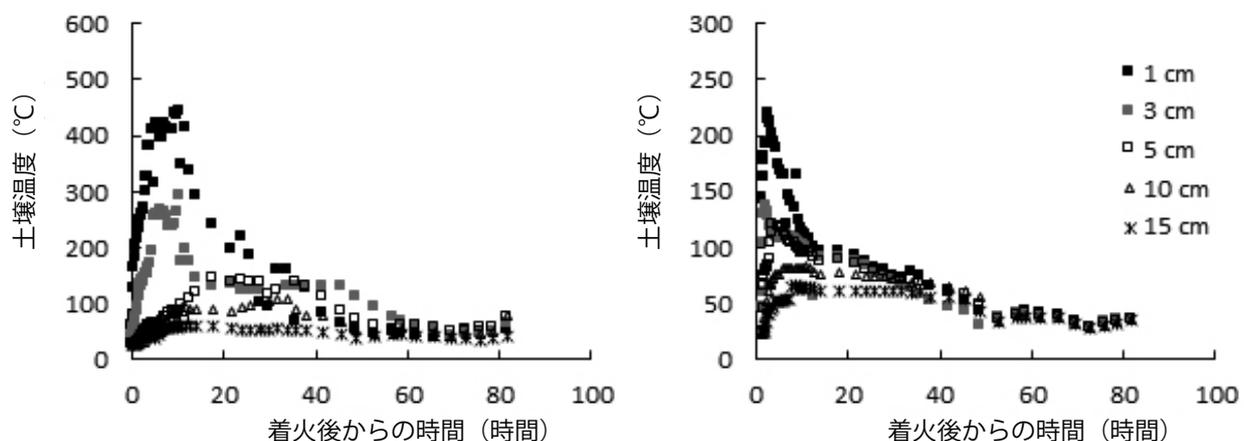


図 3-5 火入れ中の土壌温度の経時変化

壤中の量+灰に含まれる量)、すべての養分元素(窒素、リン、カリウム、マグネシウム、カルシウム)で、燃やされる樹木量とともに増加していた。ここで、詳しく各元素の変化をみることにする。

窒素 (N)

植物が利用しやすい窒素の給源は灰ではなく、土壌である。既往の研究によると、とくに死滅した微生物から放出される無機態窒素によって増加したと考えられる (Tanaka *et al.* 2001 and 2004)。樹木に貯められた窒素は、燃えている間にほとんどすべて揮発してしまうので給源としては考えられない。この火入れによって生じた利用しやすい窒素は、主にアンモニウム態窒素 (NH₄-N) と呼ばれる無機態窒素である。

リン (P)

リンも窒素と同様に、植物が利用しやすいリンは、死滅した土壌微生物から放出されている。しかし主な供給源は、土壌有機物中の炭素と結合していたリンである。土壌温度の上昇によって炭素が揮発し、植物が利用しやすいリンとして放出されたと考えられている (Giardina *et al.*

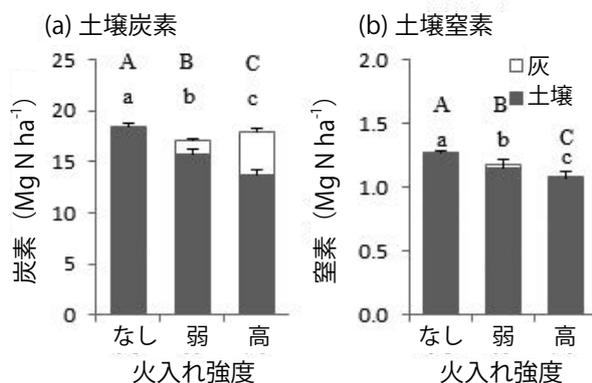


図 3-6 火入れによる土壌有機物量の減少
(a) 炭素量ベースと (b) 窒素量ベース

異なる小文字は、火入れ強度によって有意に土壌中の量が異なることを示す (P<0.05)。異なる大文字は、火入れ強度によって有意に灰中の量が異なることを示す (P<0.05)。有意差検定には Turkey 法を用いた (n = 3)

2000a)。植物が利用しやすいリンは、灰からも一部供給された。

カリウム (K)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca)

これらの元素は、土壌の pH を上げる効果を示すことから、塩基類と呼ばれている。植物が利用しやすい塩基類は、主に灰由来で増加しており、窒素やリンとその給源はことなる。とはいつつ、カリウム・カルシウムは、長い時間高温にさらされた火入れ強の表層土壌 (0 ~ 10 cm) から供給されていた。

土壌 pH

土壌 pH は上述の塩基類の増加によって、灰が土壌へ投入される前でも増加した (表 3-3)。もともと中性であったこともあり、火入れ強では pH が 8 を超えていた (pH が火入れによ

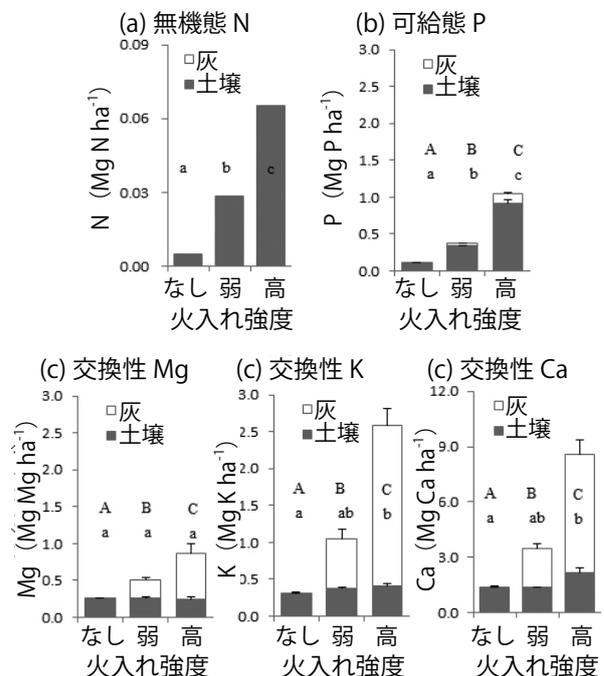


図 3-7 火入れによる可給態養分量の増加
(a) 窒素 (N)、(b) リン (P)、(c) マグネシウム (Mg)、
(d) カリウム (K)、(e) カルシウム (Ca)

異なる小文字は、火入れ強度によって有意に土壌中の量が異なることを示す (P<0.05)。異なる大文字は、火入れ強度によって有意に灰中の量が異なることを示す (P<0.05)。有意差検定には Turkey 法を用いた (n = 3)

て8を超えるという報告例は少ない)。

3) 作期を通して利用できる窒素とは

一作期とおしての利用しやすい窒素量の指標となるのが図3-8である。横軸に培養期間とあるように、この図は「微生物が最も活動しやすい条件下で、植物が利用しやすい窒素は時間の経過とともにどのように変化するか」というのを調べたものである⁸。植物が利用しやすい窒素の形態は無機態窒素であり、土壌中には主にアンモニア態窒素(NH₄-N)と硝酸態窒素(NO₃-N)という形で存在している。

図の左はアンモニア態窒素、右は硝酸態窒素を表している。先ほど植物が利用しやすい窒素でも述べたように(図3-7)、火入れによって増加する無機態窒素はアンモニア態窒素である(図3-8の0日目の値)。その増加したアンモニア態窒素は培養期間の増加とともに徐々に硝酸態窒素へと変化していった⁹。しかし培養実験を通し、火が入った場所ではアンモニア態窒素の存在量が、火が入らなかった場所の存在量よりも高いことがわかった。このアンモニア態窒素の存在量が火入れ場所で高かったことは、作物の生育にプラスの影響をもたらすと考えられる。アンモニア態窒素は、トウモロコシの根が吸収できる深さ(土壌30cm深程度まで)で長くとどまることができる性質を持っているから

表3-3 深さ別の土壌pH

処理	深さ (cm)	pH
火入れなし	0-15	6.83
火入れ弱	0-5	7.99 (a)*
火入れ強	0-5	8.51 (b)*
火入れ弱	5-10	7.03 (a)
火入れ強	5-10	7.52 (a)
火入れ弱	10-15	7.26 (a)
火入れ強	10-15	7.22 (a)

異なる小文字は、各層位ごとに火入れ強弱によってpHが有意に異なることを示す(P<0.05)。*は火入れなしと比較してpHが有意に異なることを示す(P<0.05)。有意差検定にはTurky法を用いた(n=3)

である。土壌中の養分は、雨が土壌に降り、土壌を通過して下へと流れ出る際、一緒に流されてしまうことがある。とくに土壌中の硝酸態窒素は、雨の通過とともに洗い流されやすい¹⁰。よって、火入れによってアンモニア態窒素が増加したことによって、作付け期間を通してトウモロコシが効率的に窒素を利用できていた可能性が高い。

3 火入れ時の温度と植生

火入れによって、植生(今回の話では雑草というべきであろう)も影響を受けていた。図3-9は火入れしてからおおよそ1か月後、播種前の写真であり、まだ雑草の生育が始まっていない時期に撮影したもののだが、劇的な違いが火

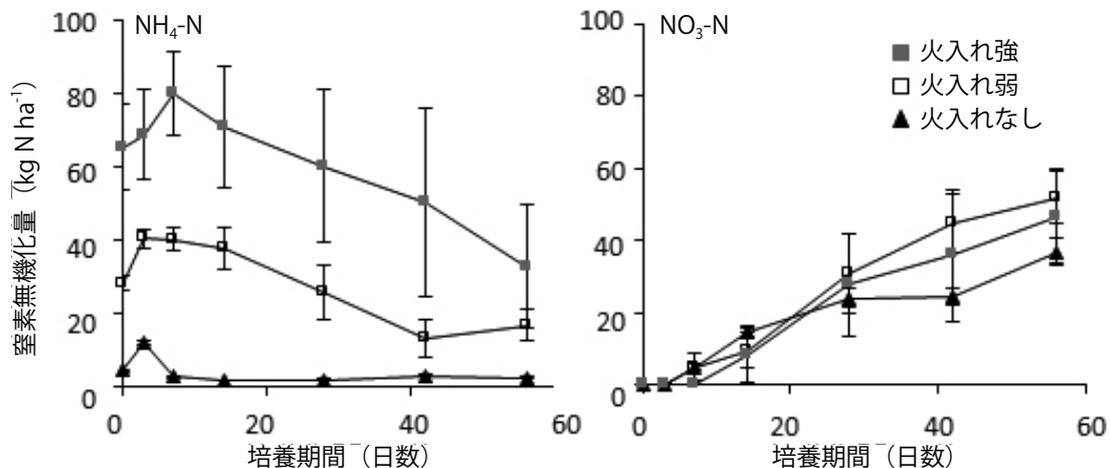


図3-8 火入れ後、雨季が始まると溶脱しにくいアンモニア態窒素(NH₄-N)から溶脱しやすい硝酸態窒素(NO₃-N)へと移行

表 3-4 火入れが収穫時のトウモロコシ茎葉量と収量に与える影響

	草本雑草 (Mg ha ⁻¹)	木本雑草 (Mg ha ⁻¹)	トウモロコシ茎葉 (Mg ha ⁻¹)	トウモロコシ子実 (Mg ha ⁻¹)
2008/2009 (火入れ試験 1 回目)				
火入れなし	0.94 (a)	0.93 (a)	1.06 (a)	0.65 (a)
火入れ弱	0.19 (b)	0.34 (a)	4.75 (b)	2.27 (b)
火入れ強	0.02 (b)	0.00 (b)	6.58 (b)	3.17 (c)
2009/2010 (火入れ試験 2 回目)				
火入れなし	0.26 (a)	0.39 (a)	3.37 (a)	1.18 (a)
火入れ弱	0.16 (b)	0.18 (a)	7.71 (b)	2.51 (b)
火入れ強	0.10 (b)	0.00 (b)	8.25 (b)	3.85 (c)

異なる小文字は、火入れ強度によって有意にそれぞれの年にそれぞれの植物の生産量が有意に異なることを示す (P<0.05)。有意差検定には Turkey 法を用いた (n = 3)

入れによって起こっていた。火が入らなかった場所では、樹木のひこばえ¹¹が元気に生えてきた一方で、火入れをした場所、しかも低木を燃やした場所でさえ写真ようになにも生えていなかった (図 3-9)。

火入れによって「なにも生えなくなってしまった」影響は、とくに火が強く入った場合に (高木を燃やした場合に)、作期を通してみられる。2年にわたる結果をまとめたのが表 3-4 である。表にある木本雑草が作期中のひこばえ量のことであり、草本雑草は1年生・多年生両方を含む。

さきほどの写真では (図 3-9)、低木が燃えた場所でも明らかにひこばえは生えていなかったが、最終的にはひこばえ量が減少していたのは高木が燃えた場所だけであった (表 3-4)。とはいいつつも、圃場で観察したところ (図 3-10)、トウモロコシ収穫時に低木を燃やした

場所でも、明らかにひこばえ量は火が入っていない場所よりも少なかった。しかし、ところどころで生育旺盛な個体が生えてきていた結果、差は見えなくなったと考えられる。

一方で草本雑草は、火が入ることで著しく減少したものの、高木を燃やした場所、低木を燃やした場所ではその減少程度に差はなかった。このように、一口に雑草が減少したといっても、草本雑草と木本雑草では、燃やされる樹木量によってその減少量は異なっていたことがわかった。草本雑草の種は耐熱性が低く、90℃まで地温が上昇すると多くの種子が死滅してしまう (Martin *et al.* 1975)。一方で、木本雑草は種子ではなく、根からのひこばえで生長していた結果、死滅する割合が少なかったのではないかと考えられる。



図 3-9 火入れ 1 か月後の写真 (2008 年 11 月撮影)



図 3-10 火入れによる樹木の減少 (低木を燃やした跡) (2010 年 3 月真常仁志撮影)

4 火入れ法の変化が収量に与える影響

火が入ることでトウモロコシ生育は格段に良くなっていた（図3-11）。ここまで述べてきたように、燃やされる樹木量の増加とともに、植物が利用しやすい養分は増加し、土壌中の養分を利用するうえで競合相手となる雑草の量は減少していた。このことから、燃やされる樹木量の増加は、明らかに収量にプラスに働くと考えられる。図3-12の写真のように、火が入った場所で明らかにトウモロコシの初期生育がいいことがわかる。初期生育の段では、燃やされる樹木量によって、トウモロコシ生育に違いはみられなかったが、収穫時には差が見られた。以下に、低木を燃やす場所が増えてきたことによるトウモロコシの増収程度の変化から、現行の火入れ法が持つマイナス面とプラス面についてまとめた。

1) 火入れ法の変化のマイナス面

燃やされる樹木量の増加とともに、トウモロコシ収量は増加した（表3-4）。トウモロコシ



図3-11 火入れがトウモロコシ生育に与える影響 高木を燃やした場所（2009年3月撮影）

の茎葉量も燃やされる樹木量とともに増加した。しかし、生長したトウモロコシ茎葉に対して収量が増加した割合は、高木を燃やした場所で低木を燃やした場合より高かった。低木を燃やした場合に増加した作物が利用しやすい養分量程度では（図3-7）、トウモロコシ子実を十分に成熟させることができなかつたと考えられる。さらに、低木を燃やした場所で、植物が利用しやすい窒素が、溶脱しやすい硝酸態窒素としてではなく、溶脱しにくいアンモニア態窒素として存在していた割合が高木ほど高くなったことも影響していると考えられる。

このように、昨今の低木を燃やす場所の増加によって、火入れによる増収程度が低下することが分かった。高木・低木を燃やした面積はそれぞれ全開墾面積の6.9%・7.5%を占めていたのみであるが、その生産量はそれぞれ全開墾地で取れる量の21.5%・15.7%を占めており、火入れはM村のトウモロコシの生産高を維持するのに欠かせないものである。よって火入れによる増収を期待するだけを考えれば、低木を燃やす場所が増加したことは、M村の農業生産高に影を落とす要因となる。

2) 火入れ法の変化のプラス面

このように火入れによる増収効果は、低木での火入れが増えたことで低下している。これは明らかなマイナス面である。しかし筆者は、悪



図3-12 火入れ強度の違いによる耕地内の作物生育のばらつき（2008年12月撮影）

いことばかりではないと考えている。

収量は高木を燃やした場所で高いが、土壤肥沃度の指標となる土壤有機物量の減少を招いていたのも事実である。高木を燃やした場所の土壤有機物の減少量は炭素ベースで25.1%、窒素ベースで15%にも及ぶ(図3-6)。火入れ直後の収量は確かに高いが、今後の収量に負の影響をもたらしたり、土壤有機物量の回復に要する休閑期間が長くなる可能性がある。よって、高木の減少によって低木を燃やす機会が増加していることは、土壤劣化を緩和しており、長い目でみればプラスの効果をもたらしているといえる。火入れ後の耕作・休閑によってどのように収量や土壤有機物量に変化していくかは第4章で詳細に検討している。

第4節 まとめ・結論

近年、薪炭材の採取圧の高まりによって高木は減少し、M村の焼畑農業の開墾・火入れは高木ではなく低木を燃やす場合が増えてきた。その結果、火入れ時の増収効果が減少していることがわかった。燃やされる樹木の量が多いほど、灰の添加量は増え、土壤中の養分の無機化が進み(炭素が揮発したことによって)、植物が利用しやすい養分量が増加するからである。さらにそれだけではなく、雑草害も燃やされる樹木量の増加とともに抑制されていた。その結果、トウモロコシ収量は燃やされる樹木量の増加とともに増加した。

その増収割合は大きく、高木・低木を燃やした場所はそれぞれ全耕地面積の6.9%・7.5%を占めるにすぎないが、それぞれは全耕地の21%・15%の収量を占めた。このように、火入れによる増収効果は当地域の生産高に大きな影響を与えている。

収量の面から評価すれば、高木が減少し低木を燃やす場合が増えると、耕地全体の収量は減少するというマイナス面にどうしても目がいつてしまう。しかし土壤肥沃度の面から評価すれ

ば、低木を燃やす方が土壤肥沃度の低下は緩和されていた。今後の農業生産を考えた場合、昨今のように低木を燃やす場合が増加していることは、従来よりも長くその土地を農耕地として使える可能性がある。次の章では、実際、火入れ後に耕作し、休閑するとどうなるのか、その実態について述べよう。

註

図についているエラーバーはすべて標準誤差を示す($n=3$)。

- 1 高木が1本なくなることで2 Mgのバイオマス量が減少する。Chidumayo(1997)によればミオンボ林には1ヘクタールあたり67 Mgの樹木が存在していたので、高木が1本なくなると、ミオンボ林のバイオマス量は1ヘクタール当たり3%減少することとなる。M村のミオンボ林は1ヘクタールあたり39 Mgにまで減少しているので、すべて高木が減少したと仮定した場合、1ヘクタールあたり9本の高木が減少していることとなる。
- 2 植物が生長するうえで必要な三大養分がある。窒素、リン、カリウムである。どの養分が不足しているかは地域によって異なる。東南アジアのように降水量が1500 mmを超えるような場所では、雑草害が特に問題となる。ザンビア東部州のように、降水量が800 mm程度で、半年もの乾季があるような場所では、雑草害より土壤中の養分量によって収量は変化する。
- 3 ザンビア東部州でも、火入れによって植物が利用しやすいリン・カリウムが増加することは、収量の増加させる重要な要因である。
- 4 土壤に存在する主な無機態窒素は2種類あり、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)とアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)である。土壤の温度上昇によって放出される無機態窒素は、アンモニア態窒素である。
- 5 試験区は、同じ処理をしたものを3つずつ設置した。
- 6 コドラートとは、一定の面積内の植物体をすべ

て採取する方法である。本章では、1 m の棒で 4 辺を囲い、その中にある雑草をすべて採取した。

- 7 火入れによる土壌温度の上昇には、地域差がある。たとえ燃やすバイオマス量が同じであっても、上昇程度はことなる。東南アジア、マレーシアでおこなわれている焼畑の事例では、本研究と同じバイオマス量を燃やした場合に、深さ 5 cm 深における火入れ中の土壌最高到達温度は、本研究の結果よりも 100 ~ 300℃程度低かった (Kendawang *et al.* 2004; 2005)。このような土壌温度上昇の違いをもたらすのは、土壌の水分状態や、土性といった土壌の性質に起因すると報告されている (Giardina *et al.* 2000a; Tanaka *et al.* 2001)。土性とは、土壌を粒径の大きさで砂、シルト、粘土に分け、百分率で各画分を示したものの。たとえば、粒径が粗い土壌では、透水性が高く水はけがよい。粒径が細かい土壌では、保水性の高い水分の天然供給力が高い。
- 8 培養実験の一つである。微生物の活動によって、利用しやすい窒素である無機態窒素は容易に変わりうる。もちろん現場の条件を反映しているわけではないので、あくまで土壌それ自体が持つポテンシャルとしての比較、となることに注意していただきたい。たとえば、現場では窒素の一部は溶脱し、作物が利用できない下層にまで流れていってしまう。
- 9 アンモニア態窒素から硝酸態窒素へと変化する現象は硝化作用と呼ばれる。硝化菌の存在によって卓越する作用である。硝化菌は熱に弱いため、火入れによって死滅してしまう。よって、硝化作用は火入れなしでは盛んに起こるが、火が入った場所では硝化菌の復活に合わせて徐々に増加する。
- 10 硝酸態窒素がなぜ溶脱しやすいかというと、硝酸態窒素も土壌もマイナスに帯電していて、反発しあうからである。一方でアンモニア態窒素はプラスの荷電を持っており、土壌に保持されやすい。
- 11 ひこばえとは樹木の切り株や根元から生えてくる若芽で、耕作年数の少ない畑でよくみられ

る。ミオンボ林は半年もの乾季の間に葉を落とす樹種が多いが、乾季終わりの 10 月、雨が降り出す前に青々とした葉をつけ始め、ひこばえによる生長もはじまる。

第4章 焼畑農業—耕作・休閑と土地資源—

第1節 休閑の短期化と土地資源の劣化

1 土地資源の減耗

ザンビア東部州は、国の農業生産を支える主要な農業地帯であり、他州のトウモロコシ消費を補っている（Kumar 1994）。それはザンビアの中で、東部州は降水量が十分にあり（800～1000 mm）、比較的肥沃な土壌がひろがっているためである。近年は、政府の援助によって農村部の小農家も徐々に生産力を持つようになった。そして2010年にはザンビア全土で300万トンものトウモロコシ生産量を得ることができた（第2章；図2-8）。2010年にペタウケ県の中心街に山積みになって保管されていたトウモロコシ子実（図4-1）が、その生産量の伸びに貢



図4-1 ペタウケ県で生産された大量のトウモロコシを積み上げて保管（2010年11月撮影）

献していたことは間違いない¹。

ザンビアのトウモロコシ生産量が伸びている一方、昨今の人口増加によって土壌肥沃度や植生といった土地資源が劣化する可能性が指摘され、問題となっている（Chirwa *et al.* 2004）。生産量の増加の裏で、休閑をせず常畑にしたり（図4-2）、短期間の休閑しかできなかつたりと、土地利用圧は著しく増加している。たとえ休閑しないとしても、化学肥料や、たい肥・牛糞などの有機肥料、除草剤を施用できるのであれば収量は維持できるであろう。しかし化学肥料を施用できないような貧困な小農家にとって、土地利用圧の増加による土地資源の劣化は、由々しい問題である。

2 短期休閑の可能性

化学肥料などに投資できない貧しい小農家は、適宜休閑を挟むことで投資することなく、自然の治癒力を利用することで土壌肥沃度を改善し収量を維持してきた（Nhantumbo *et al.* 2009）。しかしこの休閑サイクルが立ちいかなくなる可能性がある今、貧困な農民でも土地資源を維持・回復できる手段を模索し、提案することが急務である。

一方で、ザンビア東部州において、土壌肥沃度が連続耕作によってどのように変化するのか、実態は明らかではない。従来の焼畑農業の



図4-2 常畑化した農村部の畑 マンゴーの木だけが生えている（左：雨季前）（2011年11月撮影）

サイクルでは、耕作年数に関わらず、少なくとも20年以上休閑していた (Chirwa *et al.* 2004)。つまり耕作による土地資源の減少程度に関わらず、20年以上休閑すれば十分に①樹木は生長し (= 火入れによる増収効果)、②土壌肥沃度も回復していたと考えられる。

決まった耕作年数・休閑年数がない焼畑農業だったので、改善の方法によっては短期の休閑によって土地資源を回復できる可能性があるかと筆者は考えた。短期休閑では、耕作で減少した土壌肥沃度が回復できない可能性もある。しかし同時に、耕作で減少した土壌肥沃度をすべて休閑中に回復するには20年もいらず、短期休閑でも十分土壌肥沃度を回復できる可能性もあると考えられる (Hauser *et al.* 2006)。

3 調査村で短期休閑の利用

第2章の結果から (図2-2)、M村の総面積の64%を休閑林が占めていることがわかった。まだ土地に余裕が残っているM村であれば、短期休閑を上手に利用し、土地資源を持続的に利用できる可能性がある。また、筆者は雨季中にM村を巡回した際に、耕起や播種まではしたが、その後管理を放棄したのか、雑草が生い茂っているだけの畑をみたことがある (図4-3)。村人Aさんの話によると、休閑地を開墾・耕作したものの除草が追い付かないなど、管理しきれず雨季途中に畑の一部を放棄してしまうことがあるようだ。このようにM村では、必

要以上に休閑林を開墾している場合があり、休閑林として利用できる土地は本稿の調査結果よりも大きいと考えられる。休閑林として利用できる面積が多いということは、土地資源の劣化に対する緩衝力(休閑地として利用できる土地)をもっているといえる。薪炭材の採取や農耕地利用の増加による土地資源の劣化の最前線にありながら、まだ比較的「休閑地として利用できる土地」が残っているM村で早期に土地資源の劣化に対する手を打つことによって、土地資源の劣化を未然に防げる可能性がある。

4 新たな土地管理の提案に向けて

短期休閑システムの肝となるのは、耕作による土地資源の減少量と休閑による土地資源の回復量を正確に定量することである。そうすれば、耕作で減少した土地資源を、最短の休閑期間で回復できる (Mertz 2002)。耕作年数が増えるにつれ土地資源は低下していくことが多くの研究で報告されている (Murty *et al.* 2002 など)。よって、休閑する前の耕作年数が長くなるにつれて、回復に要する休閑期間も長くなることを考慮にいれなければならない (Hauser *et al.* 2006)。しかし、このように休閑前の耕作履歴を考慮し、休閑期間を決定した報告は未だ少ない (Mobbs and Cannell 1995; Hauser *et al.* 2006)。

短期休閑では、土壌肥沃度は回復できる可能性はあるものの、樹木の生長量が抑えられてしまうことは避けられず、高木にまで樹木は生長



図4-3 耕作地 (左) と耕作放棄地 (右) (2011年2月撮影)

できない。第3章で述べたように、樹木の量が多いほど火入れによる収量の増加が期待できるので、短期休閑ではある程度の収量の低下は避けられない（第3章；表3-4）。しかし燃やされる樹木量が少ないと、その分火入れによる土壤肥沃度の急激な低下は抑えられることもわかっている（第3章；図3-6）。つまり短期休閑後の開墾・火入れは、長期休閑（20年以上）より、火入れによる増収効果は薄いものの、より長い期間、耕作できると考えられる。

以上より、本章の大目標を以下のように設定し、第2節で耕作と土地資源の劣化を、第3節で休閑と土地資源の回復について述べ、第4節でM村の焼畑農業の耕作・休閑についてまとめることとする。

大目標

従来の焼畑農業の休閑システムを再評価し、収量の持続的な確保が可能な短期休閑システムを提案することを目的とし、①耕作年数の増加とともにどのように土地資源が減少するのか、②耕作年数が違う農耕地をそれぞれ休閑に戻した場合に、休閑年数の増加とともにどのように土地資源が回復するのか、調査・分析をおこなった。

第2節 耕作と土地資源の劣化

1 耕作と土地資源の概説

耕作によって土地資源は劣化する。土地資源である土壤肥沃度と植生がどのように劣化するのか、まずはそのメカニズムについて概説する。本章では土壤肥沃度の指標として土壤窒素と土壤炭素を使用し、耕作によって劣化するメカニズムを1) 土壤窒素、2) 土壤炭素、3) 植生の順に説明していくことにする。

土壤窒素と土壤炭素の変化は、土壤へ投入された分に対して（投入量）、どれだけ土壤から損失したのか（損失量）、その差によって決まる（Paustian *et al.* 2000）。つまり、A 投入量が損失量を上回れば、土壤窒素・炭素は増加し、B 投入量が損失量を下回れば、土壤窒素・炭素は減少し、C 投入量と損失量が釣り合っていれば、土壤窒素・炭素は変化しない。土壤窒素と土壤炭素では、その投入経路と損失経路が異なる。

①土壤窒素の減少

土壤窒素の損失経路は、子実の収穫と溶脱である（図4-4）。とくに窒素の溶脱は農耕地で増加する。その理由は二つある。一つ目は、樹木が伐採されたことで、土壤深層へと流れてし

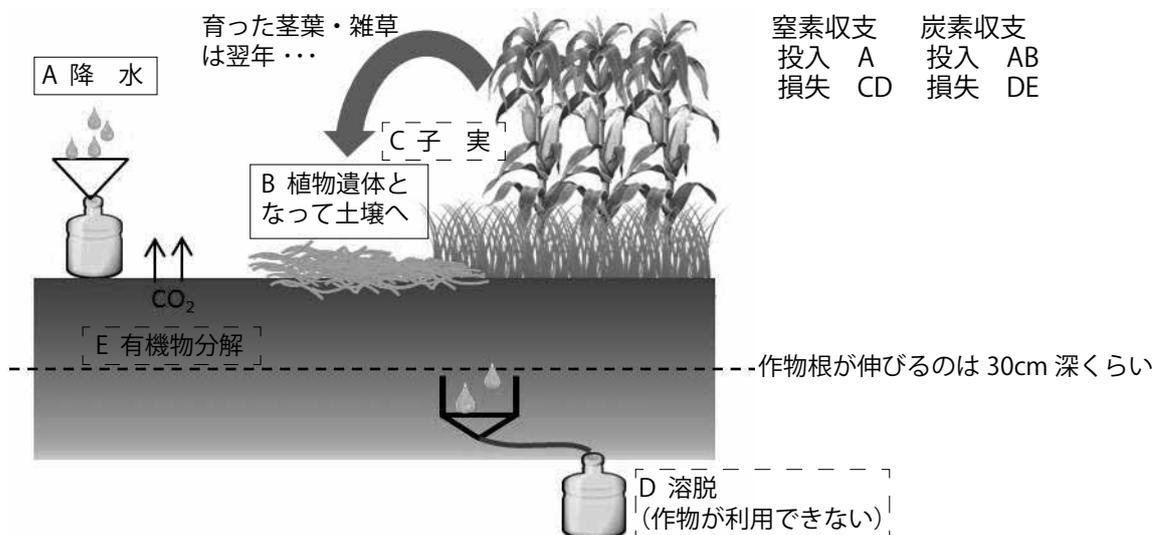


図4-4 耕作による窒素・炭素の移動の模式図



図 4-5 鋤による耕起前（左）と鋤による耕起後（右）（2011年11月撮影）

まった窒素が表層へ供給されなくなるためである²。二つ目は、土壤温度の上昇や耕起による植物遺体の混ぜ込み³によって（図 4-5）、植物遺体の分解が促進されるためである（Huggins *et al.* 1998）。植物遺体の分解が進むと、移動しやすい窒素量（植物が利用しやすい窒素量）が増加し、水の流れに乗って土壤深層へ流れやすくなる。

無施肥農業であれば、この土壤からの窒素の損失を補う経路は、降水を通してのみである⁴。降水中に含まれる窒素量は非常に少ないので、耕作地ではなにか資材を投入しない限り土壤窒素は減っていく一方である⁵。

② 土壤炭素の減少

炭素が土壤へ投入される経路は、降水と植物遺体である（図 4-4）。降水による投入量は、窒素と同様にあってないようなものである。植物遺体が土壤に投入されることが、炭素の一番の投入源となる。なぜなら、植物は光合成によって、土壤からではなく大気から二酸化炭素を固定しているからである。そして、土壤炭素は、微生物によって分解される過程で、大気中へ二酸化炭素として放出されることが主な損失経路である。土壤炭素が溶脱によって損失する量は、微生物の分解によって損失する量の 1% に満たない程度である。

③ 植生の劣化

土壤中の養分量をポンプアップするミオンボ林の樹木は、10 年以上連続耕作をすることで樹木のひこばえ能が低下していくと報告されている（Walker and Desanker 2004）。しかしマダガスカルにおける事例では短期耕作でも樹木のひこばえ能は低下する可能性があるとして示唆されており（Randriamalala *et al.* 2012）、どの程度の耕作年数でひこばえ能が低下するのか、その詳細は明らかになっていない。

第 3 章で紹介したように、M 村で休閒地を開墾・火入れすると、①火が入らなかった場所、②低木を燃やした場所、③高木を燃やした場所が存在している。燃やされた樹木の量が違う場所では、耕作が土地資源に与える影響はことなることが想定される。たとえば、第 3 章で紹介したように、燃やされた樹木の量が高いほど収量は増加するので、その分だけ養分は作物子実へ吸収されることとなり、土壤からの養分の減少速度が速い可能性がある。よって、燃やされた樹木の量の違いを含め、耕作が土地資源に与える影響を評価する必要がある。

2 調査の準備・方法

1) 試験区の設定

栽培試験は 2007 年 6 月～2012 年 5 月にわたり実施した（第 1 章；図 1-23 参照）。試験区はすべて 12 × 31 m の大きさで設置した⁶。処理区として、耕作年数が 1、2、3、4、5、10、40

年の耕作区を設置した。10年・40年の耕作区と、10年・40年の耕作後にした2年間の休閑区を除き、それぞれの処理区内には、火入れなし、火入れ弱（低木を燃やした場所）、火入れ強（高木を燃やした場所）が存在している。

2) 収量

各耕作年数の処理区で、トウモロコシ子実を採取し、70℃オーブンで48時間乾燥後の重量を測定した。3株ずつ、各処理区で採取した。

3) 土壌水分量の評価

半乾燥地では、土壌水分量は、植物遺体が分解する量に影響を与える重要な要因である。耕地・休閑地で土壌水分量の変化を表層0～15cm深で乾季・雨季を通して経時的に測定した。

4) 土壌窒素量・土壌炭素量

0～15cmの深さで土壌を採取し、土壌炭素量、土壌窒素量を測定した。

5) 土壌へ供給される植物遺体量

トウモロコシ残渣は収量の測定と同様におこない、雑草は、1×1mのコドラート⁷を用い、各処理区3か所ずつ採取した。雑草サンプルは草本性のものと、木本性のもので分けてサンプリングした⁸。

6) 土壌へ供給された植物遺体の分解速度

土壌へ投入された後の植物遺体は、土壌動物によって噛み砕かれ、微生物によって分解されることで、土壌に養分を供給する。その分解の速度を圃場で調べる方法が、リターバッグ法である。ナイロン製のメッシュに、植物遺体を詰めたものを圃場に設置した（図4-6）。耕作地では、耕起によって植物遺体は土壌に混ぜ込まれるので、その状態を反映しリターバッグは土壌に埋設した（一方休閑地では、植物遺体は土壌表面に積み重なっていくので、土壌表面に設置した）。すべてのリターバッグは雨季を通して放置し、設置時の重量からどれだけ減少した

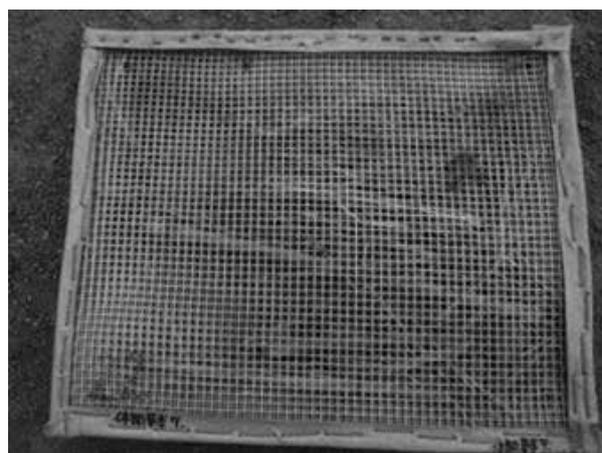


図4-6 リターバッグ試験 ナイロンメッシュに植物体を詰めたもの（18×15cm）

のか、その量を測定し、分解速度を算出した。

3 耕作とトウモロコシ収量

火入れによる増収効果を除けば、耕作10年目まで収量はおおよそ1Mg ha⁻¹であった。その後、耕作を40年間続けてしまうと、収量は0.5Mg ha⁻¹まで減少していた（図4-7、図4-8）。つまり、燃やされた樹木の量にかかわらず、10年程度の耕作であれば収量はそれほど低下しないことがわかった。収量だけみれば、10年間の連続耕作でも、おおよそ問題がないようにみえる。

高木を燃やした場所（火入れ強）では、耕作5年間通して火入れなしよりも収量は相対的に高い値を示しており、とくに最初の耕作3年間は増収効果が確認できた。一方低木を燃やした場所（火入れ弱）では、火入れによる増収は耕作1年目だけであった。燃やす樹木の量が減少すると、火入れ直後1年目の収量の低下だけでなく、3年間に渡る収量の減少をもたらすことがわかった。

4 耕作と土壌肥沃度

耕作年数の増加とともに収量が大きく減少していないということは、土壌肥沃度も変化しなかったのだろうか。土壌肥沃度の指標として土壌窒素量・炭素量を図4-9に示した。

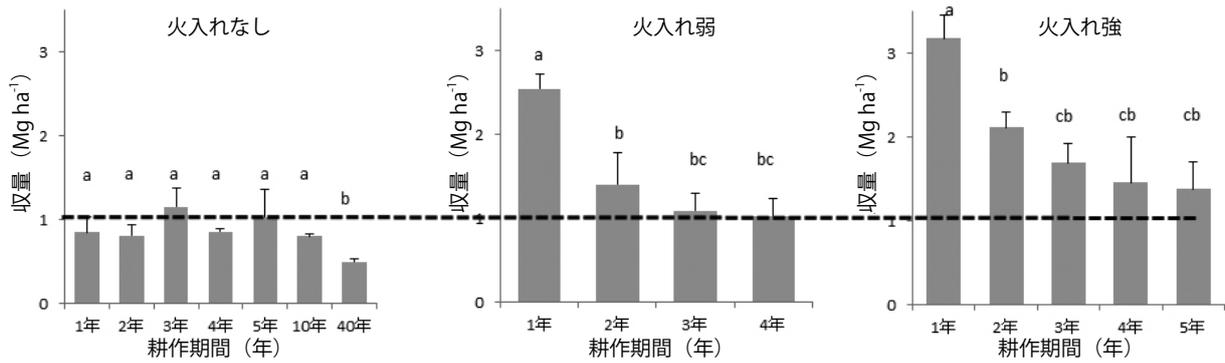


図4-7 収量は連続耕作で減少するのか（火入れなし：左、火入れ弱：中央、火入れ強：右）
点線は収量 1 Mg ha^{-1} のライン

異なる小文字は、耕作年数によって有意に収量が異なることを示す ($P < 0.05$)。有意差検定には Turkey 法を用いた（耕作 1, 5, 10 年; $n = 3$ 、耕作 2, 3, 4 年; $n = 6$ 、耕作 40 年; $n = 2$ ）



図4-8 耕作2年目（左：2010年4月撮影）と耕作40年目（右：2011年4月撮影）の収穫時

1) 火が入らなかった場所（火入れなし）

土壤窒素量・炭素量は耕作5年で変化していなかったが、耕作10年・40年すると減少することがわかった。耕作10年では土壤窒素量・炭素量は減少したにもかかわらず、収量には減少がみられなかったのである。その可能性として、土壤肥沃度よりも降水量によってトウモロコシの生育が規定されていた可能性が考えられる。

2) 火が入った場所

火が入った場所では、ほかの地域では報告されていない結果がえられた（図4-9）。高木・低木を燃やした場所の両地点で、火入れによって減少した土壤炭素量は、耕作2年後までに8割まで回復していた。とくにその回復量は、高木を燃やしたほうで高かった。一方で土壤窒素量

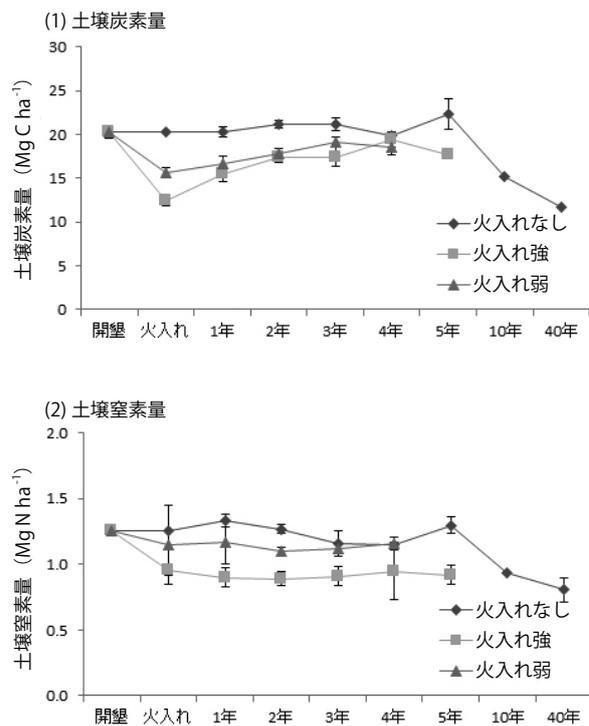


図4-9 耕作による土壤炭素量・窒素量の変化

は、火入れによって減少しただけで、その後の耕作中には減少こそしなかったが土壌炭素量のように増加することはなく、変化していなかった。

これまでの他地域における研究で、土壌窒素量・炭素量は、とくに開墾直後の耕作中に減少すると報告されていた (Murty *et al.* 2002 など)。既往の研究結果とは異なり、火入れによって土壌窒素量・炭素量は減少するだけで、耕作によって大きく減少しなかった。それどころか、火が入った場所では土壌炭素量は増加していた。なぜこのような変化がみられたのか、そこには土壌環境要因である土壌水分や、トウモロコシ残渣や雑草といった土壌へ投入される植物遺体が関係していたと考えられる。ではどの因子がどのように土壌窒素量・炭素量の変化に効いていたのか、順に説明しよう。

5 土壌水分量と土壌肥沃度

土壌中の有機物 (植物遺体など) が微生物によって分解されると、炭素は二酸化炭素として大気中に放出され、窒素は移動しやすい形態 (植物が利用しやすい窒素) になり、植物に吸収される。植物が利用する以上の移動しやすい窒素が供給されると、溶脱してしまう。

土壌微生物がどの程度活発に土壌中の有機物を分解するかは、もちろんどれだけえさとなる植物遺体や土壌有機物が存在しているかによっても変化するが、土壌水分量や土壌温度といった環境要因によっても変化する。土壌水分量にしても土壌温度にしても、低すぎても、高すぎても土壌微生物の活動量は下がる。

ザンビアと同じ半乾燥地であるタンザニアでの研究によると (Sugihara *et al.* 2012)、土壌微生物がどれだけ活発に分解するかは主に土壌水分量で決まっているという報告があり、半乾燥地では植物の生育だけでなく微生物の活動も「降水量」の影響をうけることがわかっている。そこで、当地域の土壌水分量の季節変化をみていただきたい (図 4-10)。雨季中には雨が降るたびに土壌水分量は高くなり、日が経つにつれ

低下していく、という傾向をしめしているものの、おおむね土壌微生物が活動しやすい土壌水分状態にあるといえる。しかし乾季に入ると、土壌水分量は減少し乾燥した状態が半年もの間続く。この乾季の間、土壌微生物の活動は抑制され、土壌中の有機物の分解は進まないと考えられる (Sugihara *et al.* 2012)。

つまり、ザンビアでは半年間も乾季があり、土壌中の有機物の分解が抑制されていたことで、耕作中の土壌窒素量・炭素量の減少の抑制に寄与していたのではないかと考えられる。データは割愛するが、実際に本稿の圃場でも土壌有機物の分解が乾季中に全く起こっていなかった (Ando *et al.* 2014b)。

6 耕作と植物遺体

1) 火が入らなかった場所

火が入らなかった場所で土壌に投入された植物遺体を、図 4-11、4-12 に示した。図 4-11 の写真は火が入らなかった場所の耕作 1 年目・3 年目の耕起前に撮影したもので、上図が景観を、下図は土壌を覆う植物遺体を示している。ご覧のように、耕作 1 年目では地表面を覆い隠すほどの植物遺体が投入されたが、耕作 3 年目には減少し、地表面があらわになるほどであった。

写真ではわかりづらいが、耕作 1 年目と 3 年目で植物遺体の量だけでなく種類も異なっていた。図 4-12 に植物遺体の量を耕作年数ごとにまとめた。耕作 1 年目には、休閑中に土壌に降り積もった樹木の落葉落枝や雑草の枯死体が多

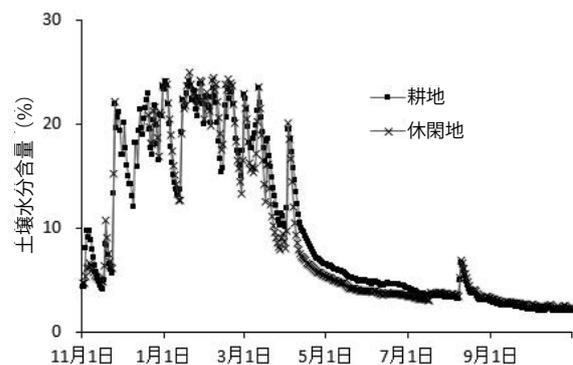


図 4-10 乾季・雨季を通した土壌水分量の変化

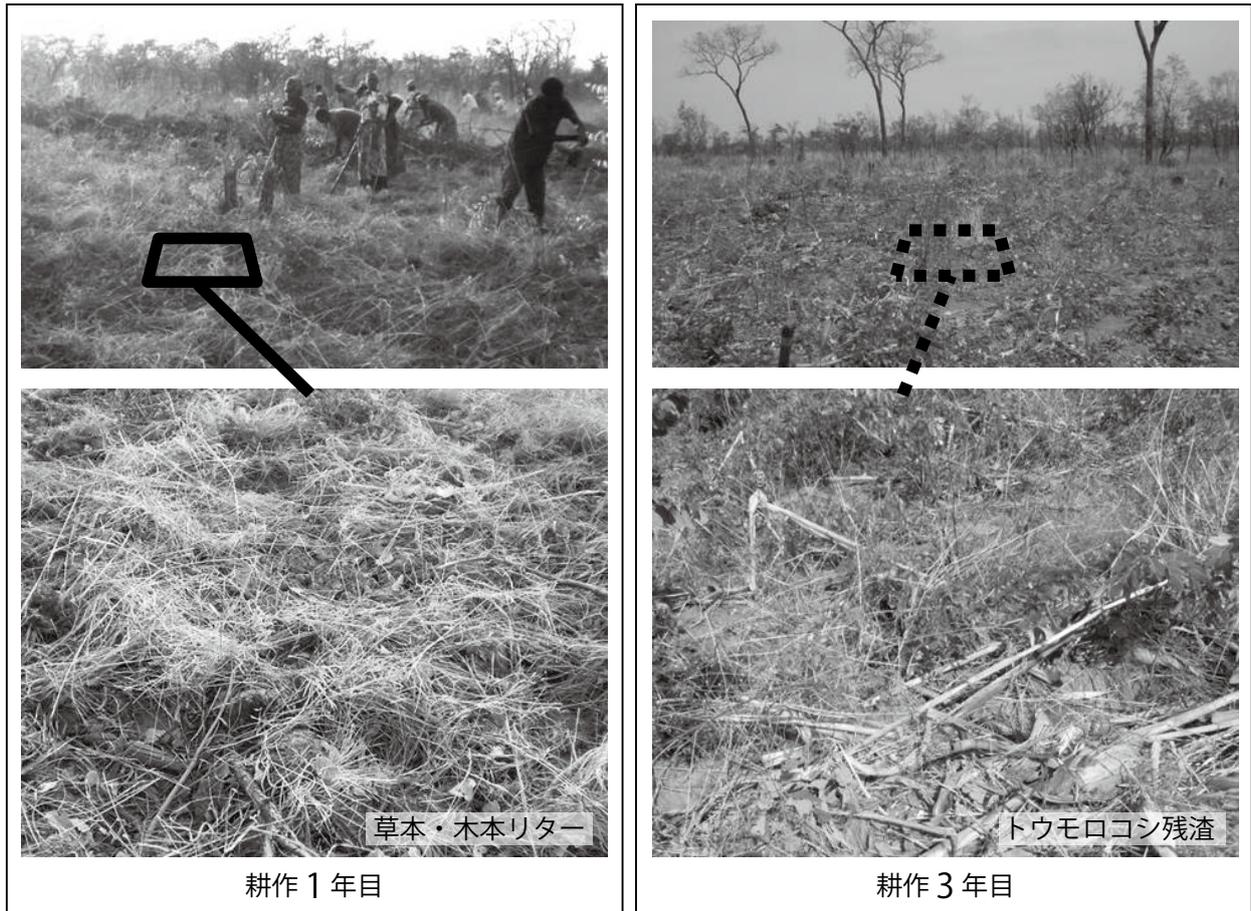


図 4-11 土壌へ投入される雑草や作物残渣—火入れなし— (2009年10月撮影)
 耕作1年目の耕作前の景観 (左上) と、土壌へ投入される植物遺体 (左下)
 耕作3年目の耕作前の景観 (右上) と、土壌へ投入される植物遺体 (右下)

量に投入された。耕作2年目には土壌へ投入される植物遺体の量は減少し、トウモロコシ残渣や雑草が主体であった。耕作10年以後には植物遺体の量がさらに減少した。

詳しくみると、雑草の種類も耕作年数とともに変化していた。雑草には、草本雑草と、樹木の切り株や根からひこばえ再生した木本雑草がある。木本雑草は、連続耕作することで徐々に減少し、その減少分を補うかのように草本雑草が増加した。その結果、植物遺体中の木本雑草が占める割合は、耕作2年目の31.1%から、耕作5年目には14%、40年後にはほぼ0%となった。

植物遺体は種類によって、微生物による分解のされやすさもことなる。表4-1は、植物遺体が雨季の間にどれだけの量が分解されたかを示している。値が高ければ高いほど分解されやす

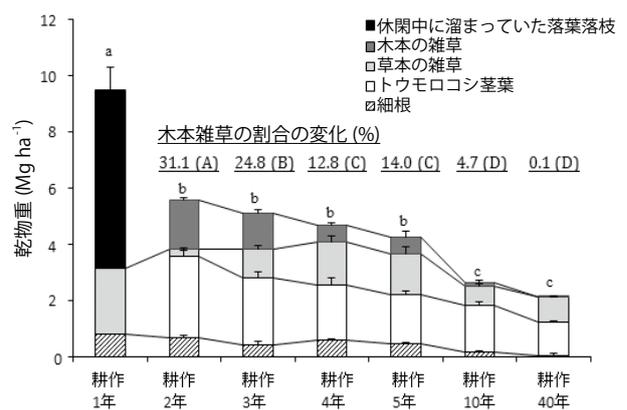


図 4-12 耕作による土壌へ投入される植物遺体の変化—火入れなし—

異なる小文字のアルファベットは投入量の全量に違いがあることを示す ($P < 0.05$)。異なる大文字のアルファベットは木本雑草の割合に違いがあることを示す ($P < 0.05$)。有意差検定には Turkey 法を用いた (耕作1, 5, 10年; $n = 3$; 耕作2, 3, 4年; $n = 6$; 耕作40年; $n = 2$)

表 4-1 植物遺体の分解速度

	分解割合 (%)		
	トウモロコシ茎葉	草本雑草	木本雑草
長期休耕地	91.9 (a)	46.8 (a)	49.7 (a)
短期休耕地	83.3 (a)	54.7 (a)	41.9 (a)
耕地	87.1 (a)	80.7 (b)	61.2 (a)

異なる小文字は、処理によって植物遺体の分解割合が有意に異なることを示す (P<0.05)。有意差検定には Turkey 法を用いた (n=5)

い植物遺体であることを示す。一雨季中に、木本雑草は 62% 分解されるにとどまるが、草本雑草は 81%、トウモロコシは 87% も分解した。要するに、耕作を続けると、分解されにくい木本雑草が減少し、分解されやすいトウモロコシや草本雑草といった植物遺体が主として投入されることとなる。

ここで、連続耕作によって土壤炭素量・窒素量が減少したのは耕作 10 年以後であったことを思い出していただきたい (図 4-9)。土壤へ投入される植物遺体が、耕作 1 年から 5 年の間にこうも変化しているのに、土壤有機物中の炭素量・窒素量に変化はみられなかったのである。もともと土壤は不均一であり、土壤へ投入される植物遺体の種類の違いが土壤へ与える影響はないようにみえてしまう。しかし土壤の細かい部分を分析した結果、耕作 3 年間に植物遺体の量が減少したこと、また分解されやすいものにも変わったことが土壤炭素量や窒素量の減少をもたらしたという結果をえることができた。詳細は Ando ら (2014b) の論文を参照していただきたい。

2) 火が入った場所

図 4-13 は低木を燃やした場所 (左)、高木を燃やした場所 (右) の土壤を覆う植物遺体を示しており、それぞれ上が耕作 1 年目を、下は耕作 2 年目の耕起前の写真である。写真のように耕作 1 年目は火入れによって植物遺体が燃えてしまうので、炭などを含む灰が土壤へと投入された。耕作 2 年目は、火入れ効果によってトウモロコシがよく生長した結果、太く硬い茎が土

壤へ投入された。

火入れ後に生成された灰だけでなく、耕作 2 年目に投入された太く硬いトウモロコシの茎は、土壤微生物による分解はすすみにくい。よって、火が入った場所の最初の耕作 2 年間は、火が入らなかった場所と比べて分解の遅いものが土壤へ投入されていたといえる。これらの結果をグラフにしたのが図 4-14 である。低木を燃やした場所 (火入れ弱) では火入れによって増加したトウモロコシ残渣 (耕作 2 年目)、高木を燃やした場所 (火入れ強) では火入れ時の燃え残りの灰 (耕作 1 年目) とトウモロコシ残渣の量 (耕作 2 年目) は、高い値であった。しかも、この投入された植物遺体は分解が非常に遅い。

この分解されにくい多量の植物遺体が土壤に投入されたことで、土壤炭素量は増加した (図 4-9)。つまり、土壤への投入量 (植物遺体に含まれるの炭素量) が、土壤からの損失量 (微生物によって分解され二酸化炭素として大気中に放出される量) よりも大きければ、たとえ耕作中であっても土壤中の炭素量は増加する、ということがわかった。

しかしながら、土壤窒素量は土壤炭素量と異なり、土壤への投入量 (降水中に含まれる窒素の量) が土壤からの損失量 (溶脱水と子実に含まれる窒素) を上回ることは、過剰の施肥しない限り起こりえない。よって、高木を燃やした場所・低木を燃やした場所では、耕作中に土壤有機物中の炭素量のみ増加し、窒素量は変化しなかった。

未発表データではあるが、高木を燃やした場所では実は耕作 1 年目の間に、121 kg N ha⁻¹ もの窒素 (土壤窒素量のおよそ 13%) が、溶脱によって失われ、子実に吸収されていたことが明らかとなっている。

第 3 節 休閑と土地資源の回復

1 休閑と土地資源の概説

休閑は、耕作せずに放置し、土地を休ませる

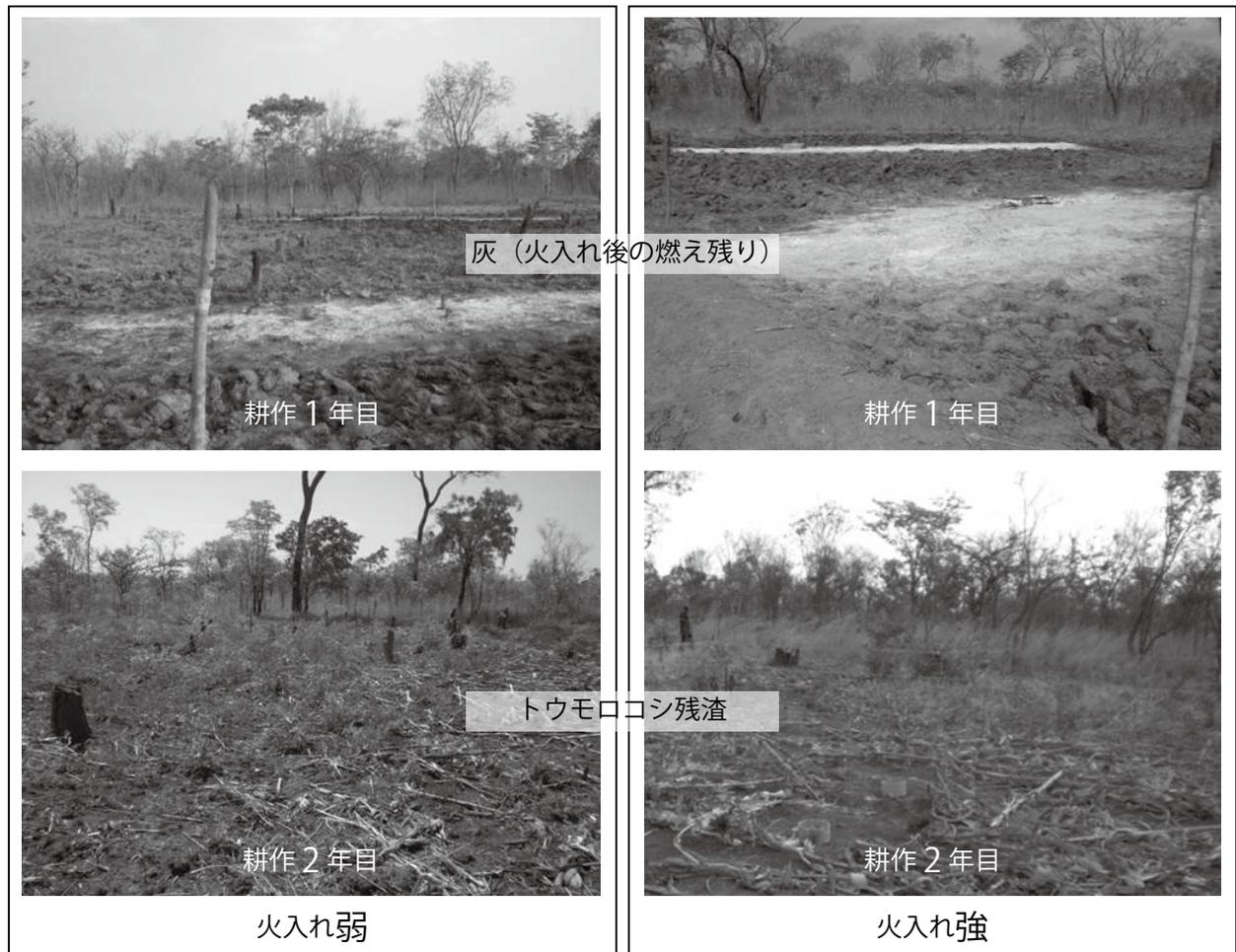


図4-13 土壤へ投入される雑草や作物残渣—火入れあり— (2009年10月撮影)
 火入れ弱の耕作1年目 (左上) と、耕作2年目 (左下)
 火入れ強の耕作1年目 (右上) と、耕作2年目 (右下)

耕作1年目には火入れ後の燃え残りの灰が、耕作2年目は大きく成長したトウモロコシ残渣がおもな植物遺体として土壤へ投入される

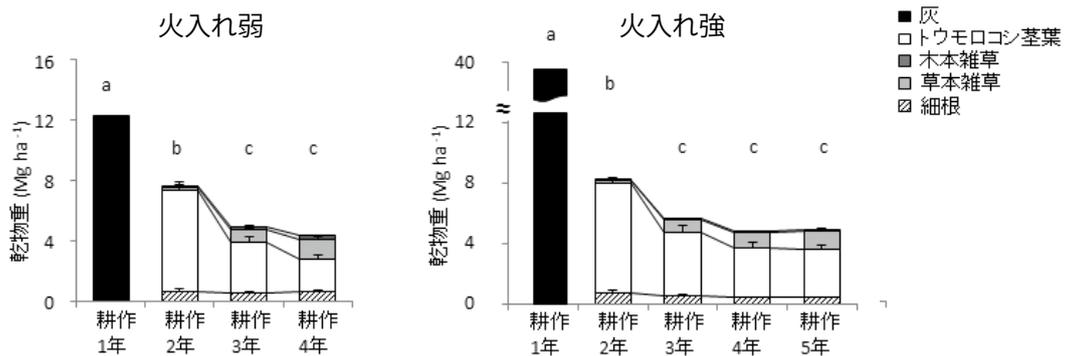


図4-14 耕作による土壤へ投入される植物遺体の変化—火入れあり—

異なる小文字は、耕作年数によって有意に投入量の全量が異なることを示す ($P < 0.05$)。有意差検定には Turkey 法を用いた (耕作 1, 5 年; $n = 3$, 耕作 2, 3, 4 年; $n = 6$)

ことである。最近では Improved fallow という、生長の早いマメ科樹種を植えることで短期間の休閒をおこなう研究¹⁰も多いが (図4-15)、未だに農村部への普及には至っていない。その理

由は苗を購入する資金がないといった経済的な理由だけでなく、苗の調達経路が確立されていないこと、新しい技術を積極的に受け入れる人が少ないことも影響しており、農村部まで



図 4-15 Improved fallow を村人に紹介する Field Day にて (2009 年 3 月撮影)

Improved fallow が普及するには、まだ時間がかかりそうである (Phiri *et al.* 2004)。

一方で従来の休閑とは、なにか植えたり手を加えることなく、そのまま土地を何十年か放置し、自然植生に任せ土地資源を回復する。自然植生による休閑では土地資源の回復速度は遅いかもかもしれないが、着実に回復する。休閑地では耕地と比べ、土地資源の持ち出しが少ない¹¹。また、耕作地と比べると圧倒的に土壤に投入される植物遺体の分解が抑制されるので、土壤炭素や土壤窒素の損失が抑えられる。土壤の下層へ流れていった窒素も樹木の根によって吸収され (Szott *et al.* 1999)、樹木が葉や枝を土壤に

落とすことで、再び土壤表面へ供給される (図 4-16)。これらの効果によって、土壤への投入量が損失量を上回った結果、土壤の肥沃度を徐々に回復させることができる。

耕作で減少した土地資源を休閑中にすべて回復するためには、休閑する前に耕作によってどれだけ土地資源が減少したのか明らかにする必要がある (Hauser *et al.* 2006)。さらに、燃やされたバイオマス量が違う場所で、休閑による土地資源の回復速度はことなることが想定される。たとえば、火が強く入った場所では、樹木のひこばえ能は大きく低下する。つまり、休閑に戻した際に、樹木の生長速度も減退する可能性がある。

しかし、このような休閑前の耕作履歴を考慮し、休閑期間を決定した報告は未だ少ない (Mobbs and Cannell 1995; Hauser *et al.* 2006)。そこで、大目標で述べたように、耕作年数が違う農耕地をそれぞれ休閑に戻した場合に、休閑年数の増加とともにどのように土地資源が回復するのか、以下にまとめる。

2 調査の準備・方法

1) 試験区の設定

休閑区は 1 年耕作後に 1、2、3、4 年休閑した区、2 年耕作後に 1、2、3 年休閑した区、3

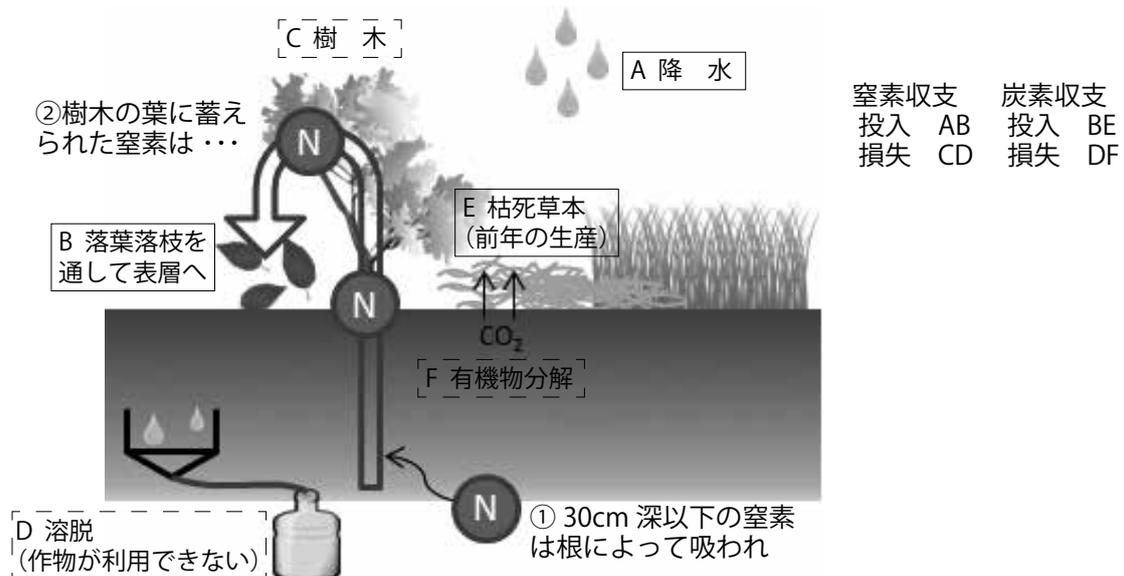


図 4-16 休閑による窒素・炭素の移動の模式図

年耕作後に1、2年休閑した区、10年耕作後に1、2年休閑した区、40年耕作後に1、2年休閑した区を設置した。よって本章の試験では、休閑の処理区が14種類、存在することとなる。また、この処理区と隣接した場所に、処理区としてミオンボ林（長期休閑）を設置している。

2) 土壌窒素量・土壌炭素量

0～15 cmの深さで土壌を採取し、土壌炭素量、土壌窒素量を測定した。

3) 土壌へ供給される植物遺体量

休閑地であれば落葉落枝や枯死草本が、植物遺体として土壌へ還元される。枯死草本は、1×1 mのコドラート⁷を用い、各処理区3か所ずつ採取した。リタートラップと呼ばれる落葉落枝を採取する器具を設置し、毎月採取した。

4) 休閑地の樹木量

休閑とともに時間を追って樹木の生長量を調べるためには、樹木を切って集めるといった破壊的なサンプリングはおこなえない。そこですべての休閑区で1.5 m以上の樹木を対象に基部直径を測定した。基部直径は、樹木のバイオマス量と相関関係があり、式を作成して樹木のバイオマス量を算出した¹²。

5) 土壌へ供給された植物遺体の分解速度

第2節の調査方法を参照のこと

3 休閑と土壌肥沃度

休閑すると土壌窒素量・炭素量はどのように変化するのか結果を示そう（図4-17）。耕作・火入れによって土壌窒素量・炭素量が減少しなかった段階で休閑に戻しても、休閑中にそれらは変化していなかった¹³。

では、土壌炭素量・窒素量が減少した後に休閑に戻した場合を見てみよう。土壌炭素量・窒素量が減少した耕作10年・40年後（火入れなし）、耕作1～4年後（火入れ弱）、耕作1～5年後（火入れ強）に休閑に戻しても、1～3年

の短期休閑では土壌炭素量・窒素量は回復しなかった。短期の休閑では、土壌への投入量が土壌からの損失量を上回ることができなかったと考えられる。

4 休閑と植生

1) 火が入らなかった場所

図4-18に、火が入らなかった場所（火入れなし）の景観を示す。耕作1年間した後に休閑に戻した場合のほうが、耕作3年間した後に休閑に戻した場合よりも樹木の量が多いことがみて取れるだろう。さらに休閑前の耕作年数が10年・40年と増えると、樹木はほぼ生えていなかった。この傾向は休閑1年目だけではなく、休閑2年目にもみられた。つまり、火が入らなかった場所では、休閑前の耕作年数が増加することで、樹木が少しずつ減少し、最終的には草本主体の植生となることがわかった。樹木の生長量をグラフにまとめた結果（図4-20）、火が入らなかった場所では、休閑前の耕作年数が1年、2年、3年、10年と増加するにつれ、樹木の回復速度が遅くなった。

2) 火が入った場所

図4-19には、左に高木を燃やした場所と、右に低木を燃やした場所の休閑3年目の写真を示した。ご覧のように、とくに強く火が入ってしまうと（高木を燃やすと）、休閑を3年間してもまったく樹木の生長がみられず、草本主体の植生となっていた。一方であまり火が強くないと（低木を燃やすと）、樹木主体の植生となっており、火入れ強度の増加は、休閑中の樹木の回復速度を低下させることがわかった。

この樹木の回復速度の違いをまとめると（図4-20）、燃やされる樹木量の増加とともに、樹木の回復速度がおそくなっていたことがわかった。よって、ザンビアを覆うミオンボ林では、休閑時の木本の回復速度は、休閑前の耕作や火入れといった攪乱によって、低下することが分かった。

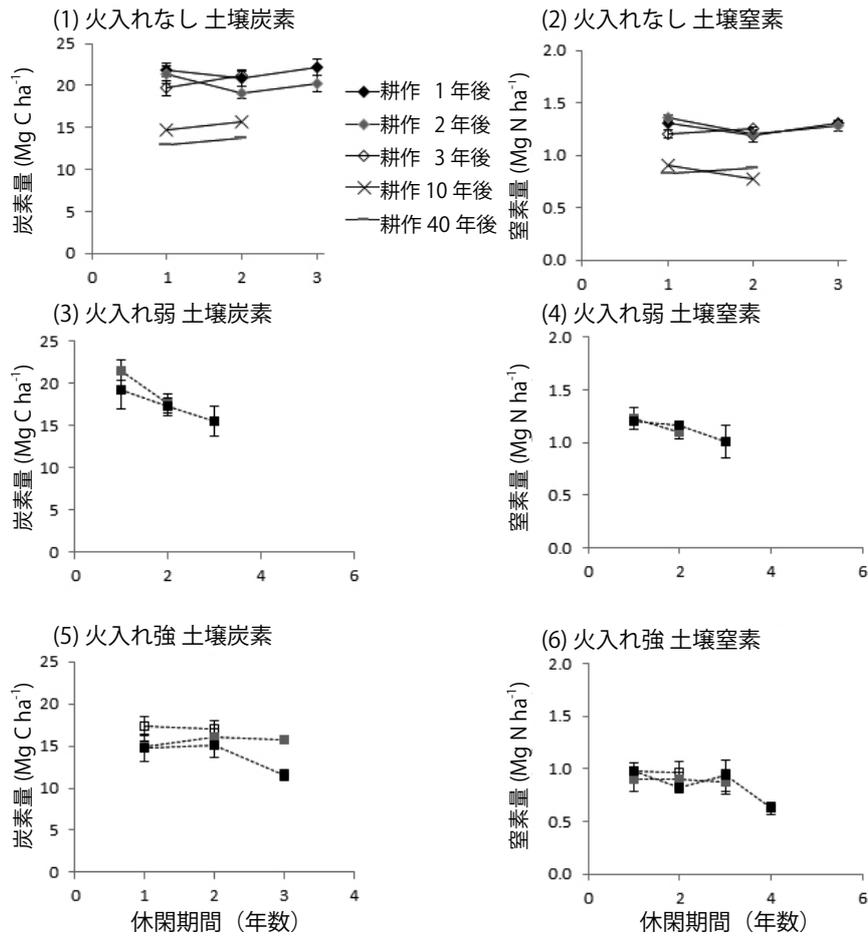
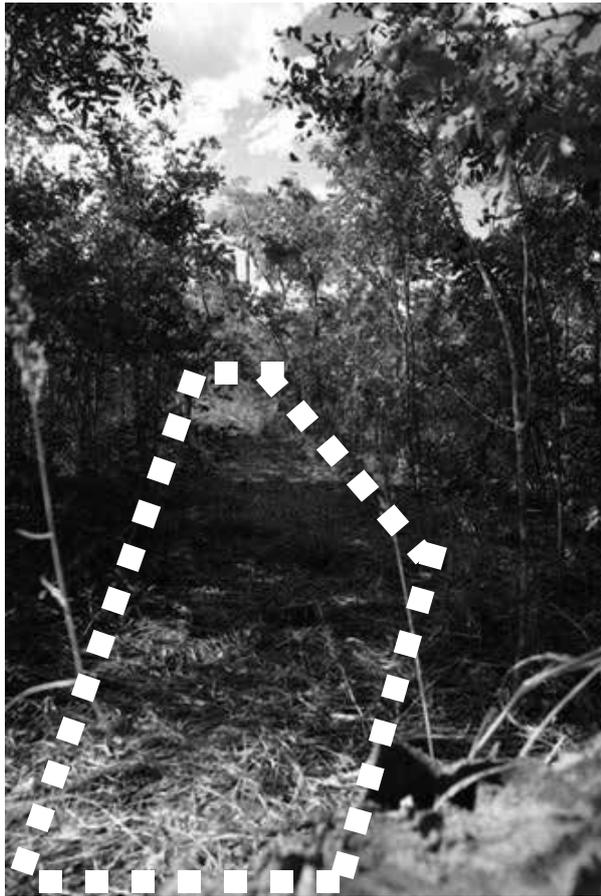


図 4-17 短期休閑中の土壤炭素量・窒素量の変化



図 4-18 耕作履歴が違くと樹木の回復はことなる (写真) —火入れなし— (2011年2月撮影)



火入れ：強



火入れ：弱

図 4-19 耕作履歴が違くと樹木の回復はことなる (写真) —火入れあり—

5 休閒中の植生と土壤肥沃度

樹木の回復速度が遅くなるということは、つまり、土壤窒素量の回復が遅くなるということである。休閒地で窒素が回復するのは、土壤の下層の窒素を樹木が吸収し、その後樹木の葉や枝が土壤に落ちることで、土壤表層へと窒素が再分配されることによる (Szott *et al.* 1999)。しかし土壤窒素量が減耗した場所、つまり耕作や火入れといった攪乱の程度が大きい場所ほど、樹木の回復速度が遅かった (図 4-19)。攪乱程度が大きくなると、土壤窒素の回復に時間がかかり、土地利用効率が悪くなってしまう。

しかし、土壤炭素量の回復を考えるのであれば、植生が草本主体の休閒でもいいのかもしれない。図 4-21 は火が入らなかった場所の結果である。耕作 3 年間した後には休閒すると、草本植生が優占した休閒となり、休閒 2 年目には土壤へ投入される植物遺体の量はもっとも高かった。草本が優占した休閒の場合、草本雑草は育っ

たバイオマス全てが土壤へと還元されるからだ。一方で、樹木が優占した休閒の場合、休閒中に土壤に投入される植物遺体は落葉落枝のみであり、短期休閒のような樹木量が少ない場合、落葉落枝の量は枯死草本の量と比べて小さくなる。よって、ある程度樹木が減少し、草本植生が主体であった耕作 3 年後の休閒地で、土壤へ投入される植物遺体量は大きくなった。とはいっても、耕作 10 年、40 年してから休閒に戻しても、耕作 3 年後ほどの草本の植物遺体が獲得できていなかった。ある程度土壤中に養分がある状態で戻さないと、やはり草本量は制限されてしまうのであろう (Ando *et al.* 2014b)。

第 4 節 耕作の長期化・休閒の短期化と土地資源

トウモロコシ収量は耕作年数が 10 年程度で

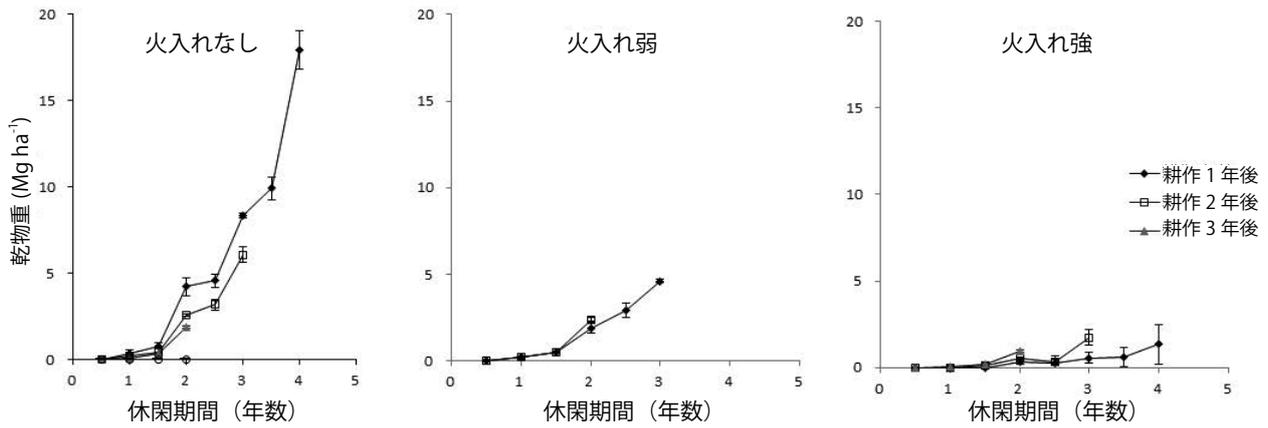


図 4-20 短期休閑中の樹木の回復

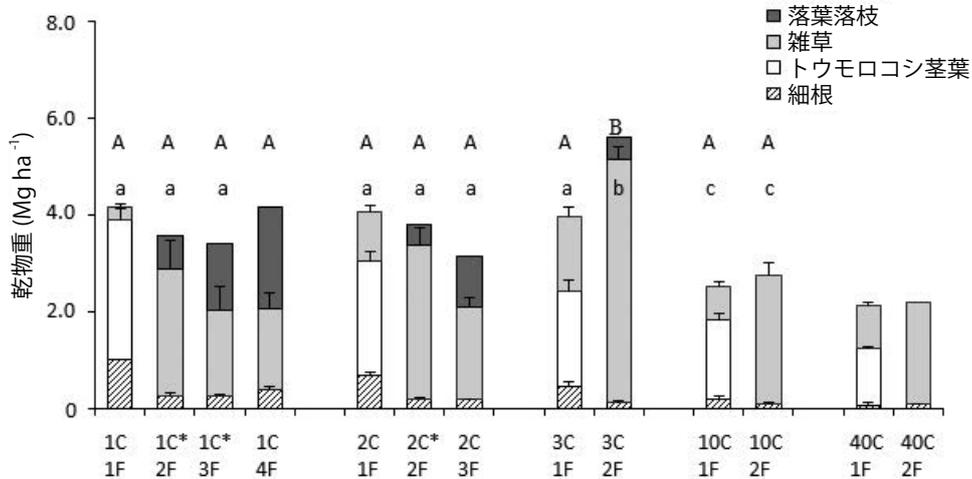


図 4-21 短期休閑中の土壌へ投入される植物遺体の変化

Cが耕作、Fが休閑を示す。1Cは耕作1年後、1Fは休閑1年目

異なる小文字は、休閑年数が同じ場合、直前の耕作年数によって有意に投入量の全量が異なることを示す ($P < 0.05$) 異なる大文字は、直前の耕作年数が同じ場合、休閑年数によって有意に投入量の全量が異なることを示す ($P < 0.05$)。有意差検定には Turkey 法を用いた (試験区名に * がついてる場合は $n = 6$ 、試験区名に * ついてない場合は $n = 3$)

あれば減少しなかった。当地域ではほかの熱帯地域と比べると、耕作による土壌肥沃度（土壌窒素量・炭素量）の減少速度が小さいことが影響している。半年に及ぶ長い乾季があることで、養分の溶脱や土壌有機物の分解が抑制されていたのである。つまり、当地域はほかの熱帯地域より長い期間にわたり耕作可能な場所であるといえる。

また、本章の結果から、著しく土地資源が減耗してしまった場所、本章でいえば高木が燃やされた場所や耕作年数が40年程度の場所では、土地資源を短期休閑で回復することが非常に難

しいとわかった。しかし、土地資源が著しく減少する前に休閑に戻せば、短期休閑によって効率よく土地資源を回復し、土地を持続的に利用できる可能性が示唆された。

これらの結果から、休閑の短期化や薪炭材の採取の増加によって、むしろより長い期間、耕作を続けられるようになるのではないかと筆者は考えている。休閑の短期化・薪炭材の採取の増加によって、高木が減少し、火入れによる増収効果は低下するものの、土地資源の著しい減少は阻止されたからだ。長期的な土地利用を考えると、低木を燃やす機会の増加は、土地資

源の減耗を緩やかにし、持続的に収量を維持できるサイクルをもたらしのかもしれない。

本章の結果はあくまで侵食による養分の損失がないこと、および作物残渣が畑から持ち出されず、土壤に還元されていた場合の事例である。斜面地での農業、また家畜のえさとして作物残渣を利用する場合は、本章の結果以上に耕作によって土壤窒素量が減少する可能性が考えられる。土地資源を持続的に利用できるシステムを提案する際には、気候条件・地理的条件だけではなく、対象地域でどのような農業を営んでいるのか把握したうえで調査・研究をおこなわなければ、持続的なシステムの提案は不可能である。

註

図についているエラーバーはすべて標準誤差を示す（耕作 1, 5, 10 年； $n = 3$ 、耕作 2, 3, 4 年； $n = 6$ 、耕作 40 年； $n = 2$ 、休閒区； $n = 3$ 、ただし休閒 1 C2F、1 C3F、2 C2F は $n = 6$ ）。

- 1 ペタウケ県の中心街に、トウモロコシ子実が農村部から集められ保管されていた。20 m 四方ほどのテントのなかに収められ、そのテントがいくつも立ち並んでいた。筆者の調査中に、であればどのトウモロコシ子実が保管されていたのは 2010 年のみであった。
- 2 樹木の根は土壤深くまで伸びているので、土壤深層へと流れてしまった窒素を吸収できる。その吸収した窒素は葉や枝に蓄えられる。その後、葉や枝が枯れ土壤へ落ちることで、土壤深層にあった窒素が、土壤表層に供給される (Szott *et al.* 1999)。
- 3 なぜ、耕起によって植物遺体が分解しやすくなるのかを簡単に解説しよう。耕起によって植物遺体が土壤に混ぜ込まれることで、植物遺体は土壤と接する面積が増加する。接地面積が増加すると、植物遺体を分解する微生物がより植物遺体にアクセスしやすくなり、その結果、植物遺体は分解されやすくなる (Balesdent *et al.* 1998; Huggins *et al.* 1998)。

- 4 窒素の投入経路は降水以外にもあり、マメ科作物に共生した根粒菌などによる大気中の窒素の固定である。しかし M 村に優先しているマメ科作物は、根粒菌と共生しておらず、窒素固定しないといわれている。
- 5 東部州は平坦地が多くさほど問題にはならないが、斜面地であれば侵食によっても養分ははく奪される。
- 6 同じ処理をした試験区を 3 つ以上設けている。
- 7 コドラートとは、一定の面積内の植物体をすべて採取する方法である。本章では、1 m の棒で 4 辺を囲い、その中にある雑草をすべて採取した。
- 8 草本とは、地上部はふつう一年以内に開花・結実・枯死し、茎は木化せず肥大成長しない。木本とは、地上部が多年にわたって繰り返し開花・結実し、茎は木化し肥大成長する。
- 9 処理区の土壤のサンプリングは、3 地点であったり、5 地点であったり、複数点で採取した土壤をコンポジットし、それを処理区のサンプルとしている。このようなサンプリングをおこなっても、土壤の不均一さゆえに、土壤有機物量の小さな変化を、土壤中の窒素全量で評価することは難しい。火が入らなかった場所と同様、植物が利用しやすい画分や、微生物の影響を受けやすい画分を抽出し測定すると、全量で評価した場合にはみえなかった変化がみえることがある。投入量・損失量をすべて測定して土壤中の養分変化を示すのは、かなり精度の高い測定方法であり、本稿では割愛するが筆者らも使用した方法である（未発表データ）。しかし、この投入量・損失量をすべて測定することはとても時間と労力がかかる。なにを目的にどれほどの精度で土壤をみたいのかはつきりさせたいうえで、測定手段を決定することが、土壤の変化を定量するうえでは肝となる。
- 10 ザンビアで短期の Improved fallow に用いられる主な種は以下の 4 つである。2・3 年で十分に生長し、土壤窒素量も改善され、収量もよくなると報告されている (Sileshi and Mafongoya 2003)。

1. sesbania (*Sesbania sesban* (L.) Merrill)
 2. pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)
 3. tephrosia (*Tephrosia vogelii* Hook f.)
 4. gliricidia (*Gliricidia sepium* Jacq.)
- 11 村人は休閑地から薪を採取するので、休閑地といっても全く持ち出しがないわけではない。
- 12 樹木の基部直径との相関関係を用いてバイオマス量を算出する式のことを相対生長式という。本研究では以下の式を用いた (Ando *et al.* 2014b)
- $$\ln(B) = 2.38 \times \ln(BD) - 1.88$$
- B; 樹木のバイオマス量 (g)、BD; 基部直径 (mm)
- 13 場合によっては、休閑中に土壌肥沃度がむしろ減少する可能性があることが報告されている (Aweto 1981)。土壌中の養分量の変化は、土壌への投入量と土壌からの損失量によって決まるので、樹木が十分に生長していない休閑初期は、投入量が小さく、むしろ土壌中の養分が減少してしまうからだ (Aweto 1981)。

第5章 まとめ・総論

1980年から30年の間にザンビアの人口は2.6倍に膨れ上がり、2014年現在で1500万人を超えている。ザンビアは独立後から、大きな紛争もなく、安定した政治体制を築けたことが影響しているのだろう。さらに先進国の援助を受けながら、医療の充実・経済発展など、ザンビアがいわゆる豊かな生活を過ごせる社会に向け、前進を続けている。しかし現状として、その豊かさは都市部に住む一部の人々のみが享受し、農村部の多くの人々は経済発展の恩恵を受けていない最貧困層で、経済格差が広がっている。

農村部の人々にとって、ミオンボ林という南部アフリカ固有のサバンナ林は生活の基盤となる重要な土地資源である。しかし昨今の人口増加によって、ミオンボ林の劣化が進行し、農業生産を支える土壌肥沃度も劣化している。さらに近年の肥料価格の高騰により、農村部の人々は今まで以上に化学肥料への投資が難しくなり、収穫高を維持することが難しくなっている。この現状に対し、筆者は農村部の農耕が抱えている問題に焦点を当て、収穫高の向上と土地資源劣化の抑止を目指し、挑戦してきた。本稿では、A. 施用する化学肥料の減少による収量の低下、B. 疎開林の減少による土地資源の劣化、の問題に関して研究をおこなってきた。その成果を、それぞれ、A. 収量の向上、B. 土地資源の劣化の抑制として以下にまとめる（表5-1）。

A. トウモロコシ収量の向上

調査村では、トウモロコシの在来品種と改良品種が同程度の面積で栽培されていた。本来、改良品種は化学肥料を施用して栽培することが推奨されているが、調査村では在来品種でも改良品種でも、政府推奨量の化学肥料を施用できている畑はほとんどなく、無施肥の畑も未だ多く存在していた。しかし、むしろ政府推奨量の化学肥料を施用してトウモロコシを栽培すると、降水量の少ない年には化学肥料に投資した

分だけの収量をえることは難しいことがわかった。本稿の結果から、降水量の年次変動が大きい当地域では、経済的な損失を抑えるために、政府推奨量の半分程度の化学肥料を改良品種に施用することを推奨したい。

B. 土地資源の劣化の抑止

ザンビアのミオンボ林は、確実にその面積が減少し（FAO 2014）、単位面積当たりのバイオマス量も減少している（Ando *et al.* 2014a）。しかし、単位面積当たりのバイオマスの減少に関しては、持続的な土地利用をおこなううえで、存外悪いことばかりではない。単位面積当たりのバイオマス量が減少している主な原因は20mを超すような高木の減少である。高木を開墾・火入れの際に燃やすと、揮発しやすい土壌中の炭素・窒素が、低木を燃やした場合に比べ圧倒的に減少することがわかった。たしかに火入れの際に高木を燃やしたほうが低木を燃やす場合よりも収量は高くなるが、長期的な土地利用を考えると、低木を燃やすほうが土壌炭素量・窒素量の減少程度は低く、持続的に収量を維持できるサイクルとなるのかもしれない。このように、昨今の高木の減少は、土壌炭素量・窒素量の著しい減少を防ぐという結果をもたらしていたのである。

耕作を10年以上続けてしまった場合や開墾時に高木を燃やした場合など、著しく土地資源が減耗してしまうと、いざ休閑で土地資源を回復しようとしてもその速度は圧倒的に遅くなる。つまり、休閑によって土地資源が比較的早く回復できるよう、土地資源がひどく減耗する前に休閑に戻すことが、持続的な土地利用となるのではないかと筆者は考えている。残念ながら筆者の研究ではその「閾値」となる耕作年数や土壌養分の減少量の定量には至っていない。今後、筆者の研究を礎にさらなる研究を重ねる必要がある。

ザンビアの焼畑農業をまとめると、村内の

図 5-1 東部州の農業問題に対する成果・対策のまとめ

大目標	A. トウモロコシ収量の向上	B. 土地資源の劣化の抑止
土地利用の特徴	トウモロコシ在来品種と改良品種の作付面積は同じ	ミオンボ林の高木（20 m 以上の樹木）の減少
注目した気候	降水量の年次変動が激しい	半年もの乾季
成果・対策	政府推奨量の半分程度の化学肥料を改良品種に施用（第2章） →降水量が低くても化学肥料に投資した現金をある程度回収可能	1) 火入れ時に高木ではなく低木を燃やすと、土地資源の減耗の緩和（第3章） →従来より長い期間の耕作が可能、短期休閑で土地資源を回復可能 2) 耕作による土壌肥沃度の低下が遅い（第4章） →10年ほど耕作しても収量を維持可能 3) 10年以上の耕作をさける（第4章） →短期休閑での樹木生長を促し、開墾時に火入れをできるようにする

64%がミオンボ林であることから、土壌養分が著しく減少する前に短期休閑にし、その間は別の場所を開墾・耕作する。そして同様に、土壌養分が減少する前に短期休閑にし、次の場所を開墾する（または前の場所に戻る）、というサイクルであれば、土地資源を有効に利用できるのではなかろうか。このような土地管理をおこなえば、必要以上にミオンボ林が減退することは抑制される可能性は高い。

もちろん、人口が増加するにしたがい、ミオンボ林が減少してしまうのは避けられないことである。ミオンボ林の保全と食料の安定的な供給を可能にするためには、ザンビアでも今後はさらに集約的な農業を営む必要があると、筆者は考える。2010年から政府が始めた農業セクターへの助成金によって、改良品種と化学肥料の導入が助長され、農村部の小農家でも単収が増加していたからだ。しかし注意しなければならないのは、ザンビアの経済が銅にのみ依存していることだ。現在、政府が農業セクターに力を入れることができるのは、銅の国際価格の高騰にけん引されるものである。ザンビアは銅の取引価格の暴落によって、農業セクターへ投資できなくなった過去がある。銅にのみ依存した経済から抜け出せない現状を鑑みると、政府が今後も農業セクターへ投資し続けるのか疑わしい。よって、政府の助成がなくなる可能性も考え、できる限り土地資源を劣化させないような農耕をしていくことが重要である。

筆者の研究はあくまで、経済的にも余裕がない農村部の村人でも利用できる土地管理として、自然植生による短期休閑に着目し調査・研究に取り組んできた。また、本稿の結果は、侵食が起こらず、作物残渣が持ち出されない場所を想定した研究である。

筆者の研究ではカバーしきれていないが、今後は、未だ利用されていない牛糞の利用、ラッカセイなどマメ科植物とトウモロコシを輪作するシステムを根付かせることと、保全型農業（Conservation Agriculture）と呼ばれる半乾燥地では貴重な水資源を確保する技術とを組み合わせた農業体系の検討もおこなうことも非常に価値のあることであろう。

アフリカの人口は2100年には現在の4倍程度の40億人に達するという予測が出されているように（UN 2013）、農業生産高をさらに上げることが求められている。アフリカでさらなる農業生産高の確保に向け、今後は各地域の農業の現状を把握し、なにがその地域の農業の問題であるのか、なぜそのような問題が生じているのかを明らかにしたうえで、その解決方法を提案することが重要である。

参考文献

- 荒木茂 2001. 焼畑の土壌生態. 久馬一剛編 熱帯土壌学. 名古屋大学出版会, 名古屋, 300-346.
- 小倉充夫 2009. 南部アフリカ社会の百年 植民地支配・冷戦・市場経済. 東京大学出版会, 東京.
- 伊谷樹一 2002. アフリカ・ミオンボ林帯とその周辺地域の在来農法(特集 作物から見たアジア・アフリカ).
アジア・アフリカ地域研究 2, 88-104.
- 掛谷誠・市川光雄 1983. ザンビアにおける生態人類学研究上の諸問題—予備調査報告—. アフリカ研究 23,
38-49.
- 木村圭司 2005. 気候から見たアフリカ. 水野一晴編 アフリカ自然学. 古今書店, 東京, 2-15.
- 倉光源・竹中祥太郎・Elias Tembo・三浦勲一・柴田昌三・野呂洋子・安藤薫・真常仁志 2012. ザンビア東
部州の疎開林における焼き畑の農業生態学的研究 2. 焼畑における植生遷移. 日本熱帯農業学会第 112
回講演会研究発表要旨 5, 89-90.
- 島田周平 2007. 現代アフリカ農村: 変化を読む地域研究の試み. 古今書店, 東京, 98-113.
- 真常仁志・荒木茂 2011. サブサハラ・アフリカにおける土壌肥料科学研究の最前線 1. 口座の狙い, サブサ
ハラ・アフリカの生態環境条件と農業の現状. 土壌肥料学会誌 82, 330-337.
- 杉原創 2012. サブサハラ・アフリカにおける土壌肥料科学研究の最前線 3. 半乾燥熱帯アフリカの畑作地
において土壌生物バイオマスが土壌—作物間の窒素動態に果たす役割. 土壌肥料学会誌 83, 60-68.
- 林晃史 2010. ザンビア 歴史. アフリカを知る事典. 小田英郎, 川田順造, 伊谷純一郎, 田中二郎, 米山俊直
監修. 新版, 平凡社, 東京, 514-515.
- 宮坂実 2011. 内陸国ザンビアへの農業分野の援助と今後の方向性. ヒマラヤ学会誌 12, 232-242.
- 村尾るみこ 2006. ザンビア西部、カラハリ・ウッドランドにおけるキャッサバ栽培 - 砂土に生きる移住民
の対応から -. アフリカ研究 69, 31-43.
- 八木久義 1988. ザンビアとその自然—地形・地質・土壌・植生および林業—. 熱帯林業 38, 18-25.
- 山縣耕太郎 2005. 地形から見たアフリカ. 水野一晴編 アフリカ自然学. 古今書店, 東京, 2-15.
- Aweto, A.O. 1981. Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria: II. soil fertility
restoration. *Journal of Ecology* 69, 609-614.
- Ando, K., Shinjo, H., Noro, Y., Takenaka, S., Miura R., Sokotela B.S., Funakawa, S. 2014a. Short term effects of fire
intensity on soil organic matter and nutrient release after slash-and-burn in Eastern Province, Zambia. *Soil Sci.
Plant Nutr.* 60, 173-182.
- Ando, K., Shinjo, H., Kuramitsu, K., Miura R., Sokotela S., Funakawa 2014b. Effects of cropping and short-natural
fallow rotation on soil organic carbon in the Eastern Province of Zambia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 196, 34-41.
- Balesdent J., Besnard E, Arrouay, D., Chenu C. 1998. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a
forest-cultivation sequence. *Plant Soil* 201, 49-57.
- Bray R.H., Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59,
39-45.
- Brouwer, R., Falcão, M.P. 2004. Wood consumption in Maputo, Mozambique, *Biomass and Bioenergy* 27, 233-245.
- Buresh, R.J., Tian, G. 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems* 38, 51-76.
- Campbell, B.M., Angelsen, A., Cunningham, A., Katerere, Y., Siteo, A., Wunder, S. 2007. *Miombo woodlands -
opportunities and barriers to sustainable forest management*. Center for International Forestry Research, Bogor,
Indonesia.
- Chidumayo, E.N. 1997. *Miombo Ecology and Management an Introduction*. Intermediate Technology Publications,
London.

- Chirwa, T.S., Mafongoya, P.L., Mbewe, D.N.M., Chishala, B.H. 2004. Changes in soil properties and their effects on maize productivity following *Sesbania sesban* and *Cajanus cajan* improved fallow systems in eastern Zambia. *Biol. Fertil. Soils* 40, 20–27.
- FAO 2014. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/> 2014年12月21日アクセス.
- Davies, D. H. 1971. *Zambia in Maps*. University of London Press Ltd., London.
- Dunn, P.H., DeBano, L.F., Eberlein, G.E. 1979. Effects of burning on Chaparral soils: II. soil microbes and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 509–514.
- Funakawa, S., Hayashi, Y., Tazaki, I., Sawada, K., Kosaki, T. 2006. The main functions of the fallow phase in shifting cultivation by the Karen people in northern Thailand: a quantitative analysis of soil organic matter dynamics. *Tropics* 15, 1–27.
- Giardina, C.P., Sanford, R.L., Døckersmith, I.C., Jaramillo, V.J. 2000a. The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant Soil* 220, 247–260.
- Giardina, C.P., Sanford, R.L., Jr, Døckersmith, I. 2000b. Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash burning of a dry tropical forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 399–405.
- Hatten, J.A., Zabowski, D. 2009. Changes in soil organic matter pools and carbon mineralization as influenced by fire intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 262–273.
- Hauser, S., Nolte, C., Carsky, R.J. 2006. What role can planted fallows play in the humid and sub-humid zone of West and Central Africa? *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 76, 297–318.
- Huggins, D.R., Buyanovsky, G.A., Wagner, G.H., Brown, J.R., Darmody, R.G., Peck, T.R., Lesoing, G.W., Vanotti, M.B., Bundy, L.G. 1998. Soil organic C in the tallgrass prairie-derived region of the corn belt: effects of long-term crop management. *Soil Till. Res.* 47, 219–234.
- IMF 2014 World Economic Outlook Databases. <http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28> 2014年10月10日アクセス.
- Jayne T.S., Burke W., Sipelesa A., Chapoto A., Mason N. 2011. *Zambia's maize policy challenge*. Maize Policy Workshop. Lusaka, Zambia.
- Johnson, B.G., Johnson, D.W., Miller, W.W., Carroll-Moore, E.M., Board, D.I. 2011. The effects of slash pile burning on soil and water macronutrients. *Soil Sci.* 176, 413–425.
- Keeley, J.E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire* 18 (1), 116–126.
- Kendawang, J.J., Tanaka, S., Ishihara, J., Shibata, K., Sabang, J., Ninomiya, I., Ishizuka, S., Sakurai, K. 2004. Effects of shifting cultivation on soil ecosystems in Sarawak, Malaysia. I. Slash and burning at Balai Ringin and Sabal experimental sites and effect on soil organic matter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 677–687.
- Kendawang, J.J., Tanaka, S., Shibata, K., Yoshida, N., Sabang, J., Ninomiya, I., Sakurai, K. 2005. Effects of shifting cultivation on soil ecosystems in Sarawak, Malaysia. III. Results of burning practice and changes in soil organic matter at Niah and Bakam experimental sites. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51, 515–523.
- Kidane, W, Maetz, M, Dardel, P. 2006. *Food security and agricultural development in sub-Saharan Africa*. Subregional Office for Southern and East Africa (HARARE) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Kumar, S.K. 1994. *Adoption of hybrid maize in Zambia: effects on gender roles, food consumption, and nutrition*. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Luoga, E.J., Witkowski, E.T.F., Balkwill, K. 2004. Regeneration by coppicing (resprouting) of miombo (African savanna) trees in relation to land use. *For. Ecol. Manage.* 189, 23–35.
- Martin, R.E., Miller, R.L., Cushwa, C.T. 1975. Germination response of legume seeds subjected to moist and dry heat. *Ecology* 56, 1441–1445.

- Mason, N.M., Myers R.J. 2011. *The effects of the food reserve agency on maize market price in Zambia*. Policy synthesis food security research project Zambia. Ministry of Agriculture & Cooperatives, Agricultural Consultative Forum, Michigan State University – Lusaka, Zambia
- Mertz, O. 2002. The relationship between length of fallow and crop yields in shifting cultivation: a rethinking. *Agrofor. Syst.* 55, 149–159
- Mobbs, D.C., Cannell, M.G. 1995. Optimal tree fallow rotations: Some principles revealed by modeling. *Agrofor. Syst.* 29, 113–132.
- Murty, D., Kirschbaum, M.U.F., Mcmurtrie, R.E., Mcgilvray, H. 2002. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. *Global Change Biol.* 8, 105–123.
- Mwampamba, T.H., Schwartz, M.W. 2011. The effects of cultivation history on forest recovery in fallows in the Eastern Arc Mountain, Tanzania. *For. Ecol. Manage.* 261, 1042–1052.
- Nhantumbo, A.B.J.C., Kätterer, T., Ledin, S., Du Preez, C.C. 2009. Carbon loss from *Brachystegia spiciformis* leaf litter in the sandy soils of southern Mozambique. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 83, 13–26.
- Nye, P.H., Greenland, D.J. 1960. The soil under shifting cultivation. *Tech. Commun.* No.51, CAB, Harpenden.
- Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T., Hunt, H.W. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48, 147–163.
- Pew Research Center 2014. Pew Research Religion & Public Life Project. <http://www.pewforum.org/interactives/global-christianity/#/Zambia,ALL>. 2015 年 1 月 22 日アクセス .
- Phiri, D., Franzel, S. , Mafongoya, P., Jere, I., Katanga, R., Phiri, S. 2004. Who is using the new technology? The association of wealth status and gender with the planting of improved tree fallows in Eastern Province, Zambia. *Agricultural Systems* 79, 131–144.
- Randriamalala, J.R., Hervéb, D., Randriamboavonjya, J.-C., Carrièreb, S.M. 2012. Effects of tillage regime, cropping duration and fallow age on diversity and structure of secondary vegetation in Madagascar. *Agric. Ecosyst. Environ.* 155, 182–193.
- Ryan, C.M., Williams, M., Grace, J. 2011. Above- and belowground carbon stocks in a miombo woodland landscape of Mozambique. *Biotropica* 43, 423–432.
- Sileshi G., Mafongoya P.L. 2003. Effect of rotational fallows on abundance of soil insects and weeds in maize crops in eastern Zambia. *Appl Soil Ecol* 23: 211–222.
- Soil Survey Staff 2006. *Keys to soil taxonomy, 10th edn.* United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, Washington.
- Soil Taxonomy USDA. ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/maps.pdf. 2014 年 12 月 21 日アクセス .
- Strømgaard, P. 1984. The immediate effect of burning and ash fertilization. *Plant Soil* 80, 307–320.
- Strømgaard, P. 1992. Immediate and long-term effects of fire and ash fertilization on a Zambian miombo woodland soil. *Agric. Ecosys. Environ.* 41, 19–37.
- Szott, L.T., Palm, C.A., Buresh R.J. 1999. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. *Agroforestry Systems* 47, 163–196.
- Sugihara, S., Funakawa, S., Kilasara, M., Kosaki, T. 2012. Effects of land management on CO₂ flux and soil C stock in two Tanzanian croplands with contrasting soil texture. *Soil Bio. Biochem.* 46, 1–9.
- Tanaka, S., Ando, T., Funakawa, S., Sukhrun, C., Kaewkhongkha, T., Sakurai, K. 2001. Effect of burning on soil organic matter content and N mineralization under shifting cultivation system of Karen people in northern Thailand. *Soil Sci. Plant Nutr.* 47, 547–558.
- Tanaka, S., Kendawang, J.J., Ishihara, J., Shibata, K., Kou, A., Jee, A., Ninomiya, I., Sakurai, K. 2004. Effects of shifting cultivation on soil ecosystems in Sarawak, Malaysia. II. Changes in soil chemical properties and runoff water at Balai Ringin and Sabal experimental sites. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 689–699.

参考文献

- UN 2013. <http://unstats.un.org/unsd/default.htm> 2015年1月8日アクセス .
- Unesco 2013. *ADULT AND YOUTH LITERACY National, regional and global trends, 1985-2015*.UIS Information paper.
- Walker, S.M., Desanker, P. 2004. The impact of land use on soil carbon in Miombo Woodlands of Malawi. *For. Ecol. Manage.* 203, 345–360.
- Wheat atlas. <http://old.wheatatlas.org/country/environment/maps/ZMB/11004>. 2014年12月21日アクセス .
- World bank 2010. <http://povertydata.worldbank.org/poverty/home/> 2014年10月10日アクセス .
- World bank 2012. <http://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.LE00.IN>. 2015年1月22日アクセス .
- WorldClim. <http://www.worldclim.org/>

謝 辞

本書は、2014年5月に京都大学大学院農学研究科に受理された博士論文「ザンビア半乾燥疎開林の焼畑における土壌有機物動態に関する研究」の一部に加筆・修正を加えたものです。博士論文の執筆時にご指導くださいました舟川晋也先生、真常仁志先生、渡邊哲弘先生にこの場を借りて改めてお礼申し上げます。在籍した7年に渡り議論し、助言くださった土壌学研究室のみなさまにもお礼申し上げます。また、2012年3月に京都大学大学院農学研究科に受理された、倉光源さんの修士論文「ザンビアにおける焼畑の常畑化にともなう雑草植生の変化」のデータの一部を引用しています。倉光源さんの指導教官である三浦励一先生に圃場試験に関するさまざまなご助言をいただきました。改めて感謝申し上げます。

ザンビアでの栽培試験の成功は、多くの皆さんの協力と支えがあってこそのものであります。ザンビア農業研究所の職員で、試験場の設営から実験に至るまで協力してくださったセセレ・ソコテラさん、ムティンタ・マワンボさん、調査助手で誠実に業務をこなしてくれたボンフェス・ムワレさん、マイケル・ルングさん、滞在中に暖かく受け入れてくれたムワレさん、バンダさん、パトリックさん、ありがとうございました。

ザンビアでの栽培試験は、総合地球環境学研究所のプロジェクト「社会・生態システムの脆弱性とレジリアンス」によって助成していただきました。プロジェクトリーダーであった梅津千恵子先生にこの場を借りてお礼申し上げます。また同じく総合地球環境学研究所のプロジェクト「砂漠化をめぐる風と人と土」、京都大学共育研究振興財団の在外研究短期助成によっても助成していただきました。ここに記して感謝申し上げます。

最後になりますが、本稿の執筆に当たり、ご指導とご助言をいただきました監修者の田中樹先生、清水貴夫さん、宮寄英寿さん、遠藤仁さん、手代木功基さんへも、あつくお礼申し上げます。

砂漠化をめぐる風と人と土 フィールドノート 3
ザンビア東部の農耕と土地資源

田中 樹 監修
安藤 薫 著

2015 年 3 月 30 日発行

発行 総合地球環境学研究所 「砂漠化をめぐる風と人と土」プロジェクト
京都市北区上賀茂本山 457 番地 4
kazehitotsuchi@chikyu.ac.jp

印刷・製本 中西印刷株式会社
京都市上京区下立売通小川東入る

◇表紙、裏表紙写真撮影：安藤 薫

◇編集、ロゴマーク作成：遠藤 仁（総合地球環境学研究所 プロジェクト研究員）

総合地球環境学研究所
R-07 資源領域プログラム
「砂漠化をめぐる風と人と土」プロジェクト
2012～2016年度

