

# 国際農林業協力



2015

国際土壌年

## JAICAF

Japan Association for  
International Collaboration of  
Agriculture and Forestry

特集：国際土壌年2015—健全な土壌は健全な食料生産の基盤—

沖縄の「国際土壌年」

エチオピア中央部における土壌劣化（沙漠化）のメカニズム

サハラ砂漠南縁地帯における土地劣化の事例とJIRCASの取り組み

イネの優れた環境適応性

—スーダンにおける陸稲栽培活動から—

林業と土壌保全に注目したJICAの協力事例

Vol. 38 (2015)

No. 1

公益社団法人  
国際農林業協働協会

## 巻頭言

土壌と健康を考える

鈴木 正昭 …………… 1

## 特集：国際土壌年 2015—健全な土壌は健全な食料生産の基盤—

沖縄の「国際土壌年」

久場 峯子 …………… 2

エチオピア中央部における土壌劣化（沙漠化）のメカニズム

鈴木 伸治 …………… 13

サハラ砂漠南縁地帯における土地劣化の事例と JIRCAS の取り組み

南雲不二男 …………… 21

イネの優れた環境適応性

—スーダンにおける陸稲栽培活動から—

後藤明夫・安藤孝政・松田健志・中垣長睦 …………… 29

林業と土壌保全に注目した JICA の協力事例

増古恵都子・後藤有右 …………… 42

## JAICAF ニュース

掲載記事の投稿について…………… 52



## 土壌と健康を考える

公益社団法人国際農林業協働協会技術参与  
鈴木 正 昭

国連が定め FAO が主導する国際土壌年に当たり、本誌は土壌と我々の健康とのかかわりについて特集した。

世界の文明は農耕によって支えられ、また発展したが、農耕の衰退によって減びることは歴史が証明している。陸地での狩猟は牧畜へと替わることで、安定した共同体を維持してきた。また、海洋での狩猟は現在も重要な役割を果たしているが、資源の枯渇が見え始め、漁から養殖へと生産手段を広げている。現在に至っては、海洋の生物資源も陸上の生物資源と無関係でないことが分かり、海洋生物の食物連鎖をたどれば、必ず養分を蓄えた土壌に行きつく。土壌は太古から我々の命を育ててきたが、我々の健康も全て土壌によって支えられていることを忘れてはならない。

長い年月をかけて生成した土壌は生き物であり、地表に薄皮のようにへばりついて脆弱ではあるが、あらゆる命を支えている。それゆえ、土壌は健全に保たなければならない。植物の生育に必要な適度な水分、土壌反応、元素を含み、動物にとっても有害なレベルの物質を含まなければ、土壌は健全な動植物を

育む。植物は形の無い光、ガス、水、土壌養分から形のある物を生み出し、動物がこれを栄養源として摂取し、生育する。そして、動植物の遺体や残渣は土壌に棲む動物や微生物によって分解され、含有される元素は再び土壌や大気中に還る。

土壌養分の循環は、人口密度の希薄な段階では大きな問題とはならなかった。しかし、人口が増加し、移動が容易でなくなったとき、初めて土壌生産力の維持や増強の必要性が認識された。1800年代に入り、リービッヒが植物は無機物を栄養として、太陽の光の下に水と炭酸ガスから生長することを発見して以来、人類は作物の生育に必要な無機養分を補給することで持続的な生産を可能にし、そして更なる増殖を達成して今日に至っている。この膨大な数の生物の命は、これまでは土壌を介して生き延びてきた。植物工場で土壌や太陽を必要としない植物生産も可能な時代に入ったとはいえ、これからも土壌なくしては、人類の存続は不可能である。

我々にとっては、作物が健やかに生育する健全な土壌を作り、保全し、そしてこれと共生することが重要である。かけがえのない生き物としての土壌資源を保ち、優れた環境保全技術とともに未来の人類へ遺産として残すことは、今を生きる人類の責務であろう。

---

SUZUKI Masaaki: A Consideration on Soil and Human Health.



## 沖縄の「国際土壌年」

久 場 峯 子

### はじめに

昨年12月5日の「世界土壌デー」から「国際土壌年」が始まった。それは33年前にFAO<sup>1)</sup>で採択された「世界土壌憲章」を思い出させた。

「世界土壌憲章」の前文は“人類のその生存を維持する天然資源由来の食糧に対する需要は、近年、飛躍的に高まっている<sup>15)</sup>”で始まり、“この世界土壌憲章を、人類の生存を左右する世界の土地資源のよき管理を実現させるためのひとつの手段として、すべての政策決定者と土地利用者に推奨する<sup>15)</sup>”で閉じられている。33年前から生命維持に必要な土壌の重要性が説かれている。

「世界土壌憲章」から30年余人類が、土壌に関わりを持つ者が何も手を打っていなかった訳ではない<sup>9)、10)</sup>。「世界土壌憲章」の採択後、農林水産省は種々の土壌に関する法律を制定し、持続的環境保全型農業を推進してきた。それを受け、各地方自治体でも各種の事業や研究機関における試験が実施されてきた。本稿では、本土復帰後の土壌に関する試験研究の変遷を辿りながら、南の島「沖縄」における「国際土壌年」を述べることにする。

### 1. 沖縄県に分布する土壌の変化

#### 1) 地力保全基本調査結果にみる沖縄県に分布する土壌の問題点

他県が1959年から約20年かけて完了させた地力保全基本調査を、沖縄県は4ヵ年で仕上げる必要があった。それは、沖縄がサンフランシスコ条約後27年目に“遅れてきた青年”ゆえである。

調査結果は1977、1978年に、全県下の耕地土壌880点を土壌断面、化学性および物理性の面から分類され、「地力保全基本調査成績書」と「耕地土壌図」、「要土地改良対策図」、「要土層・土壌改良対策図」（各図縮尺12万5000分の1）、縮尺5万分の1の「水田および畑地土壌生産性分級図」および「地力保全対策図」にまとめられた。36年前の土壌の状態である。

これら成果の中の「水田および畑地土壌生産性分級図」に注目すると、沖縄県の土壌のほとんどがⅢ等級（正当な収量をあげ、また正当な土壌管理を行ううえで、土壌的にみてかなり大きな制限因子があり、あるいはまた土壌劣化の危険性のかなり大きい土地）で劣悪な土壌となっている。その要因内訳を図1に示した。Ⅲ pfneの分級式を含む土壌、すなわち①耕うんが困難で(p)、②自然肥沃度が低く(f)、③養分も蓄積されていない(n)、④侵食を受けやすい(e)、劣悪因子を4拍子も揃えた土壌が約15%も分布しているので

KUBA Mineko : 'International Year of Soils' in Okinawa.

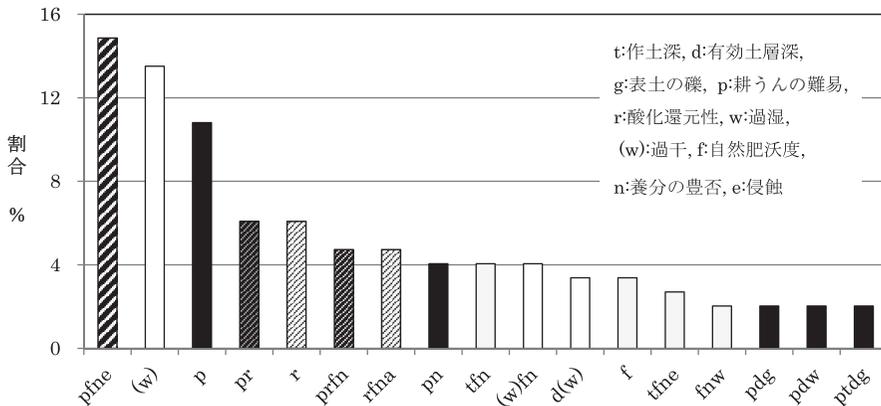


図1 III等級（生産性可能性）土壌の要因内訳

ある。単独要因としては難耕うん性の46.6%が最も多く、次いで低養分41.2%、低自然肥沃度40.5%、排水不良21.6%、干ばつ害20.9%、侵食17.6%と続く。なお、この数値は、土壌統の分級式でIII等級を有するもの（沖縄県全土壌統の約92%）について、7地域（本島北部、本島中部、本島南部、八重山、宮古、2周辺離島）で同じIII等級の要因を持つ土壌統の合計148件に占める割合を求めたものである。よって面積は考慮されていないことを前提にしている。

沖縄県の土壌は劣化以前に劣悪だったのである。これら要因のうち、干ばつ害を受けやすい土壌の生産性は、地下ダムや灌水施設の整備でかなり改善されてきた。灌水排水事業の導入により、野菜や果樹の施設栽培が可能となり、これらの作付面積が大幅に増加した。灌水施設整備の進んでいる宮古島では2007年にニガウリ、トウガン、カボチャの3品目が沖縄県の拠点産地に認定されている。また、石垣島のサトウキビは、灌漑により単位面積当たりの収量が増加しているという報告もある<sup>6)</sup>。

難耕うん性、低自然肥沃度・低養分、排水不良の変化、および侵食性については後述する。

## 2) 定点調査・モニタリング調査にみる沖縄県の土壌の変化

地力保全基本調査とほぼ同時に始まった定点調査（1977～1996年）、それに続くモニタリング調査（1999～2008年）結果から、土壌の変化をみることができる。

表1と図2は、原則同一圃場の理化学性を5年置きに6巡調査測定した結果で、「2層目硬度」以外は作土層の値である。土壌の耕うんの難易を反映する項目である2層目の硬度と仮比重および固相率は、4巡目まではサトウキビを主な作目とする普通畑では若干改善され、作土層も深さを増した。しかし、続く5巡目および6巡目の作土深は20cmと浅くなっている。担当者は、4巡目までの改善は大型機械の導入による深耕の効果だと解析していた。「2層目の硬度」は山中式硬度計の測定値であるが、一般に10～15mmが適値とされており、沖縄県の土壌は依然として硬く耕うんに難がある。

自然肥沃度を腐植、全窒素およびCEC（塩基置換容量）で評価すると、普通畑における腐植が減少した以外に、目立った変化はない。腐植含量は3%以上が望ましいといわれる

表1 地目別土壌理化学性の変化-1

地目	調査 点数	調査 年度	作土深 cm	2層目硬度 mm	仮比重	固相率 %	pH(H <sub>2</sub> O)	腐植* %	全窒素 %	CEC me/100g	交換性CaO mg/100g
普通畑	106	1977-1981	29.9	21.7	1.15	41.7	6.8	2.04	0.12	14.0	416
		1992-1996	<b>32.2</b>	21.2	<b>1.09</b>	<b>39.4</b>	7.0	2.00	<b>0.14</b>	14.7	<b>344</b>
	60	1999-2003	24.0	19.4	1.04	38.0	7.1	1.88	0.13	14.0	438
		2004-2008	20.0	20.0	1.05	38.0	7.1	1.48	0.13	15.0	476
施設	11	1977-1981	24.9	20.5	1.09	39.7	7.5	2.26	0.13	15.9	629
		1992-1996	<b>34.6</b>	21.5	1.10	37.8	7.7	2.40	0.16	16.1	639
	25	1999-2003	23.0	17.3	1.08	39.0	7.4	2.64	0.17	15.2	535
		2004-2008	21.0	18.2	1.10	39.0	7.5	2.05	0.18	17.1	659
樹園地	12	1977-1981	24.3	20.2	1.16	42.3	4.9	3.54	0.17	14.7	125
		1992-1996	21.1	20.3	1.15	45.1	4.9	3.02	0.18	12.2	110
	7	1999-2003	26.0	20.9	1.10	41.0	5.3	2.60	0.15	17.1	201
		2004-2008	17.0	19.5	1.26	47.0	5.7	2.19	0.14	13.1	185

注：\* 腐植は全炭素含量に1.725を乗じて算出した。

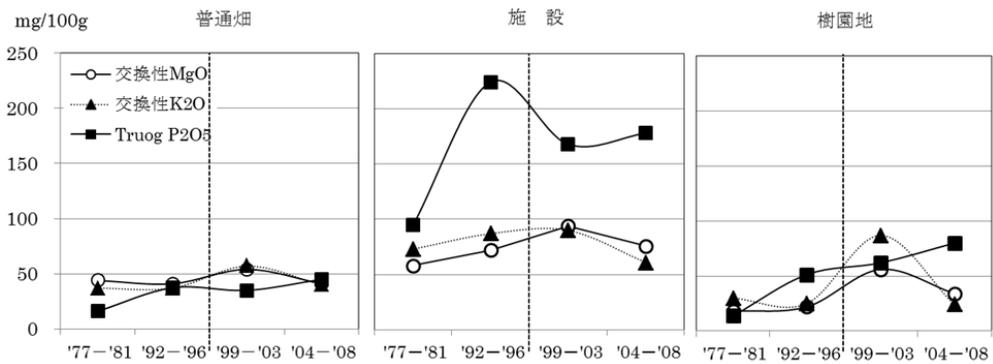


図2 地目別土壌理化学性の変化-2

注：1996年以前と1999年以降は調査地点が必ずしも同一ではない。

なか、元々腐植に乏しい土壌であるばかりか有機物の分解も早い沖縄県では、普通畑での堆肥の増施が必要である。

養分については、リン酸の蓄積が進み、とくに施設は過剰蓄積といえよう。その原因として酸性土壌におけるリン酸固定を意識しすぎた施肥と、堆肥由来のリン酸があることが挙げられる。沖縄県が推奨する10a当たり3tの堆肥施用は、約60kgキロのリン酸とカリを供給することになる。これまでリン酸の過剰害は養分の面からはとくに報告はないが

(近年、セン虫被害を引き起こすということは耳にする)、他の土壌養分との拮抗が懸念される。

表2では、土壌型別の塩基類の変化についてまとめてみた。先述したように酸性土壌の国頭マージでは土壌改良資材の補助もあり、pHが沖縄県土壌診断基準値(案)の適正域に矯正されている。

島尻マージは本来中性付近の土壌反応を示すが(一部大東島に分布するものは強酸性を示すが、この調査に大東島は含まれていな

表2 土壌型別土壌化学性の変化

土壌型	調査 点数	調査 年度	pH(H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	K	Ca/Mg	Mg/K	塩基バランス*		
				----- me/100g -----	-----	-----			Ca : Mg : K		
国頭マージ 赤色土 黄色土	53	1977-1981	5.2	4.1	1.2	0.5	3.5	2.2	8	2	1
	53	1992-1996	5.5	3.4	1.5	0.5	2.3	2.9	7	3	1
	28	1999-2003	6.0	7.0	2.9	0.5	2.5	5.5	13	5	1
	28	2004-2008	5.6	7.8	2.3	0.6	3.3	3.8	13	4	1
	土壌診断基準値(案)			5.5-6.5	5-10	1.5-3	0.2-0.4	2.3-3.5	6-7	5-7	2
島尻マージ 暗赤色土	69	1977-1981	7.1	15.3	1.9	0.9	7.9	2.2	17	2	1
	69	1992-1996	7.4	14.0	1.9	0.9	7.4	2.2	16	2	1
	42	1999-2003	7.5	21.4	3.3	1.3	6.5	2.5	16	2	1
	42	2004-2008	7.6	21.8	2.7	0.9	8.2	2.9	24	3	1
	土壌診断基準値(案)			6.0-7.0	15-20	3-5	0.4-0.8	4-5	6-7	5-7	2
ジャーガル 灰色台地土 褐色台地土	21	1977-1981	8.2	30.0	3.2	0.8	9.3	4.1	38	4	1
	21	1992-1996	7.9	31.2	3.4	0.8	9.1	4.2	38	4	1
	12	1999-2003	8.1	27.5	4.8	1.0	5.8	4.7	27	5	1
	10	2004-2008	8.1	33.8	4.1	1.1	8.3	3.6	30	4	1
	土壌診断基準値(案)			7.0-8.0	25 <	3-6	0.4-0.8	-	7-8	5-7	2

注：\*塩基バランスの基準値は、一般的に提唱されている値。

い)、若干 pH が高くなりつつある。アルカリ化とまではいわないが、微量元素の可溶化に影響を及ぼす可能性が懸念される。pH 上昇の原因として堆肥の多量施用が考えられる。沖縄県産の堆肥は牛糞を主原料とし、水分 47% 程度で pH の高いもの (8.6 ~ 9.2) が多く、かつ農業用水の pH も高いため施設土壌の pH はとくに高くなる傾向にあるものと推察される (表 1)。

カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) は概して増加しているものの、適正域に達している。カリウム (K) は島尻マージとジャーガルでは元々適正域の上限を超えていたものが微増しており、堆肥や肥料の施用量に注意が必要になるであろう。表 2 に「塩基バランス」の値を示したのは、最近土壌診断の場面でよくこの用語が使われるためである。塩基バランスを根拠に施肥設計をすると、ア

ルカリ土壌で Ca が 30me/100g も含まれるジャーガルでは、Mg と K の多量施用が必要になる。3 塩基バランスについてはニュージャージー州 Missouri 農業試験場の Dr. William Albrecht が 1945 年頃から精力的に研究を進め、“balanced soil theory” に昇華させた<sup>13)</sup>。しかし Nat B. Dellavalle<sup>17)</sup> はレビューの中で、多くの研究者による種々の土壌における試験結果は否定的で、現在ではこの理論は土壌診断業者に支持を得ている程度であると結論している。どうして今頃日本で? と不思議に思い、沖縄県農業研究センター研究員知念康太を中心に試験を実施した。塩基バランスが 100 : 6 : 1 のジャーガル未耕地土壌を用い 15 組合せの塩基バランスを作出し、わい性サヤインゲンとオクラの生育収量に及ぼす影響を検討した。結果は、バランス調整に K を多量施用すると EC (電気伝

導度)の上昇で生育が極端に抑制される、しかしMg多量施用は影響がなく、3塩基バランスは考えずMg/Kの適正化を図るべきとなった<sup>16)</sup>。他の土壌型でも検討して欲しいものである。

## 2. 赤土等の流出

### 1) 土壌流出の要因と歴史

沖縄県における赤土流出は、かなり古い時代から発生しており、18世紀前半の“蔡温<sup>1)</sup>”はすでに土砂流出に対し、かなり気を使っていたという<sup>7)</sup>。しかし、この時代の土砂流出は、いわゆる自然侵食的なもので、土壌の風土生成と流出は自然界でバランスを保ってきたものと思われる。本格的な赤土等の流出は、1955年頃から沖縄本島北部や八重山諸島の国頭マージ(赤色・黄色土壌で酸性を呈する)地域においてブルドーザーなどによるパインアップル畑地開墾を行った頃から目立ってきたといわれている<sup>7)</sup>。しかしながら当時は、畑造成規模が小さく沿岸地域を極度に汚染するほどではなかったため、赤土流出問題は大きな社会問題とはならなかった。

ところが、1972年の沖縄本土復帰以降、農業基盤整備における本土との格差を是正するため、大規模な公共事業や民間資本による開発が進められた。結果、改良・開墾対象地が広く分布していた国頭マージ地域では地域海浜を赤く染めるほどの土壌流出を生じ、水産業への被害はもちろんのこと、水質汚濁による生態系被害、「青い海」を売り物の1つにする観光業への被害を招いた。

赤土流出で真っ赤に染まる海を目の前にす

ると、誰でも悲しくなり問題意識を持つに至るものであるが、本県に分布する土壌で最も分散性の高い土壌は沖縄本島南部地域に広く分布するジャーガルと呼ばれている石灰質の灰色台地土<sup>8)</sup>、灰褐色のアルカリ性土壌である。その土壌の海域への流出は国頭マージほど見た目の悲惨さはない。しかし、水質汚濁を引き起こしていることに変わりはない。土壌流出が社会問題化し始めた頃は「赤土流出」と呼んでいたが、今は「赤土等流出」と変わってきた。

ちなみに、当初は「流出」ではなく「流亡」であった。これは問題の視点が「土を削られ、挟られ、失われる側」にあることを暗に示しており、その土が行き着く場所で起こすであろう問題には、それほど関心が払われていなかったものと考えられる。おそらく大陸的思想から生じた言葉を輸入したためであろう。なぜなら河川が少なく、少ない河川もその長さは短く、土がすぐ海に流れ出る沖縄県では「流亡」の認識は低く、「流亡」後に海を赤く染めるほど「流出」した結果に意識が向くゆえ、「流出」へ変更したものと考えられる。

沖縄県における土壌流出の要因として沖縄県文化環境部は環境白書<sup>4)</sup>の中で、①強降雨による高い降雨係数(図3)、②北海道の2倍、宮崎の10倍を示す高い土壌係数、③山地・丘陵地が50%以上を占める急峻な地形と短河川長、④開発事業や営農活動・軍事演習等によって発生するあらたな裸地面を挙げている。

このような状況のなか、沖縄県では1995年に「沖縄県赤土等流出防止条例」を施行し、一定規模以上の開発行為に対して、工事期間中の土砂流出防止対策を義務づけ、赤土等の流出防止対策を強化してきた。その結果、開

<sup>1)</sup>政治・経済・土木技術に優れた指導者として琉球王朝に使えた役人。

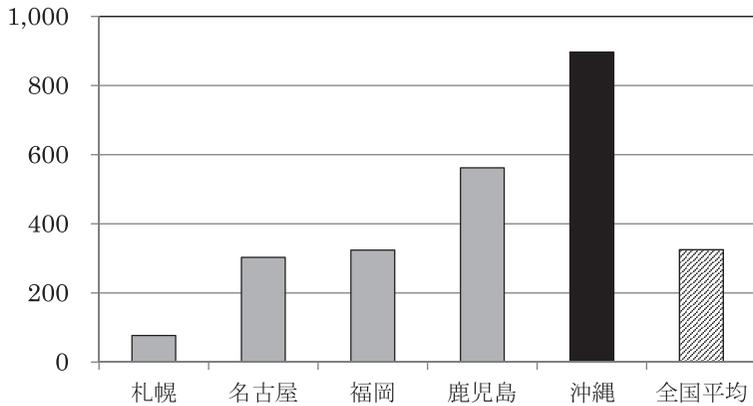


図3 全国各地の降雨係数  
出典：農林水産省<sup>18)</sup>より作成

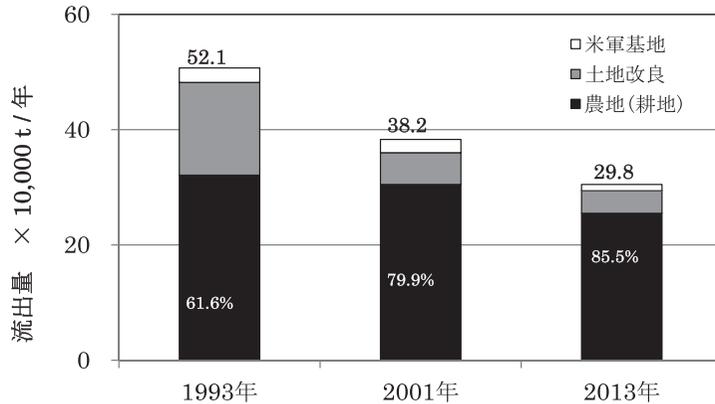


図4 赤土等流出量の推移

出典：比嘉ら<sup>19)</sup>、沖縄県環境保全課<sup>4)、5)</sup>より作成

注：黒数字は全流出土量、白数字%は全流出量に占める農地由来の流出量の割合。

発事業による流出量の大幅減少が沖縄県全体としての流出量削減に貢献し、条例施行前の約52%になった。一方、農地からの流出は微減で、県全体の流出量に占める割合は相対的に増加し、2013年現在85.5%（図4）にも上っている。

## 2) 赤土等の流出削減に向けた営農対策

沖縄県における赤土等流出原因の85%も占めている農業生産活動に対し、種々の対策技術が研究機関で検討され、表3にまとめら

れた。これらを基に、沖縄県営農支援課では種々の啓蒙活動を行っている。主な活動として、流出を未然に防止するため梅雨時期に当たる5月の第3週月曜日から30日間を「土壌保全月間」がある。期間中は全県5地域でカバークロープとしての緑肥播種やグリーンベルト資材の定植実習を含むミニ講和や講習会、あるいは地域ニーズにあったシンポジウム等が開催され、土壌保全の必要性について農家個々の意識の高揚と啓発を図っている。

表3 過去の試験で検討した国頭マージにおける赤土流出対策技術の効果

対策技術	流出抑制率* %	付帯効果	普及上の問題点	備考
勾配3%	24.7	無し		
勾配0%	80.6	無し	●排水不良	
暗渠＋心土破碎	19.4	無し	●暗渠設置間隔10m では低排水性 ●破碎孔の閉鎖	
有材心土破碎	46.2	○排水性向上による生育量増と 降雨後の作業性向上	●有材代	
ビニールマルチ	24.5	○雑草防除、水分保持、保温に よる生育量増	●資材代	パイン畑
マルチ	71.2	○雑草防除、水分保持、保温に よる生育量増	●資材代	
土壌団粒化	42.5	○排水性向上による生育量増と 降雨後の作業性向上	●資材代 ●効果の持続性不明	団粒化剤
葉ガラ梱包設置	29.4	無し	●資材代 ●作付面積減	
グリーンベルト	59～74%	無し	●作付面積減 ●種子代、苗代 ●圃場内への侵入	バレイショ畑下部2m ツルメヒシバ、 センチピートグラス、 フルーツグラス
減耕起（畦間）	73.3	○燃料費削減	●収量性不安定？ ●対応機械の改良	パイン畑 ビニールマルチ栽培
カバークロープ	64.0	○雑草抑制 ○鋤き込みによる物理性改善と 養分補給による増収	●種子代、苗代	クロタラリア、 ピジョンピー、 富貴豆、ひまわり
泡盛蒸留粕散布	51.2	○物理性改善と養分補給による 減肥で肥料コスト削減	●臭い ●散布労力	サトウキビ
緑肥鋤込1日後キビ定植	58.2	○前進化による生育量増	▲発芽率微減？	サトウキビ
総合対策 グリーンベルト カバークロープ 泡盛蒸留粕 定植前進化	75.0	○雑草抑制 ○鋤き込みによる物理性改善と 養分補給による増収 ○物理性改善と養分補給による 減肥で肥料コスト削減 ○前進化による生育量増	●収益性評価の 精緻化	ヴェチバー

\*各対策技術における無処理に対する相対的な流出抑制割合であり、対策技術間の効果の優劣は参考程度である。

\*「生育量増」・「増収」はサトウキビとパイナップルが対象作物である。

出典：沖縄県農業研究センター土壌環境班<sup>3)</sup>

表3の上段4つの対策技術は、土木分野で事業化が進み、とくに5%の勾配で圃場整備施工がなされた圃場については、3%への勾配修正が精力的に進められている。しかし、営農レベルでの対策技術は、農家側には

目に見える現実的なメリットが少ないばかりか、逆に資金・労力・時間等のインプットが増えるため普及がなかなか進まないのが現状である。このような状況を打破するために、沖縄県赤土等流出防止対策基本計画<sup>5)</sup>が策

定された。それは農地からの流出削減に特化しており、2027年までに現在の流出量の約30%削減を目指している。営農支援課はその目標達成に向け「沖縄の自然環境保全に配慮した農業活性化支援事業」を立ち上げ、赤土等流出防止対策について自立的で持続的な取組を推進するため、農業環境コーディネーター育成や支援組織の構築、対策に伴う資金や労働力を確保する手法の確立に着手した。その事業の中で、農地の状況や農家の実情に応じて最適な営農対策（複合対策も含めて）を選択できる「赤土対策進捗管理システム」の開発が県村づくり計画課で進められている。

### 3. 環境保全型農業の推進

農業構造改善事業に基づく選択拡大の農業政策は、化学肥料の偏用に伴って発生した土壌の酸性化や、苦土・微量元素の欠乏などの弊害を顕在化させた。加えて、2度のオイルショックは、生物性廃棄物の利活用や有機質肥料の再評価、土づくり運動、地力問題の論議を活発化させる契機となった。その結果、これまで農地土壌の化学的性質の改善（貧栄養からの脱却を目的としたインプット型）を重視した「耕土培養法」の改正を視野に、土壌の物理性・生物性をも含めた土壌の性質全般を改善し、農業生産力の増進と農業経営の安定化を図ることを目的に1984年「地力増進法」が制定された。さらに農林水産省は、1992年の「新政策」に農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業と位置付けられる環境保全型農業の推進を明記した。

そういったなか、沖縄県農業研究センター

では1986年からジャーガルにおける堆肥の長期連用試験が開始された。最初の10年はサトウキビ、続く13年はスイートコーン、2011年からキャベツを栽培し現在に至っている。途中2005年度の移転の際には試験圃場の作土を移転先まで運び、堆肥長期連用圃場の保存を可能にした。比嘉ら<sup>20)</sup>はサトウキビ NCo310の収量は化学肥料単用に比べて、堆肥3t/10aの連用で9作平均9～12%増収する(図5)が、その効果は堆肥連用4年目以降みられるようになるという結果を得ている。続くスイートコーンは、5作の平均収量に有意な差はなかったが、化学肥料単用に比べて堆肥区は化学肥料窒素を3割減肥しても、7%増収した<sup>21)</sup>。26年連用目に始まったキャベツについては1作のみの結果だが、堆肥施用の有無による収量に差はなかった<sup>2)</sup>。地力の指標となる土壌中の腐植含量および全窒素含量は、化学肥料単用では増加せず、25年以上の堆肥連用により腐植が2倍以上になった(図6)。しかし、絶対量としての腐植含有率は3%以下で、依然低い状態である。沖縄県においては腐植の増加には10a当たり4tの堆肥施用が必要とされている<sup>20)</sup>。図6では試験開始時と10年後の値を結んだため初期の増加パターンが不明であるが、4年のラグ期(腐植増加停滞期)があった。宮丸<sup>21)</sup>はジャーガルにおける有機物施用は、有機炭素や全窒素の増加より微生物バイオマスの増加に非常に有効であり、その結果、可給態窒素が増加すると推察している。ジャーガルは重粘土壌で耕うんと排水に問題があるため、堆肥長期連用による物理性の改善に期待したが、3t/10a程度では堆肥無施用との間に差はなく1回の施用量を増やす試みも始まっている。

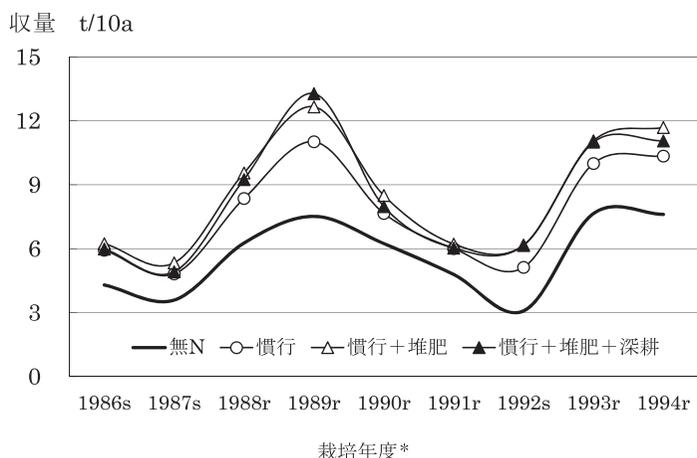


図5 堆肥連用（3t/10a/作）が収量に及ぼす効果  
 出典：比嘉ら<sup>20)</sup>より作成  
 注：\*添字は作型を表し、sは春植え、rは株出し。

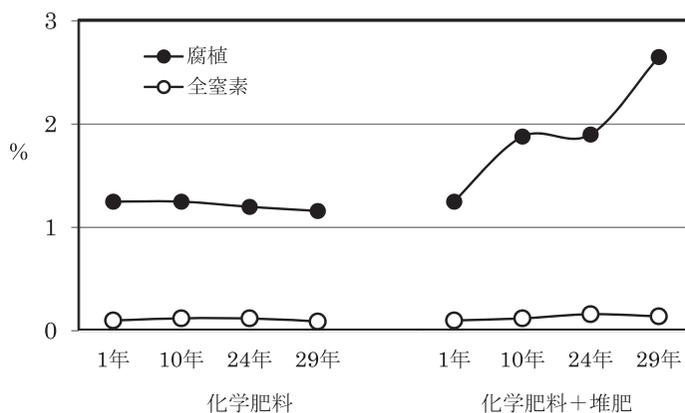


図6 土壌中の腐植と全窒素含量の経年変化  
 出典：比嘉ら<sup>20)</sup>、宮丸<sup>21)</sup>、沖縄県農業研究センター土壌環境班<sup>2)</sup>より作成

一方、炭素や窒素と異なりリン酸は初年度から蓄積の傾向にあり、試験開始時20mg/100gだったが、今では化学肥料単用が77mg/100gであるのに対し、堆肥併用区では100mg/100gまで増加している<sup>2)</sup>、<sup>20)</sup>、<sup>21)</sup>。

沖縄県における堆肥等の有機物連用試験は現在ジャーガルのみで実施されているが、他の2土壌型についても早い圃場整備が待たれるところである。とくに炭素・窒素に乏しい

国頭マージへの施用は赤土等流出リスク回避の手段としても有効と考えられる。国頭マージにおける堆肥施用効果に関する試験成績がほとんどないため、試験例として、沖縄県委託事業で筆者らが行った春植え一作の結果概要を紹介する。

処理区として、①農家慣行区（無散布）、②牛糞ペレット堆肥施用区、③通常牛糞堆肥施用区、④リン酸・カリ無施用ペレット堆肥

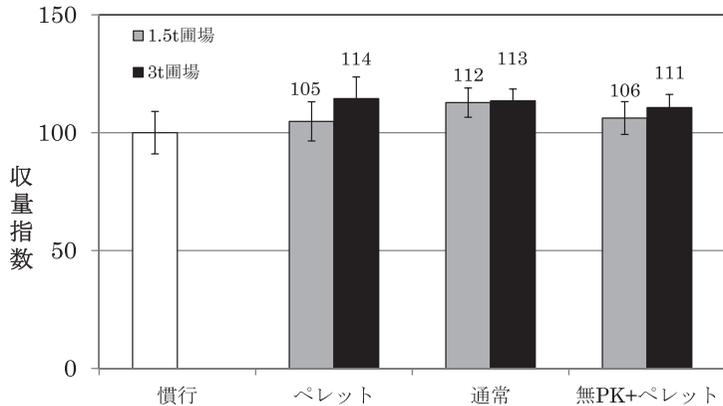


図7 堆肥施肥量の違いがサトウキビの収量に及ぼす影響  
出典：球陽製糖株式会社<sup>11)</sup>より

区を設けた。④区は当初委託業務内容にはなかったが、養分的には堆肥由来のリン酸、カリで十分なので、堆肥代プラス散布作業にかかるコストを抑えるためのコスト削減策として追加した。施用位置はジャーガルの長期連用試験のような全面全層ではなく、少ない量での根域環境改善を狙って、条施とした。図7に国頭マージのサトウキビ春作の収量を、8圃場の各処理の平均値の慣行栽培（堆肥無施用）に対する指数で示している。有意ではないが、総じて堆肥施用により増収する傾向にあった。堆肥を施用すればリン酸およびカリを施用せずとも、農家慣行と同等以上の収量を得られる可能性がある。土壤理化学的分析は実施終了し、2015年2月下旬から株出試験へ移行して再度検証している。

### おわりに

かけがえのない地球の、かけがえのない土壤を守るというポリシーを基に、世界ではGlobal Soil Partnership (GSP：世界土壤パートナーシップ)が設立され、ITPS (Intergovernmental Technical Panel on Soils：土壤に関する政府間

技術パネル)が設置されたことは知っていた。しかし、具体的な活動については知らず、今回本稿を執筆するに当たって資料を探していくなかで解った次第である。

「土壤劣化」が叫ばれるが本当に起こっているのか、どのデータを基に誰が知っているのかという疑問からGLASOD (Global Land Assessment of Soil Degradation)の存在を知り、最初土壤の劣化評価の世界地図を検索していたのだが、その世界土壤劣化図は南緯57°～北緯72°に及ぶ130億1300万haの地球表面の21の地域から、莫大な量のデータが集められ250人以上の土壤専門家の解析によって、1年間という短い期間で作成されたものだったのである。おそらく30年前に地力保全基本調査で生産性可能性分級図を作成するときに経験したような、基本的には専門家の人海戦術による手作業でなされたものと思われる。現在では、この劣化評価地図はNDVI (Remotely-sensed normalized difference vegetation index)を用いた洗練された土壤劣化評価法<sup>14)</sup>により刻々更新されている。

目を凝らしてその地図を見ていると、きっと昨夜の豪雨で赤く濁った海に浮いている沖縄の島々が見えるかもしれない。TPPの行方も気になる。政策決定者はもちろん賢くあらねばならないが、いい政策には手弁当でも付き合う、賢い選択ができる人間に少しでも近づけるよう努力する「国際土壌年」にしたい。

#### 参考文献・資料

- 1) FAO 1982, World Soil Charter.
- 2) 沖縄県農業研究センター土壌環境班 2013, 平成 24 年度試験成績概要書.
- 3) 沖縄県農業研究センター土壌環境班 2015, 赤土等の流出防止対策効果と課題.
- 4) 沖縄県文化環境部環境保全課 2014, 沖縄県環境白書.
- 5) 沖縄県文化環境部環境保全課 2013, 沖縄県赤土等流出防止対策基本計画.
- 6) 沖縄県八重山農林水産振興センター 2014, 広報.
- 7) 翁長謙良・米須竜子・新垣あかね 1999, 沖縄における赤土等流出の経緯と対策, 琉球大学農学部学術報告, 46: 71-82.
- 8) 大見謝辰男・比嘉榮三郎・花城可英・満本裕彰 1995 クチャ(島尻層群泥岩)の流出についての調査研究, 沖縄県衛生環境研究所報, 29: 131-134.
- 9) 木内知美 1986, 世界土壌憲章と土壌退化防止のガイドラインー世界の土壌対策の流れー, ペドロジスト, 30 (1): 68-75.
- 10) 木村真人・三枝正彦, 日本土壌肥料学会の歩み, 日本土壌肥料学会ホームページ.
- 11) 球陽製糖株式会社 2015, 環境にやさしい土づくり推進事業平成 26 年度成果報告.
- 12) 久場峯子 2012, H 23/24 年期サトウキビ減産と今後の対策ー土壌肥料的立場からの問

題提起ー, 第 39 回サトウキビ試験成績発表会シンポジウム講演集.

- 13) George Rehm 1994, Soil Cation Ratios for Crop Production, North Central Regional Extension Publication, 533.
  - 14) Z. G. Bai, D. L. Dent, L. Olsson and M. E. Schaepman 2008, Global Assessment of Land Degradation and Improvement 1. Identification by remote sensing, Report 2008/01, ISRIC - World Soil Information, Wageningen.
  - 15) Soil Survey Inventory Forum, [http://soil-survey-inventory-forum.net/?page\\_id=48](http://soil-survey-inventory-forum.net/?page_id=48) (アクセス日: 2015 年 4 月 4 日)
  - 16) 知念康太・久場峯子・比嘉基晶 2012, 灰色台地上石灰質(ジャーガル)における土壌診断時の塩基バランスの検討, 日本土壌肥料学会鳥取大会講演要旨集).
  - 17) Nat B. Dellavalle 2013, Nutrient Ratios, Sufficiency Levels, or Both?, adjusted BCSRs, Nutrient Management Newsletter for the Western U.S., 5(2):1-2.
  - 18) 農林水産省 1992, 土地改良事業計画指針農地開発.
  - 19) 比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰 1995, 沖縄県における年間土砂流出量について, 沖縄県衛生環境研究所報, 29:85-88.
  - 20) 比嘉明美・儀間靖・亀谷茂・國吉清・桃原弘 2011, 有機物の長期連用がサトウキビと土壌の理化学性に与える影響, 沖縄農研セ研報, 5: 11-15.
  - 21) 宮丸直子 2013, 沖縄県の低生産性土壌改良における土壌微生物性の評価, 沖縄農研セ研報, 7: 1-44.
- (前沖縄県農業研究センター土壌環境班長)



## エチオピア中央部における 土壌劣化（沙漠化）のメカニズム

鈴木 伸 治

### はじめに

エチオピア（正式名称：エチオピア連邦民主共和国）は、アフリカ大陸の東部、「アフリカの角」

地帯に位置し、周囲をエリトリア、ジブチ、ソマリア、ケニア、スーダンに囲まれた内陸国である（図1）。国土の大部分を、平均標高約1700 mのエチオピア高原が占めている（首都アジスアベバの標高は2400 m）。エチオピアは、面積が110万km<sup>2</sup>（アフリカ第10位）、人口が9400万人（アフリカ第2位）の大国である<sup>1)</sup>。近年、ほぼ一定の割合（年間200万人）で人口が増加している（図2）。また農地が国土面積の約33%を占め、労働人口の約80%が農業に従事しており、農業生産がGNI（国民総所得）の45%を占める農業国である。一方で、数百年前まで国土の40~65%を覆っていた森林は、過去60年間に、薪炭材としての利用や農地拡大に起因する著しい減少によって、現在ではわずか2.2%と報告されており（図3）<sup>2~4)</sup>、沙漠化の引金になっている<sup>1)</sup>。本報告では、エチ

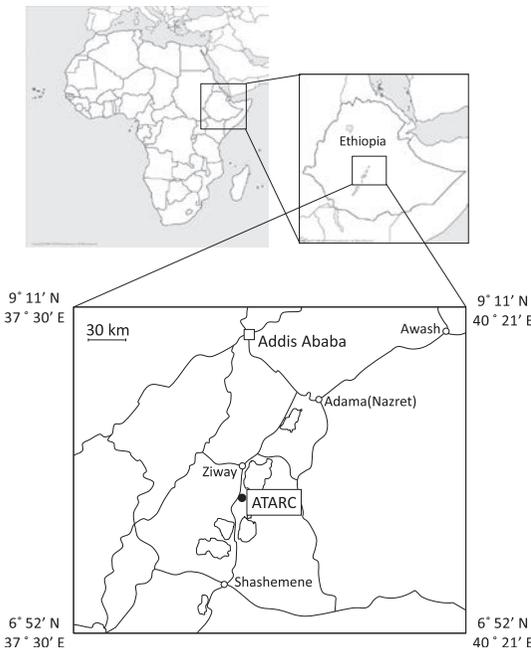


図1 エチオピア中央部調査対象地の位置

出典：http://www.sekaichizu.jp/index.html を基に作成

SUZUKI Shinji: Mechanism of Soil Degradation (Desertification) in Central Ethiopia.

<sup>1)</sup>World Development Indicators<sup>1)</sup>によると、エチオピアでの国土面積に占める森林の割合は、1990年と2012年のそれぞれで15%と12%となっているが、森林面積の減少が深刻であることは否定できない。

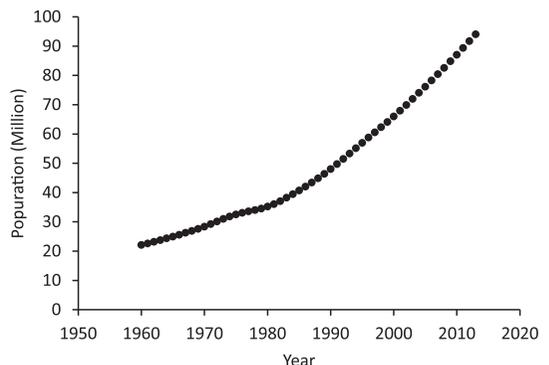


図2 エチオピアの人口推移<sup>1)</sup>

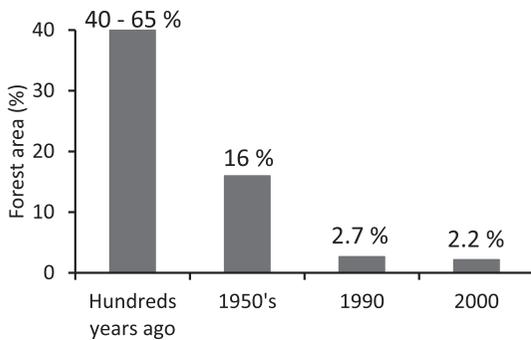


図3 エチオピアにおける森林被覆面積の変化<sup>2)~4)</sup>

オピアの中央部（オロミア州東ショワゾーンおよびアルシゾーン）に焦点を当て、オロミア州アダミツール農業研究センター（Adami-Tulu Agricultural Research Center；ATARC、北緯7°51'、東経38°42'、標高1650 m）（表1）の畑圃場で観測を行った結果をもとに、気象と土壌の特徴から、土壌劣化（沙漠化）のメカニズムについて述べる。

## 1. エチオピア中央部の地理・気候・土壌

### 1) 地理・気候

エチオピアの中央部は、国土を北東から南西にまたがる大地溝帯の中にある。アフリカ大陸を二分する地殻運動と、その要因といわれているマントルブルームのため、大地溝帯周辺では急峻な断層崖や火山が多くみられ、標高は1600 mの中高地から4000 mを超える山岳地域にまで及ぶ<sup>5)</sup>。

年間降雨量は600～800 mm程度であるが、その50%が5～9月までの雨季に集中する（図4）。雨季はもともと、3～5月の小雨季（Belg）と、6～9月以降の大雨季

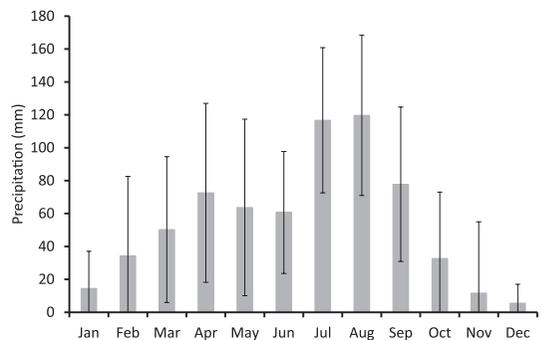


図4 アダミツール農業研究センター（ATARC）における1958年から2005年の月平均降雨量<sup>6)</sup>

注：垂直バーは平均値に対する±1標準偏差を表す。

（Kiremt）に分けられる場合があるが、近年では3～5月に雨らしい雨を感じるようになっていない。10月から翌年4月までが乾季となる。年間降雨量の変動係数が24%以上と、頻度、量ともに変動が大きい。6～9月（雨季）には植生活動が旺盛になるが、それ以外の乾季には姿を消す。このように、季節による植生の鮮やかなコントラストが特徴的である。テフ<sup>2)</sup>やトウモロコシなどの雑穀を主体とする農業は、天水に依存しているために降雨の年変動に左右されやすく、しばしば深刻な干害に見舞われる。

この地域は北回帰線以南の熱帯に位置するため、日射量が非常に多い。年間を通し、日射量がおおむね20 MJ m<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>を示し<sup>3)</sup>、とくに乾季に高く、24 MJ m<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>を超える（表1）。わが国において、日射量が月平均で20 MJ m<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>を超えることはまれであることを考えると、エチオピアの日射量はかなり高い。雨季に日射量が下がるが、これは雲によって日射が遮られるからである（表1）。日射が強い一方で、この地域は、標高が高いため気温が極端に高くはならない。表1に示すように、乾季の気温は30℃を超えるが、雨

<sup>2)</sup> エチオピアで古くから食用に栽培されているイネ科の穀物（*Eragrostis tef*）。

<sup>3)</sup> 1 MJ m<sup>2</sup> day<sup>-1</sup> = 10<sup>6</sup> J m<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>

表1 ATARC における気象観測記録 (2009年)<sup>7)</sup>

Month	Temperature ℃		Solar Radiation MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>	Relative humidity %	Number of days with wind speed > 7 m/s being observed days	Atmospheric pressure kPa
	Min	Max				
Jan	9.5	29.0	21.3	61.4	17	84.2
Feb	9.7	31.4	24.4	51.6	19	84.1
Mar	12.6	32.2	25.3	46.3	24	84.1
Apr	15.1	30.7	23.7	57.2	19	84.2
May	14.9	31.0	23.7	54.5	25	84.2
Jun	15.3	30.8	22.3	60.2	23	84.2
Jul	15.0	26.0	19.9	73.3	17	84.4
Aug	14.6	26.4	19.7	76.8	11	84.3
Sep	14.4	29.2	21.9	69.8	8	84.3
Oct	12.0	27.9	22.8	64.8	12	84.3
Nov	9.8	28.9	22.8	49.8	13	84.3
Dec	13.2	27.8	19.1	65.4	11	84.3

季の日最高気温は26℃程度まで下がる。さらに雨季の日最低気温は15℃程度であるが、乾季の日最低気温は10℃を下回る。このように、日平均気温は年間を通じて17～25℃で推移するものの、乾季に日較差が大きくなるという特徴を持つ。日射量と気温の増減に伴い、乾季の日平均相対湿度は50%を下回り、雨季には80%近くまで上昇する(表1)。雨季に比べ、乾季に風が強く吹く日が多くなる。これは強い日射によって地表面が急激に暖められ、上昇気流が盛んに発生するためである。そのため乾季には、この地域においてしばしば大規模な塵旋風(つむじ風)が発生する。さらに、標高が高いために気圧が低く、年間を通じて84 kPaと一定である(表1)<sup>4)</sup>。

## 2) 土壌の理化学性

調査地(ATARC)の土壌は、深さ0.50 m

まで、粒径組成、乾燥密度ともに深さごとの大きな差異がなく、均一な土層であった(表2)。周辺には、火山噴出物である降下軽石(粗粒火山灰)が堆積している(写真1)。調査地でも、深さ0.50 m以深に直径40 mm程度の軽石が堆積する層が認められたことから、この地域が大地溝帯に位置することを考慮すると、表層土壌は火山灰を母材としていると判断される<sup>8), 9)</sup>。なお火山灰土は、むしろわが国で馴染みの深い土壌であるが、エチオピアでの分布は国土の1%、大地溝帯周辺の7%と報告されている<sup>8), 10)</sup>。

火山灰土である特徴を反映し、土性が砂壤土～砂質埴壤土であるにもかかわらず、乾燥密度が1.00 Mg m<sup>-3</sup>以下<sup>5)</sup>と比較的小さく、間隙量が多い(表2)。飽和透水係数は10<sup>-3</sup> cm s<sup>-1</sup>と大きな値を示した(表2)。これは、間隙量が多いことに起因している。表層の電気伝導度が0.22 dS m<sup>-1</sup>と高くはなかったが、アルカリ性を示した(表2)。これは、降雨量

<sup>4)</sup> 1気圧(標準大気圧) = 1013.25 hPa = 101.325 kPa

<sup>5)</sup> 1 Mg m<sup>-3</sup> = 1 g cm<sup>-3</sup>

表2 ATARC における土壌の理化学性<sup>7)</sup>

Depth m	Bulk density Mg m <sup>-3</sup>	Porosity m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Particle size distribution* g kg <sup>-1</sup>			Saturated hydraulic conductivity cm s <sup>-1</sup>	Electrical conductivity** dS m <sup>-1</sup>	pH**
			Sand	Silt	Clay			
0.05	0.94	0.63	730	110	160	2.8 × 10 <sup>-3</sup>	0.22	8.2
0.15	0.98	0.62	800	100	100	1.5 × 10 <sup>-3</sup>	—	—
0.25	1.00	0.62	760	160	80	2.9 × 10 <sup>-3</sup>	—	—
0.35	0.98	0.63	780	150	70	2.1 × 10 <sup>-3</sup>	—	—
0.45	0.97	0.63	770	110	120	1.1 × 10 <sup>-3</sup>	—	—

\*ISSS classification. \*\*measured on soil : distilled water ratio of 1 : 5.

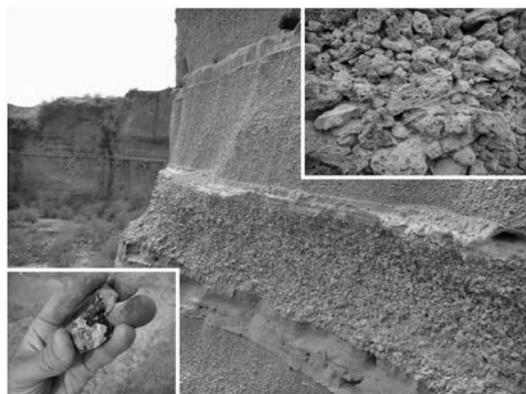


写真1 降下軽石の堆積層が観察できる ATARC の北に位置する露頭

に対して乾燥が強いため溶脱が抑制され、蒸発に伴って塩基が土壌に集積してしまうためである。

## 2. 土壌荒廃（沙漠化）のメカニズム

植生の乏しくなる乾季には、農地土壌の表面が大気に晒されて強い日射を受け、乾燥した風が蒸発を加速させる（表2）。森林を伐

採して耕作を続けた場合、適切な土壌管理をしない限り、土壌中では有機物の分解が促進され、その含有量が減少する<sup>11)、12)</sup>。有機物含有量が少なく、極端に乾燥した土壌は、たとえ飽和透水係数が大きくとも、雨水に対する浸透性が低下する<sup>7)、12)</sup>。乾季の間、表層の土壌は永久しおれ点<sup>6</sup>を下回るほど乾燥しており<sup>7)</sup>、雨季の到来によって強度の大きい雨が降った時、容易に表面流出が発生し、土壌を洗い流してしまう（写真2）。その結果、土壌侵食などを含む土壌荒廃についての問題が顕著になった<sup>12~16)</sup>。写真3は、現地のガリ侵食を示したものである。また写真4に示すように、農地土壌が面的に削られた結果、岩が露出するほど侵食が深刻な場合も少なくない。前述した乾季を特徴づける大規模な塵旋風は、森林面積の減少によって風を遮る樹木がないために発生する。その結果、乾燥して飛散しやすくなった地表面の土壌が舞い上がり、いわゆる風食が起こる。土壌有機物の減少によって、土壌の保水性や土粒子同士の結合も弱めるため、風食を助長する。

このように、水食にせよ風食にせよ、地表面の土壌が削られていくために土地の生産性が低下し、植生（森林）の再生がますます困

<sup>6</sup>植物が萎れて水を与えても枯死してしまう水分量。マトリックポテンシャルが-1.5 MPa (pF4.2) の水分量に相当する。



写真2 降雨によって発生した泥水の表面流出



写真4 農地の表面に露出した岩



写真3 深刻なガリ侵食

難になるという悪循環をもたらしている（図5）。エチオピア中央部における農業生産の不安定性は、自然資源の深刻な減少によって拍車がかかっている。

さらに、1年を通して気圧が低いことも、乾燥を促進する要因の1つとなっていると考えられる<sup>17)</sup>。表1でも触れたように、エチオピア中央部はその標高の高さのため、大気圧が年間を通し、83.9～84.5 kPa とほぼ一定であり、気温や降雨など、他の要素にほとんど依存していない（図6）。筆者らが現地で測定した土壌面蒸発量は、降雨直後は4.0 mm d<sup>-1</sup>

であったが、その後、直ちに2.5 mm d<sup>-1</sup>に減少した（図7）。これは、降雨直後に土壌に十分な水分量があるときは蒸発量が多いが、土壌水分量の減少によって、蒸発が速やかに制限されることを示している。2009年12月9日から2010年1月7日までの30日間において、土壌面蒸発量は平均して2.4 mm d<sup>-1</sup>であった。土壌面蒸発量を算出する際、仮に標準大気圧（101.3 kPa）を用いると、土壌面蒸発量が常に過小評価されることとなり、相違の程度は平均して4.5%であった（図7）。これは、日射量や気温、相対湿度、風などの気象条件が同じでも、標高が低い場所に比べ、標高が高い場所では蒸発が盛んに起こりやすいことを示唆している。4.5%という値はわずかであるように見受けられるが、水資源は蓄積された量であることを考えると、月単位や年単位で考えた場合の蒸発量の総量としては無視できない大きさになるものと考えられる。

## おわりに

降雨の変動が大きく、日射が強い地域は乾燥のポテンシャルが高い。また本報告で示したエチオピア中央部のように、標高が高いこ

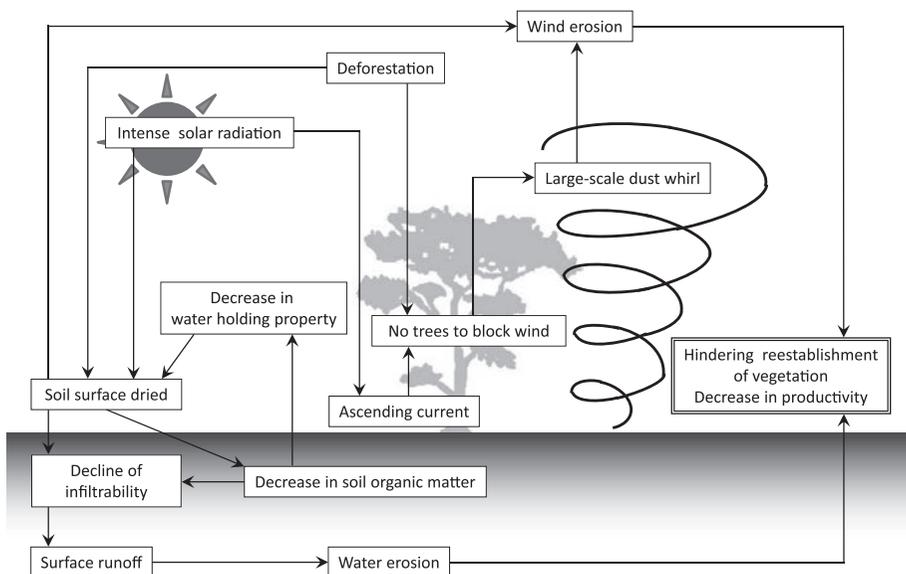


図5 エチオピア中央部における土壌劣化（沙漠化）のメカニズム<sup>7)</sup>

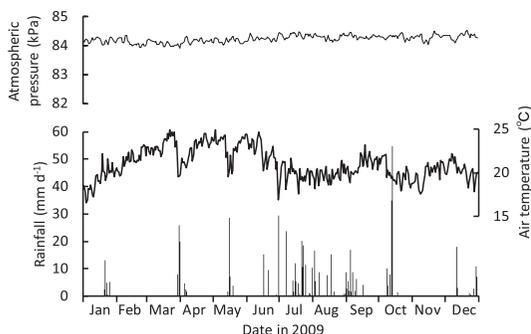


図6 エチオピア中央部における大気圧、気温、降雨量の変化<sup>17)</sup>

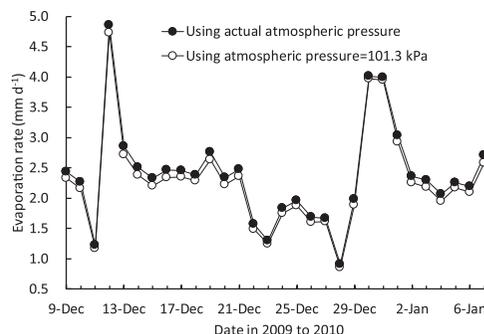


図7 エチオピア中央部における標準大気圧を用いて算出した蒸発速度（白抜き）と現地の大気圧を用いて算出した蒸発速度（塗りつぶし）の変化<sup>17)</sup>

とも乾燥を加速させていることが示唆された。このことは、類似した環境、たとえば標高が高く、日射が強いところで森林が伐採されたならば、他の地域に比べて土壌荒廃や沙漠化が進行しやすいことを示唆している。

このような地域の生態系は、きわめて脆い物質循環のバランスの上に成り立っているが故に、非常に長い時間をかけて形成されてきたものであることが推察される。そのため、

ひとたびそのバランスが崩れて森林や土壌が荒廃すると、図5に象徴されるように、自発的に再生することは不可能であり、人為的に修復をする場合も、辛抱強い修復活動が必要であることを認識しなければならない。人口増加が今後も続くと考えられる現状において（図2）、収奪的な農業による荒廃の進行を食い止め、森林が土壌保全や流域保全に果たす

役割を見直すことが重要である。

本報告は、独立行政法人国際協力機構 (JICA) 「途上国における有用技術及び大学との連携可能性検討調査 (研究代表者: 東京農業大学高橋悟)」によって得られた成果をまとめたものである。関係諸氏に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) World Development Indicators,  
<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators/>  
(アクセス日: 2015年4月1日)
- 2) Ethiopian Forestry Action Plan (EFAP) 1994, Final report, vols I-III, Ministry of Natural Resources Development and Environmental Protection, Addis Ababa, Ethiopia.
- 3) Hawando T. 1997, Desertification in Ethiopian Highlands, Rala report, 200: 75-86.
- 4) Berry, L. 2003, Land Degradation in Ethiopia: Its Extent and Impact, Food and Agriculture Organization, United Nations, Rome.
- 5) Gozalbez J. and D. Cebrian 2004, Touching ETHIOPIA, Shama Books, pp. 48-59.
- 6) 鈴木伸治 2010, エチオピア中央部の気象および土壌の特性と問題点 (中村好男・豊田裕道編, 食と農と資源, 共立出版) pp. 118-128.
- 7) 鈴木伸治・真田篤史・渡邊文雄・高橋悟 2011, エチオピア中央部の気象および土壌の特徴と沙漠化, 沙漠研究, 21(3): 129-134.
- 8) Zewdie, E. 2004, Characterization and genesis of some soils of the Ethiopian Rift Valley showing andic properties, Ethiopian Journal of Natural Resources, 6: 215-235.
- 9) Fritzsche, F., W. Zech, G. Guggenberger 2007, Soils of the Main Ethiopian Rift Valley escarpment: A transect study, Catena, 70: 209-219.
- 10) Itanna, F. 2005, Sulfur distribution in five Ethiopian Rift Valley soils under humid and semi-arid climate, Journal of Arid Environments, 62: 597-612.
- 11) Nyssen, J., H. Temesgen, M. Lemenih, A. Zenebe, N. Haregeweyn, and M. Haile 2008, Spatial and temporal variation of soil organic carbon stocks in a lake retreat area of the Ethiopian Rift Valley, Geoderma, 146: 261-268.
- 12) Yimer, F., and A. Abdelkadir 2011, Soil property changes following conversion of acacia woodland into grazing and farmlands in the Rift Valley area of Ethiopia, Land Degradation & Development, 22: 425-431.
- 13) Abdelkadir, A. and F. Yimer 2011, Soil water property variations in three adjacent land use types in the Rift Valley area of Ethiopia, Journal of Arid Environments, 75 (11) : 1067-1071.
- 14) Lemenih, M., E. Karlun, and M. Olsson 2005, Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia, Agriculture, Ecosystems & Environment, 105(1): 373-386.
- 15) Dessie, G. and C. Christiansson 2008, Forest decline and its causes in the south-

- central rift valley of Ethiopia: Human impact over a one hundred year perspective, *Journal of the Human Environment*, 37 (4): 263-271.
- 16) Bouaziz, M., M. Leidig, and R. Gloaguen 2011, Optimal parameter selection for qualitative regional erosion risk monitoring: A remote sensing study of SE Ethiopia, *Geoscience Frontiers*, 2 (2): 237-245.
- 17) Suzuki, S., M. Deressa, A. Sanada, K. Nakamura, F. Watanabe, and S. Takahashi 2012, Effect of atmospheric pressure on evaporation in central Ethiopia, *沙漠研究*, 22(1): 303-306.
- (東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 准教授)



# サハラ砂漠南縁地帯における土地劣化の事例と JIRCAS の取り組み

南 雲 不二男

## はじめに

本特集名である「Healthy Soil」と聞いて、まず思い浮かぶのは、土壌侵食を始めとする土地の劣化である。日本では沖縄における「赤土流出」以外に土壌侵食の問題が話題になることは少ない。しかしながら、世界のあちこちで、土地の劣化が農業の生産基盤を脅かしている。アフリカ、とくにサハラ砂漠南縁地帯においては、土壌侵食や恒久的な裸地化などの砂漠化／土地劣化に対する対策が喫緊の課題となっており、国際土壌年に関する国連の決議文でもアフリカにおける土地劣化に留意することが記されている<sup>9)</sup>。本稿では、これまで筆者が調査してきたニジェール、ブルキナファソでの土地劣化の事例について紹介するとともに、アフリカで現在、国立研究開発法人国際農林水産業研究センター（JIRCAS）が取り組んでいる保全農業に関する研究について紹介する。最後に土地劣化の広域モニタリング体制構築への期待について述べる。

### 1. サハラ砂漠南縁地帯における地形・土壌環境と荒廃裸地の拡大

#### 1) ニジェールの事例

アフリカのサハラ砂漠から南下するにつ

れ、活動性、半固定、および固定砂丘地帯が帯状に分布している（図1）。年降水量は首都 Niamey（ニアメ）で 500 mm 程度である。ニアメ近郊の地形は、Continental terminal と呼ばれる泥質砂岩からなる平坦なメサ状の台地と、それが侵食により形成された山麓平坦面が主要な地形であり、その他に、砂が台地の周囲に堆積した山麓斜面、枯渇河川などからなる<sup>1)</sup>（図2）。これらの土地はかつてのサハラ砂漠拡大期にサンドカバーで覆われ、その後の気候の湿潤化により定着した。そのため、このサンドカバーの有無により、サンドカバーを母材とする砂質土壌と泥質砂岩を母材とする粘土質土壌に二分される。

降水量の少ない本地域においては、自然に形成された恒久的な裸地がみられる。台地上

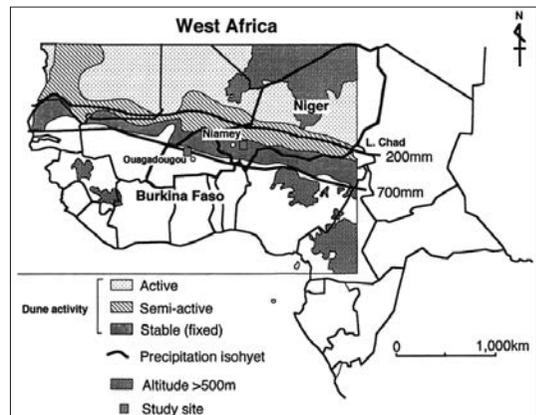


図1 サハラ砂漠南縁地帯における固定砂丘の分布<sup>7)</sup>

NAGUMO Fujio : Case Studies of Land Degradation in the South of the Sahara Desert and Endeavor Against It by JIRCAS.

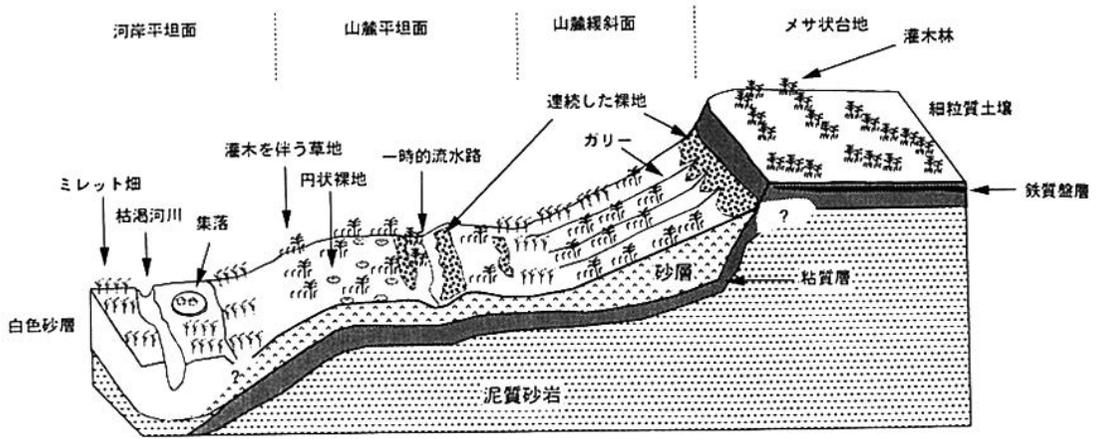
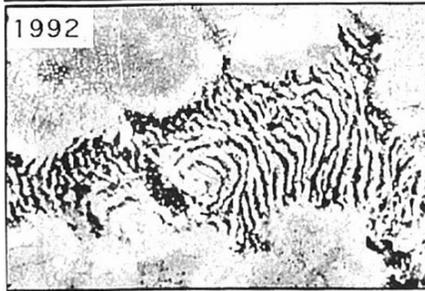
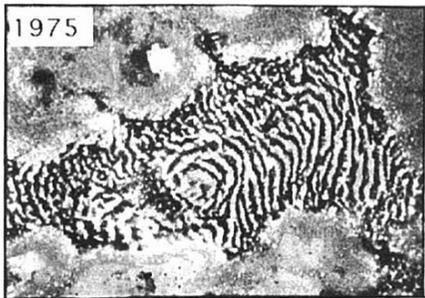


図2 固定砂丘地帯の地形模式図<sup>2)</sup>



台地 0 500m

写真1 台地上のタイガーブッシュの変化<sup>3)</sup>

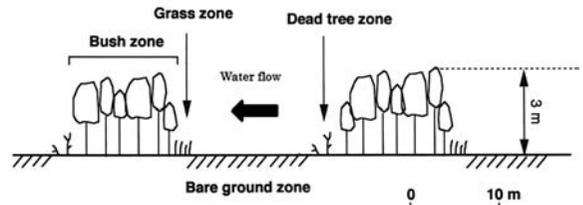


図3 タイガーブッシュの模式図<sup>4)</sup>

には、その植生の景観から「タイガーブッシュ」と呼ばれる帯状の灌木林が裸地の中に分布する（写真1）。粘土質土壌は透水性不良のために、降水はきわめて弱い傾斜に沿って流出し、灌木林を涵養している（図3）。サヘル

地帯では、1960年代後半から少雨傾向が続き、1984年には大干ばつが起きたことが日本でも大きく報道された。その少雨傾向の時期に撮影された1975年と1992年の空中写真からは、灌木林地の植被率が41%から28%に低下したことがみてとれる（写真1参照）<sup>3)</sup>。Ambouta (1984)<sup>1)</sup>は、ニジェールの南西部の降水量が異なる地域におけるタイガーブッシュの植被率を調査し、降水量の低下に伴い植被率が低下することを示すとともに、同一地点の降水量の低下が植被率の低下を招くという仮説を立てたが、我々の調査結果もその仮説と整合的である。

本地域には、定着農耕民であるザルマの人々が集落を形成して生活を営み、半農半牧

の生業形態を持つプールの人々が、草原の中で分散して生活を営んでいる。天水に依存している畑作は、砂質土壌でのみ実施されている。主要な作目は、パールミレットとソルガムであり、またササゲがその中に混作される。砂質土壌であるため、播種前の耕起は行わないが、前作物の刈り倒しのための表土のかく乱と栽培中の除草は、地表面に薄く形成された土壌クラストを破壊し、透水性を良好にするために、重要な作業となっている。農耕地の分布は、砂質土壌の中でも、とくに砂層の厚い土壌が選択的に利用されている。厚い砂の層が、乾燥地帯においてもっとも重要な土壌水分を砂の層に保持できるという優位性があるためと考えられ、根も深くまで伸長する（図4）。台地と同様、山麓平坦面上の砂質土壌においても裸地の拡大が顕著に認められる。裸地の拡大は、砂層の厚さが1 m未満程度の土壌で顕著であり、アリ塚の崩壊した周囲に円形状の裸地を形成・拡大させ、連続して広域な裸地を形成する（写真2、3）。1975年と1992年に撮影された空中写真を比

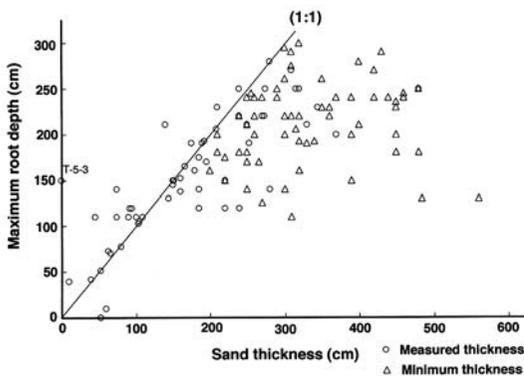


図4 砂層の厚さと根張り深さとの関係<sup>4)</sup>

注：Measured thickness は砂層の厚さを確認できたもの、Minimum はそれを確認できず、それ以上の厚さを有する場合を示した。

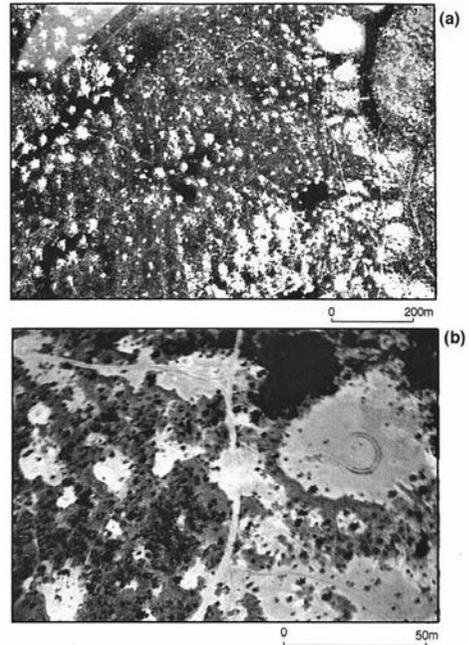


写真2 山麓平坦面上にみられる円状裸地<sup>4)</sup>  
 (a) 円状裸地の多くは、アリ塚を伴う裸地。上空500 m から撮影  
 (b) カイトフォトによる撮影。高度約100 m

較すると、こうした荒廃裸地に富む草地在、6.3%から15.7%に拡大した<sup>4)</sup>。シロアリによる下層のより細粒な土壌物質の地表面への持ち上げとアリ塚周辺部地表面への散布のため、硬くて緻密な土壌クラストが周囲に形成され、降水の表面流出を促進するとともに、植生の再生が困難になっている。この裸地の拡大は、台地上のタイガープッシュのやせ細り同様、降水量の低下による自然現象が主要な原因であり、それに加えて樹木の伐採、農耕や放牧による踏圧などの人為的インパクトが加わったものと推察される。自然現象的側面が強いこうした植生の変化を観測することで、地球規模の問題としてクローズアップされている気候変動に関する有益な情報を得ることができると考えられる。



写真3 アリ塚とその周辺部に形成される裸地

## 2) ブルキナファソの事例

一方、その南縁部に位置するブルキナファソでは、その北部を除くと国土のほとんどが非砂丘地帯であり、首都 Ouagadougou (ワガドゥゲー) で降水量は年 800 mm 程度である。同地域には花崗岩や片岩などの地質からなる中央台地と呼ばれる準平地帯が広がっている。準平原とは、長期間の侵食作用や削剥作用の働きで、低平化された小起伏の平坦面を呼び、緩斜面 (フランス語でグラシ) から構成される (図5)。また、かつての湿潤な気候条件下で形成された鉄の濃縮したペトロフェリック層が地表面に露出し、古い地形面の名残をとどめている (化石化グラシ)。土壌は花崗岩由来の場合にはより砂質な土壌が、片岩由来の場合にはより粘土質な土壌が生成される。中央台地の農耕地では広く天水畑作が、そして低湿地では天水稲作が実施さ

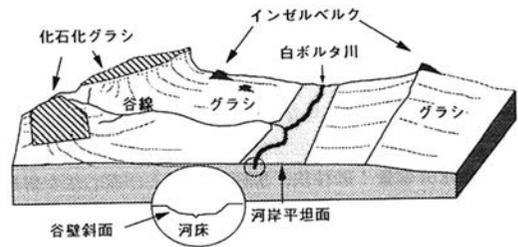


図5 ブルキナファソ中央台地の地形模式図<sup>5)</sup>

れている。ソルガム、パールミレット、トウモロコシなどが主作物であり、ニジェールと同じくササゲやラッカセイなどが混作される。

本地域における土地劣化は人為的活動が原因と考えられる場合が多い<sup>6)</sup>。写真4は荒廃裸地の拡大とガリー侵食の形成により放棄されたかつての農地を示している。また、写真5は白ボルタ川流域の河岸平坦面上に形成された裸地がガリー侵食により削られていく様子を示している。ガリーとは、降った雨水が集まり、この水の流れによって地表面が削られてできた連続する溝をいう。こうした裸地の拡大は、より細粒質な土壌において拡大が



写真4 中央台地における土壌侵食の一例。かつては農地だったが、荒廃裸地とガリーが形成され放棄された。

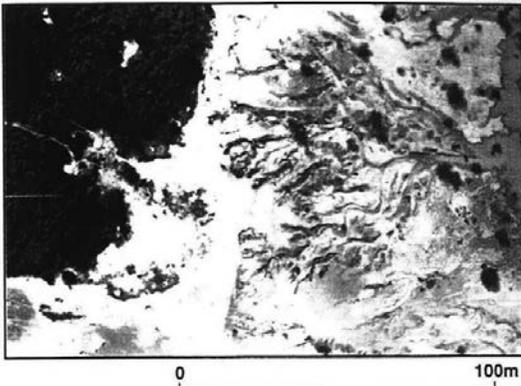


写真5 白ボルタ川の河岸平坦面をガリー侵食がえぐる。カイトフォトにより撮影。高度約100m<sup>6)</sup>

進行しており、とくに河岸の細粒質な地域にみられる。荒廃裸地は、ブルキナファソの現地語では、ジペレ (Zipelé; 草の生えない土地) と呼ばれ、土壌クラストが地表面を覆い、透水性を著しく低下させている。そのため細粒質土壌は雨期でも硬く、耕起自体が困難である。一方、広く農耕が営まれている砂壤土質土壌での裸地の拡大が認められることは少ない。砂質、あるいは砂壤土質土壌でも土壌クラストは容易に形成されるが、湿潤になれば土壌は軟らかくなり、耕起も容易である。しかしながら、土壌侵食により、下層のより細粒質な土層が露出するような場合には、同じく、自然植生が復活しなくなると、農地としても放棄される。

降水量が植物生育の制限要因となるニジェールからブルキナファソにかけては、土壌の物理性が荒廃裸地の分布と関係しており、固定砂丘帯における土壌は、粘土質土壌では自然条件でも裸地が形成され、砂質土壌では砂層が薄い地域で裸地が形成されている。すなわち、厚いサンドカバーが農耕を可能にし、裸地化から守っているといえる。そのサンド

カバーのない非砂丘地帯では、農耕などの人的活動による土地劣化がより顕著であるが、そこでも同様に土壌の土性が恒久的な荒廃裸地の分布を左右していると考えられる。

## 2. JIRCAS による保全農業研究の取り組み

ニジェールやブルキナファソのような半乾燥地帯にあつては、作物生産のために、土壌水分の確保がきわめて重要であり、そのためには降水が表面流出することなく、土壌中に浸透することが、栽培上の重要な技術となる。そのために、透水性を不良にする土壌クラストを破壊するため表土のかく乱作業が重要であることはすでに述べた。また、ブルキナファソにおいては、作付け前の耕起作業が、土壌中への降水の浸透を容易にし、土壌水分を貯留するために必要な作業と考えられている。しかしながら、耕起作業は同時に土壌侵食を助長する要因であるため、こうした地域における土壌保全と作物生産はなかなか両立しないようにも思われる。

こうしたなか JIRCAS では、西アフリカの気候条件の異なるガーナからブルキナファソにかけて、保全農業 (Conservation Agriculture) の考え方を基にした作付け体系の導入可能性を評価する研究 (平成 23 ~ 27 年) を開始し 4 年目を迎えた。日本でも環境保全型農業という表現があり、その技術的内容は多様である。FAO などの国際機関が普及しようとしている保全農業とは、①不耕起、あるいは部分的な耕起により播種し、なるべく土壌をかく乱しない、②作物残渣や有機物を用いて地表面をマルチする、③多様な作付け体系 (間作、輪作、リレー作など) を組み合わせる、というより狭義のコンセプトからなる。これら 3 つの栽培要素を組み合わせることによ

り、土壌の透水性を改善し、降水の表面流出を低減するとともに、降水の有効利用と土壌保全を達成し、農業生産性を安定的に向上することが期待されている。保全農業の原型は、1962年に初めて、アメリカで成功した不耕起栽培であり、その後、南米で作目の組み合わせの改良が進み、保全農業と呼ばれるようになった。したがって、保全農業の根幹は不耕起栽培であり、保全耕起（Conservation tillage）と呼ばれることも多い。不耕起栽培の実施に当たっては、雑草管理が問題となるため、多くの場合除草剤の利用がその前提となる。除草剤を利用可能かどうかは国によって、また農家によって異なる。また、異なる農業生態系において、雑草の繁茂量が異なるために、その管理の重要度も大きく異なってくる。

第3の技術要素である多様な作付け体系として、多年生ピジョンピー（キマメ）を間作として組みこみ、残渣マルチを行いながらトウモロコシやソルガムを不耕起、あるいは部分耕起で栽培する技術を評価中である（写真6）。ピジョンピーは、対象国の中ではガーナ北部で生産・消費されており、また、市場でも販売されることからその導入は比較的容易と考えられる。一方、ブルキナファソでは食品としてまだ認知されておらず、現時点では、肥料木としての利用可能性を評価している。

これまでの結果を簡単にまとめると以下のとおりである。第1に、気候条件にかかわらず、作物残渣マルチ不耕起栽培では、慣行の耕起栽培に比べて、土壌侵食量が大きく低減する。第2に、ピジョンピーを間作するとその施肥効果により増収する。一方、作物残渣と雑草管理に関しては、気候条件により状況が



写真6 ピジョンピー間作の効果 ブルキナファソ、ブクナサバンナ地帯（左：ソルガム単作、右：ピジョンピー間作）

異なる。熱帯雨林地帯では、乾期に間に繁茂する雑草量が極めて多く、雑草管理のために除草剤の利用が不可欠である。しかしながら、その大きいバイオマス生産量のために、上手に残渣をマルチとして利用すれば、作物生育期間中の雑草繁茂量を低減できる。一方、ギニアサバンナ地帯においては、適度な残渣がマルチ資材として利用可能であるが、乾期における放牧家畜の作物残渣の食餌と野火によりマルチ材としての残渣量が不足がちになる。また、栽培期間中の雑草管理が難しいことなどが問題点として挙げられる。ガーナ北部からブルキナファソ中部にかけてのブクナサバンナ地帯では、雑草繁茂量が比較的小ないために、地表面を鋤で浅く掻く程度で雑草管理が可能であるが、ギニアサバンナ帯と同じく、作物残渣が家畜の飼料として重要であるため競合が起きること、しばしば起きる無降水期間においては、間作物と主作物との競合が起きやすいことなどが問題となる。また、雨期明けの自然植生が乏しい時期には、マルチの下に生息する昆虫が芽生えを加害し、出芽率を低下させることも注意すべき間



写真7 農家圃場を利用した実証圃場での農家との意見交換会（ブルキナファソ、スーダンサバンナ地帯）

題である。このように、様々な問題を有しながらも、その対策法を考えつつ、農家に受け入れられる栽培技術になり得るかどうかを農家の評価を聞きながらまとめていきたい（写真7）。

### 3. 土地劣化の広域監視体制構築への期待

世界規模の土地劣化の進行に対して、衛星データなどを活用したモニタリング体制を構築することは、有限な土壌資源を持続的に利用するためにきわめて重要であり、すでに様々な土地劣化現況マップが世界規模で作成されてきた。とくに、サハラ砂漠南縁地帯にみられるような荒廃裸地の継続的観測は、異なる季節での植生指数の解析から比較的容易に検出可能であり、リモートセンシングが得意とする分野である。一方、土壌侵食は多くて年間数mm程度の土壌深の減少であり、その把握は困難である。そうしたなかで内田は、フィリピン、ルソン島を対象地として、ガリーが近年多発した丘陵地帯におけるガリーの分布を抽出する技術開発に成功した<sup>8)</sup>（写真8）。一旦ガリーが農地に形成され始め

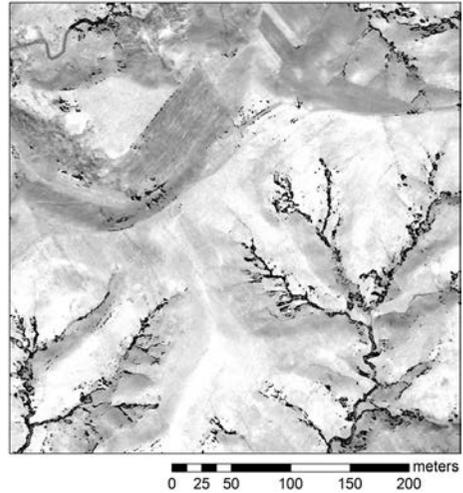


写真8 画像解析により抽出されたガリーの分布<sup>8)</sup>（フィリピン、ルソン島丘陵地帯）

ると、農作業に困難をきたすとともに、ガリーはその斜面上部に向けて伸びていき、樹枝状に枝分かれする。ガリーの存在は、集水域での降水の表面流出と土壌侵食が起きていることを意味し、土壌侵食の最悪の形態である。衛星画像上でガリーは樹枝状の暗色の線として大まかに認識できるため、目視判読による抽出はある程度可能であるが、広域で行うには、多大な労力と時間、そして予算を必要とする。しかしながら、今回のガリー抽出技術の開発により、一連のアルゴリズムを用いて、ガリーを自動的に抽出することができ、様々な地域で起きているガリーの分布域をリアルタイムで監視していくことが可能となりつつある。それにより、問題発生国、あるいはその地域に土地劣化に関する情報を提供し、その対策に役立ててもらえることができる。とくに、自国でこうしたシステムを構築することが困難と考えられる開発途上国への支援は、本分野で日本が実施可能な大きな貢献となり得る。

## おわりに

アフリカ、とりわけサハラ砂漠南縁地帯においては、人為による土壤肥沃度や物理性の改良などはきわめて難しい。そして多くの作物栽培は天水に依存し、しかも化学肥料の施用量は少ない。そのため、土壤の化学性と物理性が生産性に直結することが多い。さらに、土地劣化に対する対処技術なども、費用の制約を大きく受ける。したがって、農地の持続的利用法を検討する際には、当該地域の風習、社会・文化的背景を踏まえながら土壤調査を行い、土壤の特性を把握することがより重要になる。「国際土壤年」がその重要性を再認識するきっかけとなり、ひいてはサブサハラ・アフリカという農業生産環境に大きな問題を抱えている地域の食料安全保障に寄与することができれば大変喜ばしいことである。

### 参考文献

- 1) Ambouta, K. 1984, Contribution à l'édaphologie de la brousse tigréede l'ouest Nigerian, Thèse Docteur Ingenieur, Nancy, p.116.
- 2) 南雲不二男 1994, ニジェール、固定砂丘地帯の土壤環境と土地荒廃, 雑誌地理 39 (11): 44-51.
- 3) 南雲不二男 1996, ニジェール南西部、固定

砂丘地帯における裸地の分布と土地条件, 土壤の物理性, 74: 39-49.

- 4) Nagumo, F 1997, Bare ground characteristics and the pedo-geomorphic environments in fixed- and non-dune areas, the Sahel, West Africa, 博士論文(北海道大学大学院地球環境研究科), p.67.
  - 5) 南雲不二男 1999, ブルキナファソ、モシ台地の小流域における土壤のトポシークエンスと農耕適性, 土肥誌, 70(2): 132-141.
  - 6) 南雲不二男 1999, ブルキナファソ、モシ台地の小流域における荒廃裸地の分布と土壤特性との関係, 土肥誌, 70(2): 142-150.
  - 7) Pieri C. 1989, Fertilité des terres de savanes: Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara, CIRAD, Paris, p.444.
  - 8) 内田諭・南雲不二男 2015, 高空間分解能衛星データを用いたガリー侵食抽出手法の開発, システム農学, 31(1): 11-20.
  - 9) United Nations 2014, Resolution adopted by the General Assembly on 20 December 2013: World Soil Day and International Year of Soils, A/RES/68/232.
- (国立研究開発法人国際農林水産業研究センター 生産環境畜産領域、プロジェクトリーダー)



## イネの優れた環境適応性 —スーダンにおける陸稲栽培活動から—

後藤明夫\*・安藤孝政\*\*・松田健志\*\*\*・中垣長睦\*\*\*\*

### はじめに

イネは生育環境として、高温で湿潤、弱酸性土壌を好む作物であるが、スーダンの生育環境は、想像をはるかに超えている。地域にもよるが、気温は高温期には45℃以上になり、年間降雨量は平均200～400mmと少なく、ナイル川からの水を利用している。土壌は粘土を含むものと砂質土壌が広がるが、灌漑水も含め、酸性度(pH)はおおむね8以上でイネの生育には不適といわれるアルカリ土壌が大半を占めている。また、場所によっては土壌表面に塩類集積も認められる。こうした自然環境下、2010年に独立行政法人国際協力機構(JICA)による「農業再活性化計画」実施能力強化プロジェクトが開始され、プロジェクトの主要活動として、陸稲栽培に係る適正栽培技術の開発および陸稲の農家圃場への普及が展開されている。

解決すべき技術的な課題は依然あるものの、プロジェクトは圃場試験活動による陸稲栽培に係る適正技術の開発やデモンストレーション圃場による陸稲の普及活動を通じ、スーダンにおいて陸稲栽培を行ううえでの貴重

な経験や知見を蓄積してきた。そして土壌、気温、降雨量など自然環境的にはイネの栽培は難しいと認識されているこの国で、一定の成果(収量)を獲得してきた。栽培方法を含め、そうした経緯や結果をここに報告し、関係者と広く情報共有を図ることで、更なる技術開発、陸稲普及に貢献したいと考える。

### 1. プロジェクトの概要

本プロジェクト(「農業再活性化計画」実施能力強化プロジェクト)は、スーダンの農業行政に携わる人材の能力開発を行い、石油への過度な依存により経済全体が崩壊するリスク対策として、食料安全保障、貧困削減および農産物の輸出振興を上位目標に掲げた「農業再活性化計画」の実現に必要な連邦農業灌漑省および関係機関のキャパシティ向上に寄与することを目的とし、スーダン政府からの要請を受けたJICAによって2010年3月31日から開始された。活動は、成果1「連邦政府農業灌漑省や各州農林灌漑省を対象に、人材育成および組織能力強化のモデルシステムとして研修やチーム活動に取り組む」と同時に、成果2「連邦政府農業灌漑省や各州農林灌漑省をカウンターパートとして、陸稲栽培への技術支援」を行ってきた。この成果2に関し、2013年10月の終了時評価においては、稲作技術開発および普及員能力強化に関する成果指標達成のため、プロジェクト

---

GOTO Akio, ANDO Takamasa, MATSUDA Takeshi and NAKAGAKI Osamu: Superior Environment Adaptability of Rice - Through Upland Rice Cultivation Activity in Sudan-

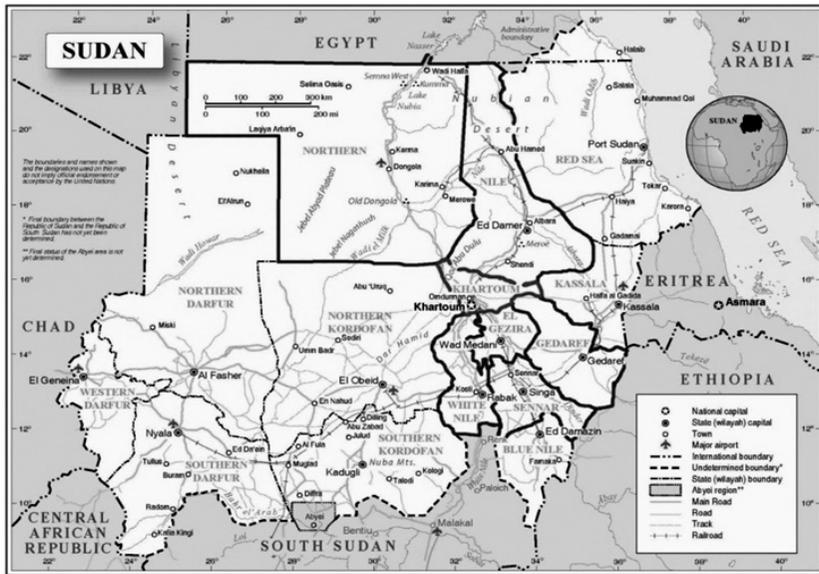


図1 プロジェクト対象地域図 (太枠)  
 出典：United Nations Cartographic Section

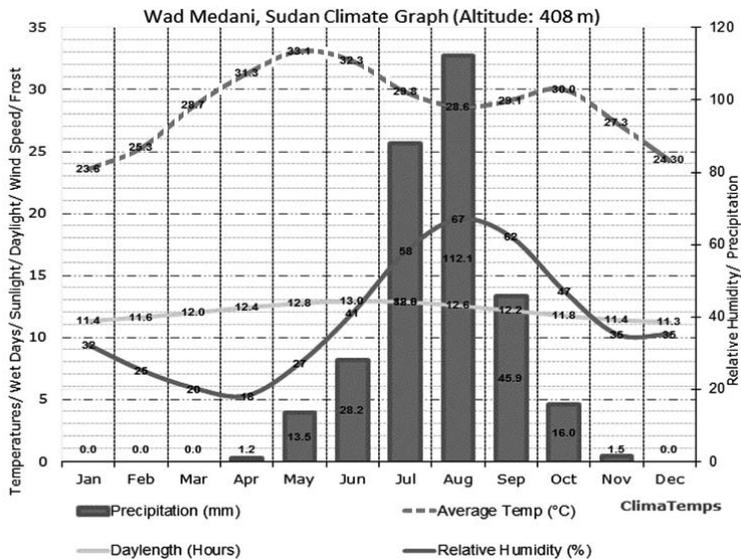


図2 プロジェクトの主要対象州ゲジラ州ワドメダニ市の気象  
 出典：http://www.wad-medani.climatemps.com/a

期間の延長が提言された。これを受け、プロジェクト期間を2016年3月まで2年間にわたり延長するR/Dが2014年2月に締結され、

普及員らの技術力向上および陸稲栽培に係る技術課題の改善を主要目的として、活動を継続している。

## 2. プロジェクト活動

### 1) 圃場適用試験活動

スーダンにおける稲作の歴史は浅く、効果的な栽培方法が確立されていないのが現状である。そのため、本プロジェクトにおいてスーダンでの効果的な陸稲栽培方法を特定するため様々な適用試験を実施してきた。今回、本稿では以下の栽培方法・栽培環境のもとで、施肥試験（チッソ量）、播種間隔（条間）試験、雑草防除試験、播種時期試験の4種類の試験栽培の紹介をとおり、高温、乾燥、塩害等のスーダンでの過酷な自然環境で高収量を達成する稲作の可能性を検討する（図1、2参照）。

- 栽培方法：陸稲品種を使用した乾田直播栽培および間断灌漑。圃場均平化も行う。
- 灌漑：地下水を汲み上げる灌漑用ポンプを設置。スーダンの電気料金は比較的安価であり、天水のみでのイネ栽培は不可能である。
- 雨期：試験栽培地ではおおむね6月から10月。雨期の最盛期は洪水も発生する。
- 夏期最高気温および最低湿度：45～50℃、10～15%
- 土壌：主に砂質。そのため、播種前に堆肥などを利用した土づくりを行う。

試験内容は以下のとおりである。

試験栽培条件（各試験共通）

- 試験場所：スーダン国ゲジラ州ワドメダニ市 州農業省園芸試験場
- 品種：NERICA 4
- 播種方法：条播
- 試験計画：完全乱塊法（RCBD）
- 反復回数：3
- 区画サイズ：4 m × 4 m
- 灌漑頻度：5日ごと（播種後50日まで）

および3日ごと（播種後51日以降）。塩害が発生した場合でもこの灌漑頻度を保持できれば、被害は最小限に抑えられる。

- 補植：欠株対策として、同苗齢の苗を発芽約2週間後に移植を実施。直播栽培では欠株は必ず発生するので、その対策は必須である。
- 防鳥対策：登熟期には防鳥ネットを使用。ゲジラ州の場合、途上国で頻発するネットやロープなどの農具の盗難の心配は低い。
- 害虫対策：陸稲栽培では圃場の乾燥等によりシロアリの発生が散見されるので、殺虫剤や灌漑頻度の増加、保湿性の高い（有機物の多い）土づくり等で対策を講じる。

各試験栽培の方法および結果は以下のとおり。

#### (1) 施肥試験（チッソ量）

##### ①試験目的

NERICA 4 栽培に必要なチッソ量を特定する。

##### ②栽培情報

播種日：2014年6月19日

収穫日（収量調査日）：9月28～29日

栽培日数：102～103日

条間：30cm

播種量：95.2kg/ha

基肥：過磷酸石灰（TSP）53.6kg/ha、牛糞堆肥50kg/区画（4m×4m）（砂質土壌を改良する目的で使用）

##### ③処理内容

チッソ肥料は尿素を利用し、播種後21日目と55日後にそれぞれ表1の必要量の半数を施肥。

##### ④結果および考察

収量結果の図3からT1（N=0kg/ha）

表1 施肥試験（チッソ量）の処理内容

処理群	チッソ量 (kg/ha)
T 1	0.0
T 2	43.8
T 3	87.6
T 4	131.4

と T 3 (N=87.6kg/ha) 間で 0.057 の有意差が認められる。このことから 5% 有意差には満たないが、チッソ量約 87.6kg/ha が適量で

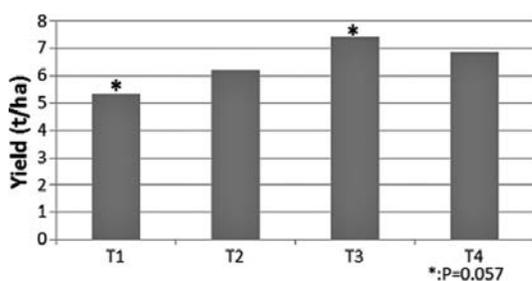


図3 施肥試験収量結果

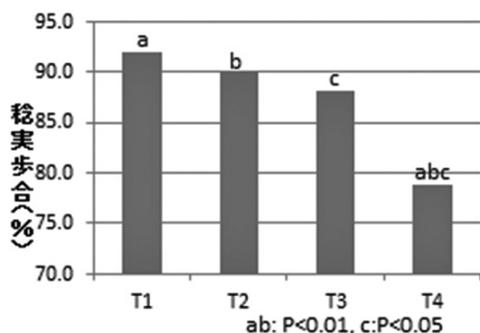


図4 稔実歩合比較

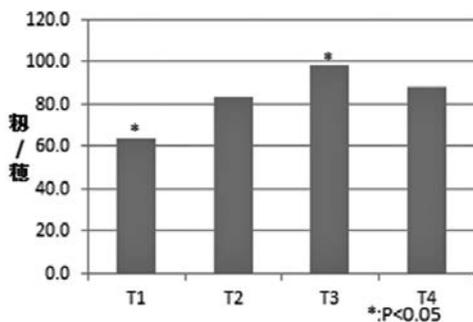


図5 籾 / 穂比較

ある可能性が高いと考えられる。稔実歩合と籾 / 穂の結果を総合すると、チッソ量が増えるごとに稔実歩合は低下するが、籾 / 穂は増加することがわかる (図4、5)。そのため、チッソ量は籾の形成に大きく関与しているが、それを稔実させるには他の要素も必要であることがわかる。

## (2) 播種間隔 (条間) 試験

### ① 試験目的

NERICA 4 栽培において、手作業での栽培から機械作業での栽培まで多様な栽培方法を想定した場合の除草作業と収量の関係調べ、適切な播種間隔を特定する。

### ② 栽培情報

播種日：2014年6月12日

収穫日 (収量調査日)：9月21～22日

栽培日数：102～103日

播種量：95.2kg/ha

基肥：過燐酸石灰 (TSP) 53.6kg/ha、牛糞堆肥 50kg / 区画

追肥：尿素 43.8kg/ha を 2 回施肥 (播種後 21 日目および幼穂形成期)

### ③ 処理内容

表2の内容で播種間隔 (条間) を設定した。

### ④ 結果および考察

図6から統計的な有意差は確認されなかったが、播種間隔が広がるにつれて収量が下がることは確認できた。面積の小さい圃場では除草は手作業が基本となるので、播種間隔は

表2 播種間隔 (条間) 試験の処理内容

処理群	播種間隔 (cm)
T 1	20
T 2	30
T 3	40
T 4	50

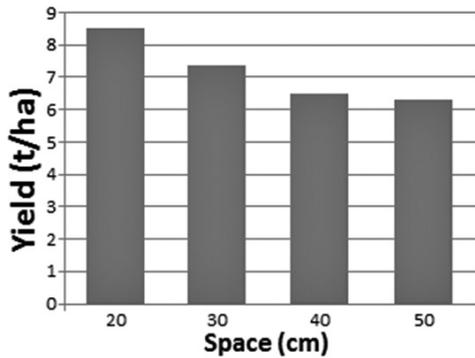


図6 播種間隔試験収量結果



写真1 防鳥ネットで覆われた登熟期の播種間隔試験の様子

20cm で可能である一方、面積の大きい圃場では、今後の機械除草の導入を念頭に、播種間隔は機械除草により適した幅の広い50cm になると想定される。どこまでの収量減少を容認できるかは、生産者側（農家側）の意思決定や栽培方法・栽培環境次第である（写真1）。

### （3）雑草防除試験

#### ①試験目的

NERICA 4 の栽培において実用的、経済的、効果的な雑草防除方法を特定する。

#### ②栽培情報

播種日：2013年6月20日

収穫日（収量調査日）：2013年10月6日  
～9日

栽培日数：109～112日

播種量：71.4～83.3kg/ha

基肥：過磷酸石灰（TSP）53.6kg/ha

条間：20cm

追肥：尿素 43.8kg/ha を2回施肥（播種後21日目および幼穂形成期）

客土：均平化のために播種前に実施（隣接圃場の表土を本試験圃場内に移動）

出芽前除草剤：ペンディメタリン  
（Pendimethalin）

出芽後除草剤：2,4-ジクロロフェノキシ酢

酸（2,4-D）

#### ③処理内容

表3の内容で試験処理内容を設定した。

#### ④結果および考察

図7から対象区と各処理群を比較した場合、

表3 雑草防除試験処理内容

処理群	処理内容
T 1	対象区
T 2	出芽前除草剤 + 出芽後除草剤（42DAS）
T 3	出芽前除草剤 + 手除草1回（42DAS）
T 4	出芽前除草剤 + 手除草2回（42、56 DAS）
T 5	手除草1回（21 DAS）
T 6	手除草2回（21、30 DAS）
T 7	手除草3回（21、30、56 DAS）
T 8	手除草2回（21、30 DAS） + 出芽後除草剤（42DAS）

注：DAS: 播種後日数、Days After Sowing

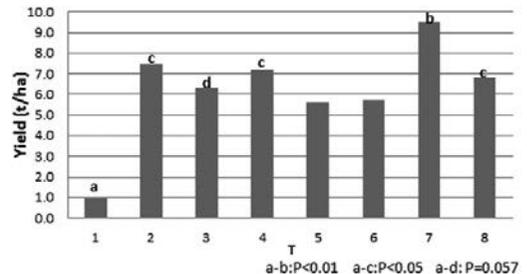


図7 雑草防除試験収量結果

手除草1回（T5）および2回（T6）は統計的な有意差はないため、手作業1、2回では有効は除草効果が得られないことがわかる。

出芽前除草剤＋出芽後除草剤（T2）、出芽前除草剤＋手除草2回（T4）、手除草2回＋出芽後除草剤（T8）は有意差5%以下であり、非常に有効な方法であるといえる。結果として、除草剤の効果は非常に高いことがわかる。大面積の圃場で手除草を繰り返す行うことは現実的な方法ではないため、手除草回数を必要最低限に抑え、除草機や除草剤を有効に活用した栽培方法が望ましいと考えられる。

また、本試験の手除草3回（T7）では平均収量9.5t/haを達成した。これは、適切な栽培管理（除草、施肥、水管理）を行えばスーダンのような高温・乾燥の気候条件でもイネを十分栽培することが可能であることを示している。収量データから判断すると、最高気温50℃近くでも花粉の受精に問題はないといえる。このような高温期でも、午前9時頃までは40℃以下の気温であり、この時間帯に受粉・受精が行われるためと推測される。また、砂質で塩害が発生する土壌でも堆肥や

客土の利用などによる土づくりが高収量達成のためには有効な手段である。

#### （4）播種時期試験

##### ①試験目的

NERICA4栽培において適切な栽培時期を特定する。

##### ②栽培情報

播種日：2012年7～9月（処理群による。

表4参照）

収穫日（収量調査日）：2012年11月～

2013年1月（処理群による。表4参照）

栽培日数：97～107日

播種量：71.4～83.3kg/ha

条間：20cm

基肥：過磷酸石灰（TSP）53.6kg/ha

表4 播種時期試験処理内容

	処理内容	播種日	収穫日	栽培日数
T1	対象区	7月17日	11月1日	107
T2	T1の2週間後	7月31日	11月11日	103
T3	T2の2週間後	8月14日	11月20日	98
T4	T3の2週間後	9月3日*	12月9日	97
T5	T4の2週間後	9月11日	12月18日	98
T6	T5の2週間後	9月25日	1月3日	100

注：\*T4播種は洪水により遅延。



写真2 雑草防除試験での灌水作業の様子

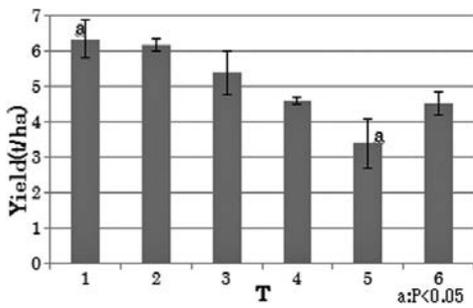


図8 播種時期試験収量結果

追肥：尿素 43.8kg/ha を2回施肥（播種後21日目および幼穂形成期）

### ③処理内容

表4の内容で播種日を設定した。

### ④結果および考察

図8のように7月中旬播種（T1）の場合には9月中旬播種（T5）の場合と比べて著しく収量が高いことがわかる。

9月播種のイネは短日条件下での栽培になるため、収量が劣ることはスーダンでも同様であった。降雨量から考えても降雨のピークである7、8月にイネを栽培することは灌水作業の軽減にもつながる。そのため、7月播種が望ましいと思われる。また、今後5、6月播種の場合の収量への影響なども試験をとおして可能性を確認していくことが必要である。

### (5) 圃場試験活動のまとめ

上記4試験の結果から、各試験の最高収量は6.5～9.5t/haである。そのような高収量はスーダンでの稲作栽培のポテンシャルが高いことを示すものであり、NERICA4栽培で高収量を達成する要因および注意点は以下のようにまとめることができる。

- ポンプ等を利用した安定的な水供給を確保する。灌漑頻度は5日ごと（播種後50日

まで）および3日ごと（播種後51日以降）で行う。塩害やシロアリ被害が発生する場合は随時頻度を調整する。ただし、明確な灌漑頻度の特定は今後精査が必要である。

- 播種前に堆肥等を利用した土づくりを行う。砂質土壌であれば、少なくとも約30t/haの堆肥は必要である。本試験では1区画（16m<sup>2</sup>）当たり50kgの堆肥を投入した。
- 播種は7月までに行う。ただし、5、6月播種の可能性は要検討である。
- 気温45～50℃でも、イネの受粉に悪影響はない。
- 大圃場で栽培する場合は除草剤を有効活用するとともに、播種間隔（条間）は40～50cmでも構わない。
- 欠株対策を行う。本試験では苗の補植を行ったが、実際の圃場では追播でもよい。
- 鳥害対策を行う。具体的には、見張り人をつける、鳥の巣を壊す、イネをネットで覆う、近隣圃場の栽培時期を揃え、被害を分散させるなどがある。
- シロアリ対策を行う。具体的には、圃場均平化を徹底する、殺虫剤を使う、灌漑頻度を増す、土壌保水性を高めるなどがある。
- 最も大切な事は灌漑、播種、補植、除草、収穫などの必要な農作業を適時に行うことである。圃場試験場所であるゲジラ州の農業省カウンターパートは総じていうと、勤労であるため、今回のような高収量を挙げることができたと思われる。

### 2) デモンストレーション圃場活動

既述したように、プロジェクトはスーダンにおける陸稲栽培に係る適正技術の開発を目的とした圃場適用試験活動と平行して栽培技術および陸稲の普及を目的とした農民圃場におけるデモンストレーション圃場活動（以下

「デモ活動」とする)を2011年から本格的に実施してきた(2010年からはゲジラ州と白ナイル州の2州で、2012年からは、両州に加え、センナール州、ゲダレフ州、リバーナイル州および北部州の計6州で実施)。ここでは、改めてスーダンにおける稲作や稲作関連協力について述べるとともに、デモ活動の結果(今までの総括として2014年度を例として記載)を提示し、デモ活動から得られたイネの優れた環境適応性に関する経験や知見を述べることにする。

### (1) スーダンにおける稲作と協力

世界的に見て、陸稲の多くは降雨に依存する天水条件下で栽培されており、スーダンのように、重力式あるいはポンプによる揚水式のいずれにせよ、灌漑施設を伴う灌漑環境下で栽培される「灌漑陸稲(Irrigated Upland Rice)」は珍しい栽培形態といえる。白ナイル川の流域で営まれてきた氾濫原稲作を除いて、スーダンでのイネ栽培の歴史は浅く、1970～1980年代にかけて中国による技術協力が、また、1976～1983年にかけてわが国

による技術協力が、いずれも水稲栽培において実施されたが、現在、農家圃場に水稲栽培は見られない。様々な理由が指摘されているが、最大の理由は、多くの農家が大規模な面積における畑作物栽培で生計を立てている中、畑作物に比べ要水量が多く、灌漑水の不足を招くだけでなく、畑作物の栽培ローテーションの中に組み込みにくい水稲が農家のニーズに合致しなかったことが挙げられる。一方、主食であるソルガムとともに主要作物として栽培されてきたコムギ、ラッカセイ、ワタなどの販売価格は近年低迷し、生産性の低さにより生産量も伸び悩み、農家は新たな作物の導入を模索してきた。こうした状況を鑑み、プロジェクトは水稲ではなく、陸稲の農家への普及を目指し、スーダンの農民にとって新しい作物である陸稲に係る栽培技術の開発を行うとともに、農家圃場における実証を兼ね、普及のためのデモ活動を展開してきた。

### (2) デモ圃場の概要

①デモ圃場の位置と収量(ゲジラ州)(図9、表5)

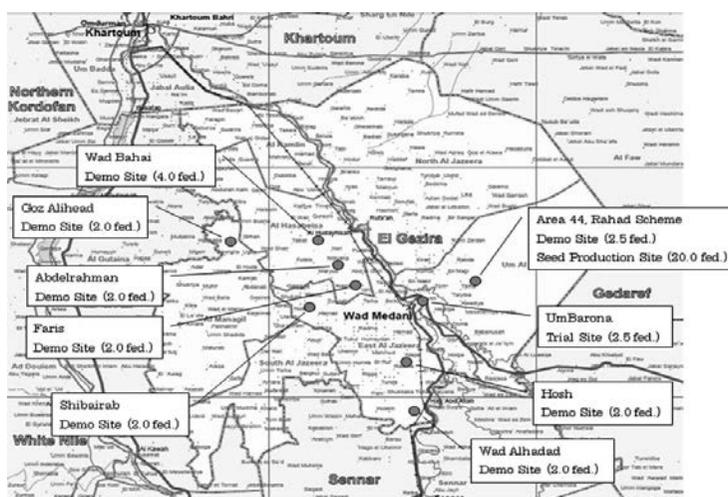


図9 ゲジラ州のデモンストレーション圃場地図(2014年度)

表5 ゲジラ州のデモンストレーション圃場収量結果 (2014年度)

圃場名	郡	栽培面積 (ha)	栽培面積 (fed)	収量 (坪刈り) (kg/ha)	収量 (坪刈り) (kg/fed)	収量 (全面積) (kg/ha)	収量 (全面積) (kg/fed)
Wad Bahai	Hasahisa	1.68	4.0	3903	1639	2172	912
Shibairab	South Gezira	0.84	2.0	2713	1139	1377	578
Area 44, Block 9 (Rahad Scheme)	Um Algora	1.05	2.5	4561	1916	5548	2330
Hosh	South Gezira	0.84	2.0	3019	1268	2198	923
Wad Alhadad	South Gezira	0.84	2.0	4107	1725	2718	1142
Abdelrahman	Hasahisa	0.84	2.0	3089	1297	2950	1239
Faris	Hasahisa	0.84	2.0	1563	657	2314	972
Goz Alihead	Managil	0.84	2.0	2597	1091	1365	573
TOTAL/Average		7.77	18.5	3194	1342	2580	1084

注：1 feddan ÷ 0.42ha

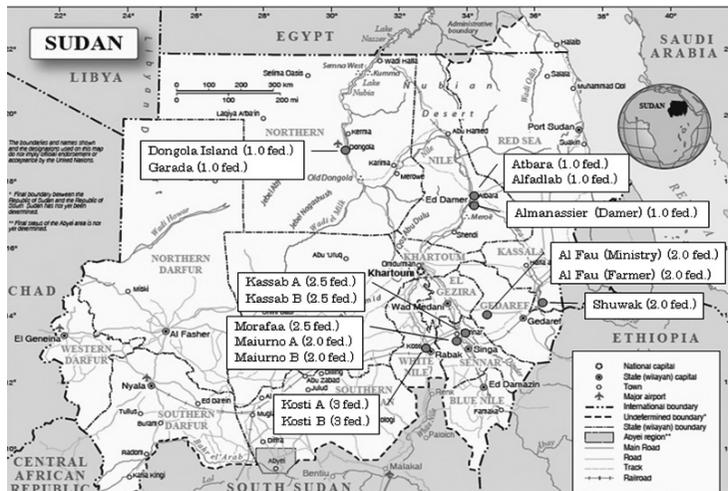


図10 ゲジラ州以外5州のデモンストレーション圃場地図 (2014年度)

②デモ圃場の位置と収量 (ゲジラ州以外の5州) (図10、表6)

州や圃場により違いは見られるものの、自然環境的に厳しいと考えられているスーダンの農家圃場において、「満足」とはとていえないまでも、徐々にではあるが、一定の収量 (とくにゲジラ州) を得てきていることを理解して頂けると思う (写真3、4)。その

理由として、栽培技術面からいえば、圃場試験およびデモ活動という栽培活動を行ううえで自然環境を含めた様々な栽培上の制限要因に直面し、それらへの対策として後述する主要な技術ポイントを把握し、対応を図ってきたこと。そして、やはり土壌、気温、降雨量など想像以上に厳しいスーダンの自然環境に適応することが可能である一般的な認識を超

表6 ゲジラ州以外のデモンストレーション圃場の収量結果 (2014年度)

州	圃場名	栽培面積 (ha)	栽培面積 (fed)	収量 (坪刈り) (kg/ha)	収量 (坪刈り) (kg/fed)	収量 (全面積) (kg/ha)	収量 (全面積) (kg/fed)
Sennar	Morafaa	1.05	2.5	4587	1926	1628	684
	Maiurno A	0.84	2.0	1349	566	218	91
	Maiurno B	0.84	2.0	2251	945	460	193
Sennar	Kassab A	1.05	2.5	4981	2092	1345	565
	Kassab B	0.84	2.5	4152	1744	1273	535
Gedaref	Al Fau (農業省)	0.84	2.0	4240	1781	1145	481
	Al Fau (農民)	0.84	2.0	4310	1810	1973	829
	Shuwak (農業省)	0.84	2.0	8128	3414	1840	773
River Nile	Almanssier	0.42	1.0	2726	1145	433	182
	Atbara	0.42	1.0	2344	984	1215	511
	Alfadlab	0.42	1.0	4784	2009	1162	488
Northern	Dongola Island	0.42	1.0	3965	1552	1077	452
	Garada	0.42	1.0	3541	1487	515	216
White Nile	Kosti A	1.26	3.0	4514	1896	436	183
	Kosti B	1.26	3.0	3808	1599	616	259
TOTAL/Average		11.76	28.5	3979	1663	1022	429

注：1 feddan ≒ 0.42ha



写真3 アルカリ土壌が根本原因で収量がほぼ皆無となった農家のデモ圃場 (2013年度、北部州)



写真4 収量 5.5t/ha を実現した農家のデモ圃場 (2014年度、ゲジラ州)

えたイネの優れた適応能力 (適応性) を指摘できる。そこで、試験とデモ活動での試行錯誤を経て、自然環境も含めた制限要因への対応として把握できるようになった陸稲栽培上の重要技術ポイントを示すとともに、一般的には不適と認識されているスーダンにおいて

イネの栽培が可能であり、しかも一定の収量を得ることができてきたと考えられる理由を述べることとする。

### (3) スーダンにおける陸稲栽培上の重要技術ポイント

- 圃場整備 (均平)

- 種子
- 播種作業
- 播種時期
- 雑草防除
- 水管理
- 収穫時期

スーダンの畑作は、天水栽培を除けば、いくつかの作物を数ha～数十、数百、時には数千haという大規模な面積における輪作体系の下、行われるのが通常である。そうした「規模」の観点からしてまず日本での作物栽培の「感覚」と大きな違いがあることを認識する必要がある。よって陸稲の導入といっても、農民はもちろん、農業行政に携わる連邦および州農業省の職員たちも、新しい作物にも関わらず、デモ圃場活動を行う際、いきなり数十～数百haという規模での活動を求める。何よりも、農家に陸稲栽培の基本技術を身につけ、一定の収量を実現してもらうことが肝要であるため、1ha程度の規模で実施すべきであると説明しながらデモ活動を続けている。上述した各ポイントは、稲作に関する情報が無い状況で、こうした栽培環境やイネが新しい作物であることを踏まえ、試行錯誤の栽培活動から学び、特定してきたものである。

とくに重要な3つのポイントについては次のとおりである。

①灌漑陸稲（乾田直播き）という環境で、収量を確保するためには、出芽を揃えることがきわめて重要であり、そのための圃場均平化は必須となる。凹凸があっては、均一な灌漑ができず、除草剤のムラも生じ、出芽不良やムラを引き起こす。また、均一な灌漑ができないことは均一な生育を困難にするだけでなく、雑草の繁茂や凸面部分の

乾燥により発生したシロアリによる根の食害を招く。

- ②雑草対策は収量の最大決定要因といえる。直播き栽培では、移植栽培のように、生育の早い雑草に対し、移植することによりイネを「守る」ことができない。よって、試験の項目でも述べたように、効果的な除草剤の使用を含め、まずは発生を抑え、次に初期生育時に如何に雑草対策を図り、圃場をクリーンに維持するかが、水や養分の競合を避け、収量を確保するうえできわめて重要である。
- ③スーダンのような高温地域で、適切な水管理は雑草対策と同様、不可欠な技術（作業）である。適切な水管理は生育を促すとともに、「高温障害」とも見られるような障害を避け、不稔稲の発生対策として必須である。

#### （4）デモ活動を通じて経験したイネの優れた環境適応性（能力）

自然環境的に特徴的な以下の点に絞って述べる。

##### ①高温

スーダンでは、高温期には35℃以上、北部地域に限っていえば、50℃以上になる。こうした環境で完全とはいえないものの、不稔稲の発生を避けることができているのは、幼穂形成期以降の水管理に負うところがあるが、最大の理由は出穂・開花が午前中のまだ涼しい時間帯（9時頃まで）に行われ、受粉、そして受精が大きな問題無く完了しているからだと考えられる。より詳細に理由を解明するには、品種の特性を含め、気温だけではなく、穂周辺の温度（穂温）や風、湿度との関係についても明らかにする必要があると考える。

## ②少ない降雨量

降雨量は、平均 200～400mm だが、やはり北部では、0 mm 近くなる地域もある。ただし、ナイル川の水を生かすダムを含めた灌漑施設（ポンプや水路など）が整っている灌漑スキームが多く存在し、そうしたスキームでは比較的自由に灌漑を行うことができる（ちなみに、ゲジラ州にあるゲジラスキームの面積は約 88 万 ha）。また、一般的に 7～9 月に降雨が集中するため、そうした降雨が灌漑水の不足を補う役目を果たしている（時には豪雨がイネの冠水をもたらすほどである）。よって、降雨量の少なさは、陸稲栽培における決定的な制限要因にはなっていないが、だからこそ、適切な灌漑がきわめて重要となる。

## ③アルカリ土壌

栽培技術面を除き、生育不良圃場のほとんどは、土壌のアルカリ性に根本原因があると考えられる。アルカリ土壌では、鉄や亜鉛などイネに必要な微量元素が吸収できない形に変化し利用できないため、障害が発生する。鉄や亜鉛欠乏などの症状が見られるデモ圃場で微量元素の葉面散布を試みたが、効果があった圃場、無かった圃場、結果にはムラがあった。その理由の解明は必要であるが、効果があった圃場にせよ、恒久的なものではなく、一時的なものであるため、アルカリ土壌に係る障害が見られる圃場では、困難が伴うが、やはり根本的な対策が求められる。一方、同じアルカリ土壌でありながら、一定の収量を上げることができた圃場もある。鶏糞などの有機質肥料の散布は、土壌の化学的・物理的性質を改善し、アルカリ土壌においてイネを栽培するうえで、効果的かつ有効な方法であることは、圃場試験の項目でも述べ、また実

際に有機質肥料が散布された圃場からも明らかである。しかしながら、そうした対応を図らなかった圃場においても一定の収量が得られているのは、何よりイネの優れた環境適応性の賜物といわざるを得ない。

## ④適応性の「特徴」と栽培技術

総じていえることは、良く実った圃場があると同時に収量が芳しくない圃場があるのは、当然ながら、既述した重要な各作業が適期・適切に実施されていないことが大きな原因であることは確かである。しかし、イネの収量は、様々な環境条件下における各々の技術の「統合」結果であると考え、仮に適切な栽培管理が行われ、ある程度の収量を得ている圃場があったとしても、日々圃場を訪問している人間が思うのは、かなり微妙なバランスのうえで成り立っている結果ではないかという点である。これは、スーダンにおける陸稲栽培の可能性を示す一方、そのデリケートさを示していると考えられる。収量の良かった圃場が、翌年は豪雨の影響などで、鉄過剰をはじめとした生育不良を引き起こし、簡単に収量が激減するなど、イネは優れた適応性を持つものの、それはかなり繊細なものであることが想定される。こうしたイネの持つ適応性の「特徴」を十分理解し、バランスを崩すことなく、成果を挙げるには、適切な栽培技術を開発し、それを導入することで、イネがバランスを保って生育できるようサポートすることが肝要と考える。

## おわりに

プロジェクトが経験してきたイネの優れた環境適応性（適応能力）について述べてきた。土壌酸性度でいえば、弱酸性（pH 5.0～6.5）を好み、アルカリ性では育ち難いイネである

が、スーダンでは多くの土壌が8～8.5以上、灌漑水までも8を超えている圃場がほとんどである。土壌のアルカリ性はイネによる微量元素の吸収を阻害し、生育を妨げる。塩類集積をはじめ、その他にも未だ特定できない原因による生育不良圃場も多々経験してきた。しかし一方で、栽培の基本や圃場環境は同じでも、高温で少雨、しかもアルカリ土壌という過酷なスーダンの地において、多くの籾を実らせる圃場も経験してきた。既述したように、均平や雑草防除、水管理といったポイントをおさえた適切な栽培は収量獲得にとって必須である。限られた期間の中での栽培技術の改良については、我々のできることには一定の限度があるが、豊かなイネの環境適応性に甘んじることなく、それを生かし、未解決な技術的課題を解明し、農家により多くの適切な技術を提供し、共に活動していくことで、

更なる陸稲普及に励んでいく所存である。

最後に、プロジェクト活動を通じ、スーダンという現地でイネの優れた環境適応性に直接触れ、経験できる機会を与えて下さったJICA 農村開発部、スーダン事務所およびスーダン国の稲作関係者の方々にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) JICA, スーダン共和国 東部・農業支援協力プログラム準備調査報告書(第1次調査)。
- 2) JICA, スーダン共和国 東部・農業支援協力プログラム準備調査報告書(第2次調査)。

(\* 株式会社 VSOC、\*\* 株式会社 VSOC 技術士(農業部門) \*\*\* 株式会社シー・ディー・シー・インターナショナル \*\*\*\* 株式会社 VSOC 代表取締役社長)



## 林業と土壌保全に注目した JICA の協力事例

増古恵都子\*・後藤有右\*\*

### はじめに

開発途上国の農村の主要な生産活動である農業や林業を支える基盤として「土壌」は重要である。一般に、農林業には「土壌」のみならず、降水量、利用可能な灌漑水量、気温、栽培品種、栽培技術、投入資材、マーケティング、農業経営、政府の普及体制など、様々な要素が必要であるが、場所によっては土壌が生産活動の大きな制限要因となる場合がある。本稿では、そのような土壌に課題がある地域における林業と土壌保全に注目した JICA の協力事例を紹介した上で、土壌の観点から今後の国際協力のあり方を考察する。

### 1. ベトナム南部の酸性硫酸塩土壌への協力 まず、ベトナム南部での酸性硫酸塩土壌に

---

MASUKO Etsuko and GOTO Yusuke: JICA's Cooperation Focusing on Forestry and Soil Conservation.

<sup>1</sup> マングローブ下では海水中に含まれる  $\text{SO}_4^{2-}$  が嫌気的条件下で還元され、S の酸化数が +6 から -2 に変化する。これが  $\text{Fe}^{2+}$  と反応して硫化鉄 ( $\text{FeS}$ ) になる。さらに  $\text{SO}_4^{2-}$  が還元される際の副産物である元素状硫黄 S と  $\text{FeS}$  が反応してパイライト  $\text{FeS}_2$  が生成する。この過程で生成したパイライトを蓄積した堆積物が陸化し、脱水・熟成過程に入ると酸素により  $\text{FeS}_2$  が酸化して多量の水素イオン ( $\text{H}^+$ ) が生成し、強酸性を示す土壌となる (久馬一剛編熱帯土壌学<sup>1)</sup> より)。

<sup>2</sup> フトモモ科メラルーカ属の *Meraleuca cajuputi*.

対する協力を紹介する。東南アジアには、マングローブ下の堆積物に由来するパイライト ( $\text{FeS}_2$ ) が存在するために強酸性を示す酸性硫酸塩土壌<sup>1</sup>がベトナム、タイ、インドネシア、マレーシアの大陸部と島嶼部の双方に広がっている。

### 1) ロンアン省への協力 (1997～2007年)

ベトナム南部に形成されたメコンデルタのうち、約半分の 200 万 ha は酸性が強く、各種養分が乏しい酸性硫酸塩土壌地帯であり、そのため有効活用されていない荒廃草原がこの地帯に広がっていた。また、人口の急激な増加もあり、メコンデルタにおける酸性硫酸塩土壌の有効利用はベトナム南部地方の最優先課題の1つであった。この酸性硫酸塩土壌地域において、土壌改良とともに、もともとこの地域の酸性土壌に強く、周辺農民に薪・建築資材として広く利用されてきた樹種であるメラルーカ<sup>2</sup>による造林と農業を組み合わせた有効活用の方法を開発するために、ホーチミン市の西側に位置するロンアン省において、1997年から5年間、プロジェクトを実施した。プロジェクトの概要は以下のとおりである。

プロジェクト名：メコンデルタ酸性硫酸塩土壌造林技術開発計画

プロジェクト目標：ロンアン省ティンホア地区の酸性硫酸塩土壌地帯での実用的な造林技術が開発される。

成果：

- ①酸性硫酸塩土壌を改良するための適切な技術が開発される。
- ②酸性硫酸塩土壌に適切な樹種が選定される。
- ③適切な育苗、保育技術が開発される。
- ④有害物質の洗脱による地域環境への影響を緩和する方法が提言される。
- ⑤環境に配慮した造林技術ガイドラインが整備される。
- ⑥酸性硫酸塩土壌における造林技術の展示林が設置される。

カウンターパート機関：農業農村開発省、森林科学研究所南部支所（FSSIV）

当初3年間とその後のフォローアップ期間を加えた計5年間の協力によって、土壌改良技術開発（盛土による土壌改良技術の開発、適切に地拵え手法の開発、各樹種の生育できる土壌酸性度の限界値の把握）、有用樹種選定（*Melaleuca cajuputi* に加えて *Melaleuca leucadendra*、*Eucalyptus camaldulensis*）、苗木生産にかかる技術の改善などが行われ、造林技術ガイドラインとしてその成果がまとめられた。

このプロジェクトの後、2002年から青年海外協力隊が派遣され、プロジェクトで作成したガイドラインの普及支援が行われた。青年海外協力隊員西山氏の報告<sup>2)</sup>がこのプロジェクトで開発された造林技術をわかりやすく解説しているため以下に引用する。

「メコンデルタの農民達は稲作に加えて、盛土を造成し、ヤム芋や野菜、果樹類を栽培しています。盛土は洪水による冠水を避け、側溝は乾季の灌漑水の補給に役立ちますが、さらに土壌中の有害物質を側溝に洗脱するためにも好条件を創り出します。酸性硫酸塩土壌の改良には、石灰施用による中和、牧草播種、施肥などの方法も試されましたが、側溝を掘り帯状に盛土して、雨と洪水によって酸性物質を洗脱する盛土処理が最適だと判断され、この技術が植林に応用されました。(中略)盛土によってできた無数の水路は、小船で苗を運搬するのにも役に立っています。盛土は幅約4m、長さは50m、長いもので100～200mと様々です。基本的に4列の植栽列に、1.5mごとに苗木を植えていきます。」



写真1 現在も続ける苗木生産  
(FSSIV、2014年6月)



写真2 1999年に植林したメラルーカ  
(FSSIV展示林、2014年6月)



写真3 メラルーカなどの木材を船で工場に運ぶ様子（ロンアン省、2014年6月）

西山氏の同報告では、2002年当時、大規模なメラルーカ植林が将来の供給過剰をもたらす可能性を指摘し、当時主流だったメラルーカの建設資材としての利用のみならず、その他の用途への活用可能性を指摘している。そして西山氏の後、2代目の青年海外協力隊員が2007年まで派遣され、メラルーカ材の用途開発を支援した。

## 2) ロンアン省の現在（2014年）

ロンアン省への協力を終了して7年後となる2014年6月に筆者（増古）は現地を訪問した。プロジェクトと青年海外協力隊の派遣の終了後もカウンターパート機関であったFSSIVはメラルーカの試験栽培を続けており、2011年からは日系企業との共同研究を進行中であった。ロンアン省には2010年に設立された日系企業の工場があり、高品質なパーティクルボードを製造しているが、その原料にメコンデルタのメラルーカも使用されているとのことであった。この工場が生産するパーティクルボードは日本の主要家具メーカーのベトナム工場でも使われているということで、私たちの身近な家具にも、ベトナムのメコンデルタのメラルーカが使用されているか

もしれない。酸性硫酸塩土壌という課題がある土地において、JICAのプロジェクト、青年海外協力隊員による技術支援を契機に、その後、現地に住む住民、ベトナム政府、さらには民間企業の力により、この土地が有効活用されている姿を見ることができて嬉しかった。

## 3) カマウ省への協力（2004～2007年）

さらに、ベトナムのメコンデルタ最南端に位置するカマウ省における協力を紹介する。カマウ省では、2002年3月に大規模な森林火災が発生し、4000ha以上の森林が消失した。このカマウ省の土壌は、酸性硫酸塩土壌であることに加えて、泥炭を含む土壌であったために、火災により泥炭が燃焼して粘土質土壌となり、扱いづらい状況となっていた。カマウ省とFSSIVが同省のウミンハ地区における植林において、ロンアン省の「メコンデルタ酸性硫酸塩土壌造林技術開発計画」プロジェクトの造林技術を活用して、森林火災跡地の造林を実施したが、開発された技術のカマウ省での適用範囲は限定的だった。これは通常の酸性硫酸塩土壌とは異なる火災跡地の土壌条件や、植林の実施主体や地域住民の経験不足などによるものであったという。これを踏まえて技術協力の要請があり、2004年から3年間のプロジェクトを実施した。本プロジェクトでは、ロンアン省でのプロジェクトの成果を活用して新たなモデルを開発し、人材育成を行い、40世帯のデモンストラーションファームに対して、農民レベルへの普及を行った。プロジェクトの概要は以下のとおりである。

プロジェクト名：森林火災跡地復旧計画

プロジェクト目標：カマウ省ウミンハ地区の森林火災跡地復旧計画に必要な再造林技術

が確立され、同技術の普及が促進される。

**成果：**

- ①対象地の再造林事業における技術的適正度が向上する。
- ②復旧事業関係者のメラルーカ材の市場調査と利用加工に関する知識・技能が向上する。
- ③同地区の火災予防体制が強化される。
- ④地域住民の生計向上のための研修を実施する。

**カウンターパート機関：**農業農村開発省、森林科学研究所南部支所（FSSIV）、林業水産公社、カマウ省人民委員会およびカマウ省農業農村開発局

**日本側実施団体：**（社）海外林業コンサルタンツ協会と（財）国際緑化推進センターの共同企業体

**4) カマウ省の現在（2014年）**

カマウ省でのプロジェクト終了から7年後の2014年にプロジェクトの事後評価が実施され、その後の状況が明らかになった。とくにプ

ロジェクトで開発した造林技術（エンバンクメント<sup>3</sup>によるメラルーカ植林）の普及状況と農家の収入という点に着目して紹介する。

まず、カマウ省内における技術の普及状況については、事後評価によると、表1のとおりエンバンクメントによるメラルーカ植林の面積が拡大していることが明らかになった。2004年から2007年に林業水産公社（当時）が商業銀行の融資を受けて植林を実施し、さらに農民に対しては銀行からの融資を原資に再貸付を行ってエンバンクメントによるメラルーカ植林を支援したという。2007年には5公社が1社に統合されウミンハ森林会社となったが、その後もこの技術普及を続け、2013年には4229haまで拡大した。

次に、プロジェクトで直接支援をしたデモ農家のその後の状況である。プロジェクトで直接支援をしたデモ農家40世帯のうち、プロジェクトで植栽されたエンバンクメントによるメラルーカ林は2013年に11世帯で伐採され、平均1億1960万ドン<sup>4</sup>/世帯（伐期は平均8年で年平均世帯収入は1490万ドン）の収入になった。他方、周辺の一般農家におけるエンバンクメントのないメラルーカの伐採は、2013年において4世帯で平均1200万ドン/世帯（伐期は平均10.3年で年平均収入は120万ドン）の収入があった。以上のことから、エンバンクメントによる植林の導入は住民の大幅な収入増加につながっていることがわかった。エンバンクメントの造成には初期費用がかかるが、それを考慮してha当たりで計算しても、エンバンクメントありの植林の方が1年当たりの収入が高くなる<sup>5</sup>。よって、農民が銀行からの融資などを活用して、初期投資のエンバンクメント造成資金に多くアクセスできることが、この技術の普及

**表1 エンバンクメントによるメラルーカ植林面積（単位：ha）**

年	森林会社直営	他の企業との契約	農民との契約	合計
2007	727*	0	1,695*	2,422
2013	1,648	847	1,734	4,229

出典：ウミンハ森林会社（JICA 事後評価報告書<sup>3</sup>）より  
注：\* 推定値

<sup>3</sup>列状に土を盛って地拵えする方法。  
<sup>4</sup>10万ドン＝約553円（2015年5月現在）。  
<sup>5</sup>エンバンクメントありの植林の場合1年当たりの収入は450万ドン/ha（1年目の植林コスト1400万ドン/ha、収穫8年、収入5000万ドン/haで計算）、エンバンクメントなしの植林の場合1年当たりの収入は250万ドン/ha（1年目の植林コスト750万ドン/ha、収穫13年、収入は4000万ドン/haで計算）。詳細はJICA 事業評価報告書<sup>3</sup>。

にとって重要であると感じた。

しかし、一方で技術の普及には課題もある。2011年よりカマウ省ウミンハ森林会社に派遣された青年海外協力隊員清水氏の報告<sup>4)</sup>では、2012年5月にJICA 専門家<sup>6)</sup>が行ったデモ農家、非デモ農家の家計調査の比較が記載されている。プロジェクトではデモ農家に対してメラルーカ植林に加えて農業生産面での支援を行ったが、デモ農家においてはコメ、果樹栽培、淡水魚養殖等、農産物の収量の増加と多様化が図られ、非デモ農家に比べて倍以上の所得となっていることが報告されている。これは、デモ農家にプロジェクトの効果が表れていると同時に、周辺の非デモ農家にまでプロジェクトの成果が波及していないということでもある。JICA の同様の支援において、技術の開発や支援対象農家における効果のみならず、その技術や手法の将来的な面的普及を重視した先方政府の普及体制の強化を行う必要性を改めて認識した。

## 2. セネガルの劣化土壌対策への協力

次に、西アフリカのセネガルで現在実施中の技術協力プロジェクトを紹介する。

セネガルでは、北部と南部では気象状況が大きく異なる。プロジェクト対象地域であるファティック州およびカオラック州が位置する中央部では降水量が400～700mmであり、北部のサヘル地域に比べてやや湿潤な条件下にある。対象地域の土壌状況は次のように大きく分けられる。シンおよびサルーム川河口は、水成・塩性土壌から成っている。サルーム川周辺では、塩性土壌と部分的にパイライトに起因する「タン」と呼ばれる酸性土壌が

見られる。サルーム川の沿岸南部の一部と北部の大部分を占める地帯では表層土は砂質で土層も比較的厚いが、風食の影響を受けやすく、土壌肥沃度も低下している。サルーム川南部平原の内陸部では下層に赤味が強い熱帯鉄質土壌（ラテライト）が広がり、ガリ侵食など水食による土地の劣化が進んでいる。この一帯では1970年初頭からの干ばつ以降、土壌の塩類化が顕著になっているほか、人口増加、不法伐採、過剰な単一栽培や過放牧などの人的要因により、土壌の劣化が進行している。その結果、耕作地や林地の減少、穀物等収獲量の減少が続いており、村落住民の生活に多大なる影響を及ぼしている。同地域ではこれまで数々の土壌劣化対策プロジェクト等が実施されてきた。しかしながら、それらの活動や技術は各々の場所で独自に実施されるに留まり、村落での活動もプロジェクト終了とともに停滞することが多く、成果が他村落へ容易に波及しないことが課題となっている。そのため、当該地域の森林官と地域住民の土地劣化抑制・有効利用促進のための能力向上を目的として、2011年3月から5年間の予定でプロジェクトを開始した。プロジェクトの概要は以下のとおりである。

**プロジェクト名：**劣化土壌地域における土地劣化抑制・有効利用促進のための能力強化プロジェクト

**プロジェクト目標：**土地劣化抑制・有効利用促進のために必要な関係者の能力が向上する。

**成果：**

- ①土地劣化抑制・有効利用促進対策を行う優先地域が明らかになる。
- ②土地劣化抑制・有効利用促進のために必要な技術が改良・開発される。

<sup>6)</sup>JICA 個別専門家カマウ省地域開発アドバイザー。

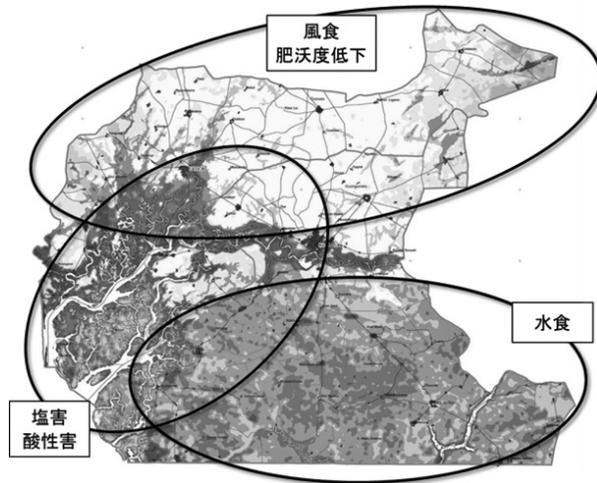


図1 対象地域における主な土壤劣化分布状況

出典：劣化土壌地域における土地劣化抑制・有効利用促進のための能力強化プロジェクト第1年次完了報告書(2012)<sup>10)</sup>を改編

③パイロットプロジェクトの実施を通じ、土地劣化抑制・有効利用促進に有効な技術・対策が明らかになる。

④優先地域において、住民啓発と土地劣化抑制・有効利用促進対策を普及するための体制が準備される。

カウンターパート機関：環境・持続的開発省、水・森林・狩猟および土壌保全局

日本側実施団体：(株)アースアンドヒューマンコーポレーション

### 1) 対象地域の土壌と営農の特徴

セネガルの土壌図は1985年に米国国際開発庁(USAID)とセネガル国立土壌研究所(INP)によりまとめられ、さらに2008年にFAOの乾燥地域における土地劣化評価プロジェクト(LADA)により土壌データベース(SOTER)<sup>7)</sup>としてGISに整備されている。

<sup>7)</sup> <http://www.isric.org/projects/soter-senegal-and-gambia> (アクセス日：2015年4月20日)

対象地域では、ラッカセイ栽培が盛んである。セネガルにおける輸出産業として植民地時代に定着し、1960年にはセネガルの輸出総額の80%、GDPの7%を占める重要な産業となった。同年の独立に伴い、国が経済開発の中心においた輸出向け作物でもある<sup>11)</sup>。ラッカセイ盆地と呼ばれる一帯は、セネガル独立後の創成期を支えてきたといえるが、同時にラッカセイの大規模栽培のために多くの森林が切り開かれた。その後、土壌保全のための適切な措置が十分に施されなかったことが地域の土壌劣化に拍車をかけた一因と考えられる。

### 2) 協力の方向性

プロジェクトでは土壌劣化対策技術の開発改良に係るパイロット活動を実施し、その成果を技術マニュアルとしてまとめる作業を実施中である。図1に示したように、土壌の劣化現象を大きく水食、風食、塩害/酸性害、および土壌肥沃度低下の4つに分け、住民が持続的に実施し得る技術に係る実証試験を行

っている。ただし、実証技術の選定においては多くの投入や高い専門性が求められる先進的な技術の採用を極力控え、西アフリカにおいて伝統的に行われている比較的簡便かつ低投入の技術改良に焦点を当てている。また、住民のプロジェクト参加へのモチベーションを高めることを目的として収入創出活動も併せて採用している。主なパイロットサイト活動内容は表2のとおりである。

これらの技術は他のプロジェクトにおいて

表2 主なパイロットサイト活動

対策名称	活動項目案
水食対策	杵堰・石列等の土木的手法による侵食防止 水食防止型栽培技術改善
	防風林の設置
風食対策	インタークロップ（混植） 改良休閑帯設置
	改良型堆肥製造法 アグロフォレストリー
塩害対策 ・土壌肥 沃度向上	天然更新促進
	耐塩生樹種の植林
	耕種法改善による土壌劣化防止・肥沃度向上
	エコサントイレ普及
収入創出 活動	収入が期待できる樹種の植林および植栽 野菜栽培



写真4 堆肥を用いた試験栽培風景

すでに導入されたものも少なくない。上述したように、各技術の適用により土壌劣化抑制効果が認められるにもかかわらず、プロジェクト終了後には技術適用が行われなくなる事例がきわめて多いことから、本プロジェクトでは技術の開発や改良を行う一方で、その技術を如何に広範囲に普及させるか、という点にも十分配慮した活動が行われている。

### 3) 教育ネットワークを活用した普及アプローチ

セネガルには住民への農業技術普及を担う組織として ANCAR(セネガル農村農業公社)が存在する。しかしながら、ANCARでは恒常的に財政的問題を抱えているため、通常はドナーが融資するプロジェクトと活動連携に係る合意文書を交わし、その内容に基づき普及活動を実施している。ただし、合意形成のためには莫大な普及活動予算が必要となるため、実際に連携が可能なのは世界銀行やアフリカ開発銀行などの融資による規模の大きなプロジェクトに限定されることが多い。そのため、本プロジェクトでは ANCAR との連携によらない普及アプローチを採用した。本プロジェクトの普及アプローチは、基本的に3つの柱、すなわち①住民自身の自助努力による土壌劣化対策の実施、②自治体（コミューン）および省庁出先機関による継続的な支援、③教育セクターとの協力と教育ネットワークを通じた情報伝達、から構成される。

公共部門の中では、教育セクターが住民に最も近い距離にまで施設と職員を配置し、さらに参加型の学校運営委員会（CGE）を通じて保護者や地域住民との日常的なコミュニケーションが可能なチャンネルを有している。さらに、自治体の最小単位であるコミューンのレベルに設置された CGE 連合が仲介することで、州全体に州、県、自治体（コミュ

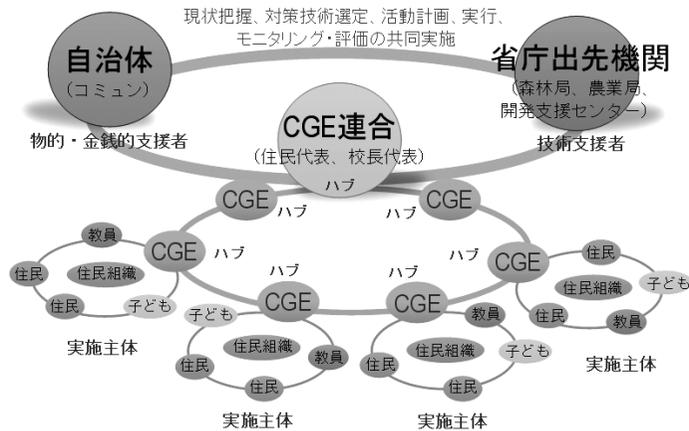


図2 教育ネットワークを活用した普及体制図

出典：劣化土壌地域における土地劣化抑制・有効利用促進のための能力強化プロジェクト第4年次完了報告書(2014)<sup>12)</sup>

ン)、各村落を繋ぐ網羅的なネットワークを形成している。このネットワークを活用することで、土壌劣化対策に関する知識と情報を効率的に広範囲の住民に伝達して行動を促すことが可能となる。このことは、カリキュラムの一環として教師によって実施される「持続的な開発のための教育 (ESD)」の学習内容に具体的な材料を与え、土壌劣化対策に関する将来の担い手の育成に同時に貢献することにも繋がる。本アプローチによる普及体制を図2に示した。

土壌劣化対策活動の実施主体は、各村落の個々の住民や住民組織である。彼らの取り組みに対してコミュンと省庁出先機関の技術者(森林官、農業技官、開発支援員)などが物理的、技術的に支援する体制が求められるが、行政と個々の住民や住民組織を直接につなぐコミュニケーションのチャンネルは脆弱で、人員配置の面からも制限が大きい。そこで、既

存の教育ネットワークを活用し、全てのアクターが有機的な繋がりを持つ体制を構築する。

教育ネットワークにおいては、CGE 連合(住民代表、校長代表)が仲介し、自治体と省庁出先機関、各学校が繋がりを持っている。およそ四半期に1度開催されるCGE 連合総会の場を利用して情報共有と意思決定、モニタリングが行われ、機能が維持される。各CGE 連合は、自転車の車輪のような「ハブ & スポークス」の関係で域内の各学校のCGE と繋がっており、さらに各CGE は1階層下のハブとしてその先の住民や教員、児童らと繋がっている。このように、自治体レベルでの土壌劣化対策普及に不可欠な全てのアクターが2層の有機的な繋がりを有した体制を構築している。なお、JICAによる教育プロジェクト<sup>8)</sup>が現在上述の教育ネットワーク強化のための技術支援を実施中であり、本プロジェクトでは、上記の教育プロジェクトと連携を図りつつ、教育ネットワークを活用した成果普及体制を確立すべく、現在活動を展開中である。

<sup>8)</sup>JICA 技術協力プロジェクト「教育環境改善プロジェクトフェーズ2 (PAES-2)」

### 3. まとめ

#### 1) 協力事例の総括

以上紹介した協力において共通する点は、生産活動の制限要因となっている「土壌」に対して、その改善を行う技術支援をきっかけとしつつも、それ以外の要素が非常に重要であるということである。ベトナムのケースであれば、メラルーカの用途拡大、マーケティング、土地造成の初期費用へのアクセス、技術普及体制の整備などである。セネガルのケースであれば、住民に受け入れられる簡便かつ安価な技術の選定、地域関係者の巻き込み、および現地ネットワークの有効活用による技術普及体制の整備である。土壌に注目しつつも、その他の要素を含めて総合的に協力していく必要性を改めて認識した。

また、ベトナムのケースは元々の土壌の性質に由来する問題に対する協力、セネガルのケースは元々の土壌の性質に加えて耕作などの人為的影響による問題に対する協力といえる。今後は、これらに加えて、気候変動による影響や気候変動への対応といった視点を、土壌に注目した協力においても追加する必要があると考えている。最新のIPCC第5次評価報告書では、地球規模での気候変動がますます進行することが指摘されている。

#### 2) 今後の支援における気候変動対策の視点

今後、「土壌」の観点から国際協力で重視すべき気候変動対策の視点について考察した

い。土壌に注目した場合も、気候変動への「適応」、「緩和」という2つの側面から考える必要がある。

気候変動への「適応」について、西アフリカのサヘル地域のように土壌肥沃度が著しく低く、降水量も少なく、生産環境がきわめて脆弱な熱帯半乾燥地においては、気候変動により農業生産がこれまで以上に悪化することが懸念される。田中氏らの報告<sup>5)</sup>によると、ニジェール西部のサヘル地域において、休閑により土壌肥沃度を回復していた在来のシステムが破たんし、土壌肥沃度の低下、土壌侵食、それによる作物の収量減が起きているという。同氏らは、この状況に注目し、耕地内の休閑帯の設置による肥沃度回復のシステムを開発・実証し、普及<sup>9)</sup>している。この取り組みでは、地域住民とともに技術の実証を行い、外部からの大きな投入を必要とせず、地域に無理なく普及できる実践的な技術を開発している。このように、広大な熱帯半乾燥地土壌の肥沃度を持続的な形（地域住民主体かつ外部からの投入不要）で高めることは、気候変動への地域の適応力を強化することになる。今後の国際協力における気候変動への適応策として重要な視点の1つである。

気候変動の「緩和」の観点では、泥炭土壌の保全が重要である。世界中の陸地の3%を占める泥炭土壌は、全世界の土壌有機炭素の20～25%を保持しているという<sup>6)</sup>。泥炭土壌の有機炭素は乾燥によって微生物に分解され、炭素を放出する。従来の大規模な農地開発による乾燥化に加えて、気候変動によって干ばつが深刻になり、炭素放出が進むことも指摘されている<sup>6)</sup>。気候変動の緩和という観点からも、インドネシアにおける「泥炭・森林における火災と炭素管理プロジェクト」<sup>10)</sup>

<sup>9)</sup>JICA 草の根技術協力（パートナー型）「砂漠化地域での生計向上および土地荒廃の抑制を可能とする対処技術の普及」（2010年4月～2013年3月）で同技術を普及。実施団体：地球・人間環境フォーラム。

<sup>10)</sup>JICA-JST 地球規模課題対応国際科学技術協力プロジェクト（SATREPS）として実施（2010年2月～2014年3月）。研究代表機関：北海道大学。

のように、泥炭土壌からの炭素放出の抑制に注目した支援も重要である。

### おわりに

本稿は、林業と土壌保全に着目した JICA の協力を「土壌」の観点から振り返る良い機会となった。国際土壌年の目的の 1 つに「食料安全保障、気候変動への適応と緩和、生態系サービス、貧困削減および持続的開発に土壌が寄与していることを啓発する」とある。地球規模での気候変動を見据えつつ、各地域で生態系や人々の生活の基盤を支える「土壌」の状況を慎重に見極めて、適切な技術や手法を選択し、土壌以外の側面も重視しながら、地域住民や相手国政府とともに協力を進めていく必要性を改めて認識したい。

### 引用・参考文献

- 1) 久馬一剛編 2001, 熱帯土壌学, 名古屋大学出版会, pp.203-205.
- 2) 西山昌宏 2003, ベトナム・メコンデルタ酸性硫酸塩土壌における植林, 林木育種センター海外林木育種技術情報, 12 (2):1-5, p.4.
- 3) 国際協力機構, 外部評価者 OPMAC 株式会社山本渉 2014, 2013 年度事後評価報告書「森林火災跡地復旧計画プロジェクト」, pp.1-27, p.6,15,17.
- 4) 清水文明 2013, エンバンクメント工法によるメラルーカ (*Melaleuca cajuputi*) 植林について～ベトナム国カマウ省森林火災跡地復旧計画プロジェクトの成果～, 海外の森林と林業, 87: 31-35, pp.33-34.
- 5) 田中樹・伊ヶ崎健太・清水貴夫・真常仁志・飛田哲 2014, アフリカ半乾燥地での砂漠化への認識と実効ある対処技術の形成, 沙漠研究, 24 (3): 349-353, pp.349-352.
- 6) Ottmar Edenhofer ら 2014, IPCC 第 5 次評価報告書第 3 作業部会報告書「Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change」, ケンブリッジ大学出版, p.845.
- 7) 国際協力事業団 1997, ヴェトナム「メコンデルタ酸性硫酸塩土壌造林技術開発計画」実施協議調査団報告書.
- 8) 国際協力事業団森林・自然環境協力部 2000, ヴェトナム社会主義共和国「メコンデルタ酸性硫酸塩土壌造林技術開発計画」終了時評価報告書.
- 9) 国際協力機構ベトナム事務所 2006, ベトナム社会主義共和国「森林火災跡地復旧計画プロジェクト」終了時評価報告書.
- 10) アースアンドヒューマンコーポレーション, 国際協力機構 2012, 劣化土壌地域における土地劣化抑制・有効利用促進のための能力強化プロジェクト第 1 年次完了報告書.
- 11) 国際農林業協働協会 2013, セネガルの農林業－現状と開発の課題－ 2013 年版 (海外農業開発調査研究国別研究シリーズ 81) .
- 12) アースアンドヒューマンコーポレーション, 国際協力機構 2014, 劣化土壌地域における土地劣化抑制・有効利用促進のための能力強化プロジェクト第 4 年次完了報告書.
- 13) IPCC 第 5 次評価報告書統合報告書 (政策決定者向け要約) .
- 14) FAO 2015, International Year of Soils, <http://www.fao.org/soils-2015/about/en/> (アクセス日: 2015 年 4 月 20 日)

(\*JICA 地球環境部森林・自然環境グループ主任調査役、\*\* 株式会社アースアンドヒューマンコーポレーション 取締役、セネガル劣化土壌地域における土地抑制・有効利用促進のための能力強化プロジェクト総括)



# JAICAF 会員制度のご案内

当協会は、開発途上国などに対する農林業協力の効果的な推進に役立てるため、海外農林業協力に関する資料・情報収集、調査・研究および関係機関への協力・支援等を行う機関です。本協会の趣旨にご賛同いただける個人、法人の入会をお待ちしております。

1. 会員へは、当協会刊行の資料を区分に応じてお送り致します。  
また、本協会所蔵資料の利用等ができます。
2. 会員区分と会費の額は以下の通りです。 (平成 26 年 4 月 1 日現在)

賛助会員の区分	会費の額・1口
正会員	50,000 円/年
法人賛助会員	10,000 円/年
個人賛助会員	10,000 円/年

※ 刊行物の海外発送をご希望の場合は一律 3,000 円増し（年間）となります。

3. サービス内容  
平成 26 年度会員向け配布刊行物（予定）  
『国際農林業協力』（年 4 回）  
『世界の農林水産』（年 4 回）  
その他刊行物（報告書等）（不定期）

ほか、  
JAICAF および FAO 寄託図書館での各種サービス  
シンポジウム・セミナーや会員優先の勉強会開催などのご案内

※ 一部刊行物はインターネットwebサイトに全文または概要を掲載します。  
なお、これらの条件は予告なしに変更になることがあります。

- ◎ 個人で入会を希望される方は、裏面「入会申込書」をご利用下さい。  
Eメールでも受け付けています。  
e-mail : member@jaicaf.or.jp
- ◎ 法人でのご入会の際は上記E-mailアドレスへご連絡下さい。  
折り返し手続をご連絡させていただきます。不明な点も遠慮なくおたずね下さい。

平成 年 月 日

## 個人賛助会員入会申込書

公益社団法人 国際農林業協働協会  
会長 西 牧 隆 壯 殿

住 所 〒

T E L

ふり がな  
氏 名

印

公益社団法人 国際農林業協働協会の個人賛助会員として平成 年より入会  
したいので申し込みます。

個人賛助会員（10,000 円／年）

- (注) 1. 海外発送をご希望の場合は、一律 3,000 円増しとなります。  
2. 銀行振込は次の「公益社団法人 国際農林業協働協会」普通預金口座に  
お願いいたします。  
3. ご入会される時は、必ず本申込書をご提出願います。

みずほ銀行東京営業部	No. 1803822
三井住友銀行東京公務部	No. 5969
郵便振替	00130 — 3 — 740735

## 「国際農林業協力」誌編集委員（五十音順）

- 安 藤 和 哉 （一般社団法人海外林業コンサルタント協会 総務部長）  
池 上 彰 英 （明治大学農学部 教授）  
板 垣 啓四郎 （東京農業大学第三高等学校ならびに同附属中学校 校長）  
勝 俣 誠 （元明治学院大学国際学部 教授）  
狩 野 良 昭 （元独立行政法人国際協力機構農村開発部 課題アドバイザー）  
紙 谷 貢 （元財団法人食料・農業政策研究センター 理事長）  
原 田 幸 治 （一般社団法人海外農業開発コンサルタント協会 企画部長）  
藤 家 梓 （元千葉県農業総合研究センター センター長）

国際農林業協力 Vol. 38 No. 1 通巻第 178 号

発行月日 平成 27 年 5 月 29 日

発行所 公益社団法人 国際農林業協働協会

発行責任者 専務理事 三野耕治

編集責任者 業務グループ調査役 小林裕三

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目 10 番 39 号 赤坂KSAビル 3F

TEL (03)5772-7880 FAX (03)5772-7680

ホームページアドレス <http://www.jaicaf.or.jp/>

印刷所 日本印刷株式会社

# International Cooperation of Agriculture and Forestry

Vol. 38, No.1

## Contents

A Consideration on Soil and Human Health.

SUZUKI Masaaki

International Year of Soils 2015 - Healthy Soils are the Basis for Healthy Food Production -  
'International Year of Soils' in Okinawa.

KUBA Mineko

Mechanism of Soil Degradation (Desertification) in Central Ethiopia.

SUZUKI Shinji

Case Studies of Land Degradation in the South of the Sahara Desert and Endeavor  
Against It by JIRCAS.

NAGUMO Fujio

Superior Environment Adaptability of Rice - Through Upland Rice Cultivation Activity in  
Sudan.

GOTO Akio, ANDO Takamasa, MATSUDA Takeshi and NAKAGAKI Osamu

JICA' s Cooperation Focusing on Forestry and Soil Conservation.

MASUKO Etsuko and GOTO Yusuke