

日本土壌肥料学会2015年度京都大会公開シンポジウム

土壌はアフリカを養えるのか



講演要旨集

日本土壌肥料学会2015年度京都大会運営委員会

表紙の写真の解説

- ① ザンビア北部の焼畑におけるシコクビエの栽培 (撮影者：真常仁志)
- ② カメルーン東部のギニアサバンナにおける乾季の火入れ (撮影者：柴田誠)
- ③ ザンビア南部の斜面地におけるトウモロコシの栽培 (撮影者：真常仁志)
- ④ ザンビア北部斜面地におけるキャッサバの栽培 (撮影者：真常仁志)
- ⑤ タンザニア北部の台地におけるバナナ・コーヒー栽培 (撮影者：矢ヶ崎泰海)
- ⑥ ザンビア東部におけるウシを使った耕起 (撮影者：真常仁志)
- ⑦ ニジェール南部の農村で水を運ぶ少女 (撮影者：真常仁志)



シンポジウム「土壌はアフリカを養えるのか」

開催概要

日時 2015年9月11日(金) 13:30～17:30

会場 京都大学吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 1階 益川ホール

主催 日本土壌肥料学会・京都大会運営委員会

共催 総合地球環境学研究所、京都大学大学院地球環境学堂、科学研究費補助金基盤研究(S)
「熱帯アジア・アフリカにおける生産生態資源管理モデルによる気候変動適応型農業の創出」

プログラム

13:30 ご挨拶 日本土壌肥料学会会長・間藤 徹
京都大学大学院農学研究科

13:35 趣旨説明 座長・舟川 晋也 矢内 純太
京都大学大学院地球環境学堂 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

<第1部>

13:40 「アフリカの土壌はアジアとは異なるのか？」 舟川 晋也
京都大学大学院地球環境学堂

14:10 「アフリカにおける農業の位置づけー生業としての農業」 島田 周平
東京外国語大学大学院総合国際学研究院

14:35 「アフリカの水資源と食料生産・貿易ー2050年までの将来シナリオー」 佐藤 正弘
内閣府経済社会総合研究所

15:00-15:10 休憩

<第2部>

15:10 「アフリカにおける作物生産の特色ーサバンナ開発との関連で」 伊藤 治
元国連大学

15:35 「アフリカにおける地域開発支援に関する技術論の課題と展望
ー人々の暮らしと土壌や生態環境との関わりをめぐって」 田中 樹
総合地球環境学研究所

16:00 「アフリカ水田農法の展開による緑の革命の実現」 若月 利之
島根大学名誉教授

16:25-16:35 休憩

<第3部>

16:35 総合討論 コメンテーター・荒木 茂 真常 仁志
京都大学アフリカ地域研究資料センター 京都大学大学院地球環境学堂

17:30 閉会

目次

「アフリカの土壌はアジアとは異なるのか？」.....	3
	舟川 晋也 京都大学地球環境学堂
「アフリカにおける農業の位置づけ－生業としての農業」.....	16
	島田 周平 東京外国語大学
「アフリカの水資源と食料生産・貿易－2050年までの将来シナリオ－」.....	20
	佐藤 正弘 内閣府経済社会総合研究所
「アフリカにおける作物生産の特色－サバンナ開発との関連で」.....	30
	伊藤 治 元国連大学シニア・リサーチ・フェロー
「アフリカにおける地域開発支援に関する技術論の課題と展望－人々の暮らしと土壌や生態環境との関わりをめぐって」.....	36
	田中 樹 総合地球環境学研究所
「アフリカ水田農法の展開による緑の革命の実現」.....	46
	若月 利之 島根大学名誉教授

アフリカの土壌はアジアとは異なるのか？

舟川晋也（京都大学）

米国農務省によって描かれた世界土壌図を少し遠目から眺めてみると、東南アジアの大部分が Ultisols によって占められているのに対し、熱帯アメリカの多くは Oxisols によって占められている。アフリカ大陸熱帯域に関しては、コンゴ盆地を中心に Oxisols が、また東部大地溝帯域を中心に Ultisols が広く分布している。さらにアフリカ大陸中西部では、南岸よりサヘル地域へ向かい、Oxisols, Ultisols, Alfisols, Entisols と主要土壌が遷移していく様を見ることができる。本稿では、1) 土壌の基本的な性質を、特に主要粘土鉱物の分布状況やそこから推定される鉱物風化過程に基づいて明らかにすること、2) 自然生態系における物質動態を、1) で論じた鉱物分布と連動させて理解すること、3) これら所与の条件に対し、従来の低投入型農耕がどのように対応（適応）してきたか明らかにすることを通して、熱帯アジア、熱帯アフリカにおける土壌生態系の類似性、異質性を明確にすることを目的とする。なお Soil Taxonomy における Soil order は、冒頭に述べたような土壌分布の傾向を俯瞰するためにはわかりやすいのであるが、この後の議論では、第一階層の分類がもう少し細かい世界土壌照合基準（WRB）を用いて考察する。

1. インドネシア・カリマンタン島における鉱物風化：母材因子と気候因子の重要性

カリマンタン島は、一部を除き比較的傾斜地が多く、母材は変異に富み、また気温・降水量がともに高く速やかな鉱物風化の進行が期待されるため、熱帯地域における比較的初期段階の鉱物風化プロセスを追跡するのによい条件が整っている。

本研究では、インドネシアのカリマンタン島において、多様な地質（砂岩、泥岩、花崗岩、安山岩等）・気候（標高 50~1900 m）条件のもとで生成した土壌 60 点より次表層土を採取し実験に供した。まず地質によるサンプルの特性付けを行うため、全元素組成について主成分分析、クラスター分析を行った。結晶性二次鉱物の同定および定量を X 線回折分析により、また非晶質 Al, Fe の定量を酸性シュウ酸塩抽出により行った。さらに二次鉱物の安定性を評価するため、土壌溶液組成（土液比 1:2, 1 週間静置後抽出）を調べた。

全元素組成を用いた主成分分析により得られた得点を用いクラスター分析を行ったところ、60 サンプルは 3 群に分けられた。この 3 群は主成分分析により、鉄質な特徴を示す“Fe グループ”、ケイ素質な特徴を示し K, Mg が多い“K・Mg グループ”、ケイ素質な特徴を示すが、風化によって K, Mg が失われている“Si グループ”と解釈できた。X 線回折分析の結果、Fe グループでは風化後期のカオリナイト、ギブサイトが多く、K・Mg グループでは風化初期の雲母、パーミキュライトが多いという特徴がみられた。また Si グループでは上記両グループの鉱物全てがみられた（図 1）。Fe グループでは溶液中の Si 濃度が低く、K・Mg グループでは高かった。以上より、Fe グループでは脱 Si が進んでおり風化後期の鉱物が多く、K・Mg グループでは脱 Si が進んでおらず風化初期の鉱物が多く見られたと考えられる。

Fe グループ、K・Mg グループでは気候条件による鉱物組成の変化が見られなかった。一方 Si グループでは風化後期に生成するカオリナイトは気温と正の相関を、風化初期に生成する非晶質 Al, Fe とパーミキュライトは気温と負の相関を示した。これは、高温条件下で鉱物風化が進みやすいことを示している (図 2)。しかしながら、風化の最終産物とされるギブサイトは、より気温の低い地域のサンプル (< 23 °C) で多く見られ、その溶液の Si 濃度は低かった。気温の低い地域の年間余剰降水量 (降水量から可能蒸発散量を差し引いた値) は気温の高い地域より有意に大きかったことから、溶脱により土壤溶液の Si 濃度が低く保たれギブサイトが安定であることが理由であると考えられる。

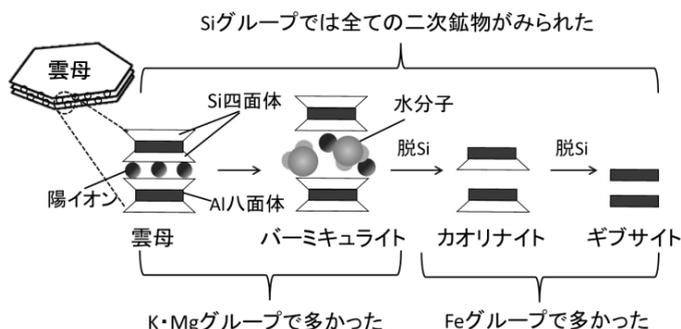


図 1. 結晶性二次鉱物の風化とグループごとの鉱物組成

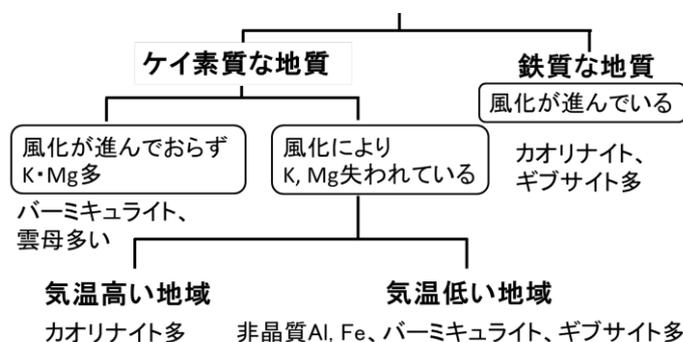


図 2. 鉱物組成と生成条件

以上の知見・考察について、土壤生成因子の側からは、以下のようにまとめることができる。すなわち、熱帯気候下の風化初期段階において、

- 1) 母材因子に関しては、地質条件 (土壤母材が珪長質か苦鉄質か?) により、以降の鉱物風化過程は大きく異なる。
- 2) 苦鉄質な母材から生成した土壤では、早い段階でカオリナイト、ギブサイトが卓越する。
- 3) ケイ素に富む母材から生成する土壤では、気温あるいはこれと連動した水分環境が鉱物組成に大きく影響する。

なお本節の内容は、Watanabe et al (2013)において公表されたものを、本論に合わせて改変したものである。

2. 湿潤アジア広域における鉱物風化：気候因子 (moisture regime) の重要性

次に、比較的珪長質の火成岩あるいは堆積岩の分布域が広い湿潤アジア広域における粘土鉱物分布、生成過程における気候因子の影響を把握するために、インドネシア低標高帯 (以下 IDL)、同高標高帯 (IDH)、タイ低標高帯 (THL)、同高標高帯 (THH)、日本の暖温帯域 (JPS)、同冷温帯域 (JPN) より全 186 点の洗脱型土壤次表層土を採取し解析した。採取した土壤について、粒径分布、粘土鉱物組成、pH(H₂O)、交換性陽イオン、陽イオン交換

容量 (CEC), 全炭素含量, ジチオナイト可溶 Fe・Al 含量を測定した。また粘土あたりの陽イオン交換容量を, 有機炭素含量に基づく補正を行った上で求めた。

調査土壌のほとんどは, pH 6 以下, 塩基飽和度 50% 以下の酸性土壌であった。また細粒質画分である粘土鉱物の組成には, 地域によって一定の傾向が見られた (図 3)。

すなわちいずれの条件下でも比較的カオリン鉱物に富む mafic 試料群を除けば, 年中湿潤な日本およびインドネシアの土壌では膨潤性 2:1 型鉱物 (パーミキュライト, スメクタイトなど) とカオリン鉱物が主要粘土鉱物であり, なかでも熱帯気候下にあるインドネシアの土壌はよりカオリン鉱物に富む傾向にあった。一方乾季の厳しいタイでは, 膨潤性 2:1 型鉱物の割合は小さく, 基本的に雲母鉱物とカオリン鉱物の混合物から成っていた。

このような粘土鉱物組成を反映して, 粘土あたりの陽イオン交換容量は, 日本およびインドネシア土壌では $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 粘土以上となり, 土壌理化学性の点からは WRB 土壌照合基準における Alisols の範囲に入る (実際には山間傾斜地の若い土壌が多く, 粘土集積層が十分形成されていないため, 分類上は Cambisols に入るものが多くなる)。一方タイでは, 特に乾季の厳しいであろう低標高地帯においては, 粘土あたりの陽イオン交換容量が $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 粘土以下である Acrisols の範囲に入る土壌が多い (表 1)。このような鉱物学的特性は, 以下の式で表されるように, 理化学性にも反映される。

$$\text{粘土あたりの陽イオン交換容量} [\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}] = 0.201 \times (\text{粘土画分中の } 1.4 \text{ nm 鉱物の存在比} [\%]) - 25.5, \quad r^2 = 0.24^{**}, n = 186 \quad (\text{式 1})$$

$$\text{粘土あたりの交換性 Al 保持量} [\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}] = 0.52 \times (\text{粘土あたりの陽イオン交換容量} [\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}]) - 3.57, \quad r^2 = 0.48^{**}, n = 96 \text{ (Acrisols, Alisols に適用)} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{土壌 pH} = 5.06 - 0.00803 \times (\text{粘土画分中の } 1.4 \text{ nm 鉱物の割合} [\%]) + 0.00451 \times (\text{遊離鉄含量} [\text{g kg}^{-1}]), \quad r^2 = 0.24^{**}, n = 186 \quad (\text{式 3})$$

各式からも明らかな通り, 当該地域の土壌の理化学性に対しては, 膨潤性 2:1 型粘土鉱物の多寡が重要な影響を及ぼす。すなわち膨潤性 2:1 型粘土鉱物含量が高いと CEC が増加するとともに (式 1), 土壌 pH は低下する傾向にあり (式 3), 交換性 Al 保持量も増加する (式 2)。東南アジア島嶼部の, 特に堆積岩や酸性火成岩から生成した土壌は, WRB 土壌照合基準では Alisols に分類されることが多く, 農業生産に際して, 酸性害がより深刻な問題となる場面が多いと考えられる。

最後に, このような粘土鉱物組成が, どのような風化過程を経てもたらされたか考察す

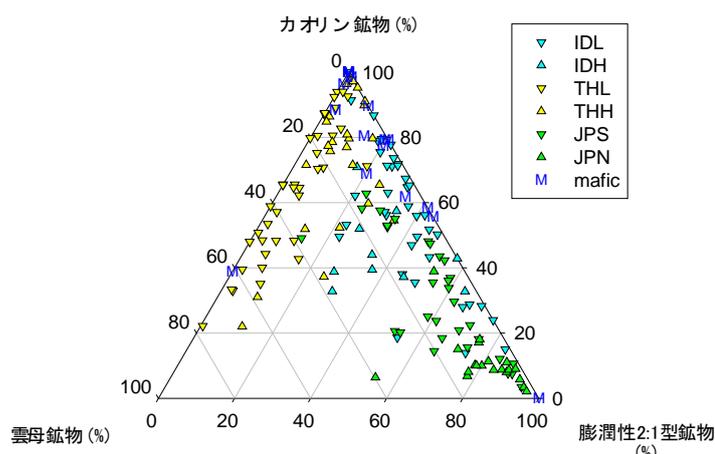


図 3. インドネシア、タイ、日本における土壌の粘土鉱物組成

表 1. WRB (2006)による調査土壌の分類

試料群	試料数	それぞれの参照土壌群 (Reference Soil Group) に分類される試料数						
		Andosols	Podzols	Alisols	Acrisols	Luvisols (または Lixisols)	Cambisols (Dystric) (Eutric)	
IDL	39	0	0	34	2	0	2	1
IDH	10	0	0	5	0	0	5	0
THL	40	0	0	5	20	3 (1)	9	2
THH	24	0	0	6	6	1	9	2
JPS	30	0	0	7	0	0	23	0
JPN	20	4	6	0	0	0	10	0
mafic	23	0	0	7	4	4	5	3
全体	186	4	6	64	32	9	63	8

る。湿潤条件下で膨潤性 2:1 型鉱物の主要な素材となるのは、風化抵抗性の比較的高い二八面体型雲母鉱物（白雲母）であろう。より湿潤な環境下では、活発な生物活動に起因する土壌への酸負荷が大きくなり、雲母鉱物の層間に固定されていたカリウムイオンが溶出され、2:1 型構造の層荷電が露出した膨潤性 2:1 型鉱物が生成されやすい。ここで土壌コロイドの一定負荷電を中和するように保持されるのは、酸性条件では主としてアルミニウムイオンとなる。一方、乾季の存在によって生態系の水利用が制限されるインドシナ半島部の土壌では、土壌への酸負荷がそれほど高くない、あるいは乾季に各種イオン濃度が上昇するため、雲母鉱物は層荷電の露出を経ずにゆっくりと、またその他の易風化性一次鉱物は比較的急速に、このような環境下で安定なカオリン鉱物を生成するものと考えられる。またそもそも風化抵抗性の強い二八面体型雲母鉱物をあまり持たない苦鉄質の火山岩からは、風化初期の高ケイ酸環境下でモンモリロナイト型の膨潤性 2:1 型鉱物が生成されるとともに、比較的速やかにカオリン鉱物への風化が進行するものと見られる。

このように湿潤アジアの洗脱型土壌における粘土鉱物組成は、母材、気候といった生成因子の影響を強く受けるとともに、その結果生成する膨潤性 2:1 型粘土鉱物の多寡が、土壌 pH や陽イオン交換容量など土壌の理化学性を強く規定する。WRB による土壌分類は、このような土壌の理化学性、鉱物学的特性の地域的分布とよく対応しているといえる。

なお本節の内容は、Funakawa et al (2008)を、本稿の論旨に合わせて改変したものである。

3. タンザニアおよびカメルーンにおける土壌粘土鉱物組成および湿潤アジアとの比較

中央・西アフリカと比べて、大地溝帯や火山帯を擁する東アフリカの土壌生成条件は、熱帯アジアと共通したところが多く見られる。ただ熱帯アジアと比べて、降水量分布は低い領域に偏ること、地形的には比較的安定な台地が広く分布する点が大きく異なる。本論では、東アフリカ大地溝帯周辺に位置するタンザニア国の土壌を素材として、その多様な土壌生成条件がいかに土壌分布と対応しているか、検討を行った。

タンザニア土壌の解析

全 96 点の表層土壌をタンザニア国全域の耕地，森林，草地より採取し，土壌の一般理化学性，鉱物学的特性を調べた。分析項目は，pH(H₂O)，pH(KCl)，電気伝導度 (EC)，交換性塩基含量，陽イオン交換容量 (CEC)，全炭素・窒素含量，粒径分布，酸性シュウ酸塩可溶 Fe, Al, Si 含量 (非晶質酸化物・水酸化物)，ジチオナイト可溶 Fe, Al 含量 (結晶性遊離酸化物)，粘土鉱物組成 (XRD による) である。

分析値のうち，粘土鉱物組成以外の項目について主成分分析を行った結果，土壌の理化学性は 5 つの因子 (有機物・非晶質因子，土性因子，酸性因子，リン・カリウム因子，ソーダ質因子) に要約できた。これら 5 因子に，鉱物学的特性として粘土画分中の膨潤性 2:1 型鉱物およびカオリン鉱物の存在割合 (% ; X線回折による半定量分析) を加え土壌指標値とし，土壌生成因子としての降水量および母材条件との関係を調べた結果，以下の点が明らかとなった。

- 1) 有機物・非晶質因子は，火山性母材の分布域 (北部および南部国境周辺) で高い。
- 2) リン・カリウム因子は，有機物・非晶質因子とは独立であるものの，やはり火山性母材地域で高い。
- 3) 膨潤性 2:1 型鉱物 (主にスメクタイト) の相対含有率は，以下の式で表すことができる。

$$1.4\text{-nm 鉱物 } (\%) = 6.38 + 13.4 \times (\text{ソーダ質因子得点}) - 9.78 \times (\text{有機物・非晶質因子得点}) + 3.17 \times (\text{リン・カリウム因子得点}), \quad r^2 = 0.58 (p < 0.01, n = 90) \quad (\text{式 } 4)$$

すなわち活性が比較的高い 1.4 nm 粘土鉱物存在量は，ソーダ質因子により正の寄与を受け，北部ビクトリア湖～中部地溝帯域で高い。

- 4) カオリン鉱物の相対含有率は，以下の式で表すことができる。

$$0.7\text{-nm 鉱物 } (\%) = -56.2 + 19.5 \times \ln(\text{降水量 [mm]}) + 5.92 \times (\text{酸性因子得点}) + 4.82 \times (\text{土性因子得点}) - 11.2 \times (\text{ソーダ質因子得点}) - 7.70 \times (\text{リン・カリウム因子得点}), \quad r^2 = 0.45 (p < 0.01, n = 90) \quad (\text{式 } 5)$$

この式より，鉱物の風化程度を示すカオリン鉱物生成強度は，降水量が大きいほど，また酸性因子が高いほど大きい。一方土性因子，ソーダ質因子，リン・カリウム因子など，母材の影響が推測される因子の影響は副次的なものである。このようなカオリン生成と気候条件のよい対応関係は，本地域の土壌および粘土鉱物組成が，大局的には現在の気候条件を反映して生成してきたことを示唆する。

またタンザニア土壌の粘土鉱物組成を三角図で表現した場合，おそらく大

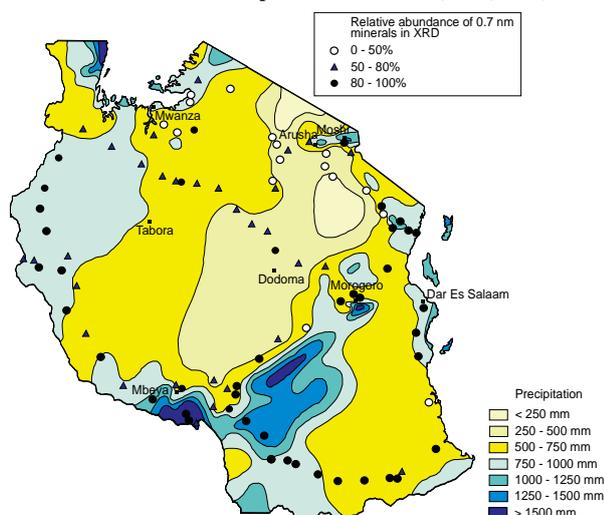


図 4. タンザニアの降水量分布と土壌粘土におけるカオリン含量

地溝帯特有のソーダ質という母材条件を反映したビクトリア湖周辺土壌を除くと、湿潤アジアの中では乾季を持ち膨潤化が進みにくいタイ国土壌の粘土組成と似た組成を示した。このことは湿潤アジアで推定した珪長質母材土壌における粘土鉱物の風化過程が、東アフリカ・タンザニア土壌にも適用できる可能性を示している。一般に傾斜地に富むタイの粘

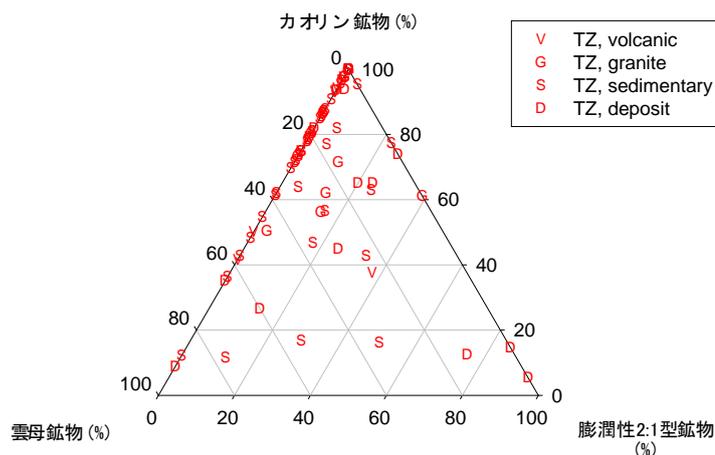


図5. タンザニア土壌の粘土鉱物組成

土鉱物組成と、おおむね平原が広がり土壌生成年代も古いと想定されるタンザニアの粘土鉱物組成が似ているというのは意外な結果であるが、逆に中～弱酸性での鉱物風化過程に比べ、強酸性条件下で進行するバーミキュライト化・カオリン化がいかに速やかなものであるかを示す結果でもあろう。

なお本節は、Funakawa et al (2012)を本論に合わせて改変し、再検討を加えたものである。

カメルーン土壌の解析

カメルーン土壌の広域調査の結果としてまず強調されるべきことは、Ferralsols (Oxisols)系の赤色土壌の分布域が、地質的にはほぼ先カンブリア紀の変成岩を母材とする中央台地上に限定される点である。この事実は、今後可能であれば中央・西アフリカ諸国の土壌分布と併せて検討されるべき事項であらう。

中央台地上で卓越する Ferralsols の粘土鉱物は、当然のことながらカオリン鉱物優占であった。しかしながら南部コンゴ盆地へ下降する辺縁部では、イライト等に富む比較的若い土壌も頻出し、また西部火山帯では、第四紀の火山活動が盛んな大西洋岸地域において近縁の火山活動の影響が見られる土壌が限定的ながら分布した。

湿潤アジア土壌の粘土鉱物組成との比較

図6は、タイ、インドネシア、カメルーンより採取した次表層土の粘土あたりの陽イオン交換容量(CEC)をpHに対してプロットしたものである。カメルーン土壌の多くでCEC/粘土が $16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 以下と Ferralsols の領域に入るのに対し、タイ土壌の多くが理化学性の面からは Acrisols の領域に、またインドネシア・カリマンタン土壌の多くが Alisols の領域に

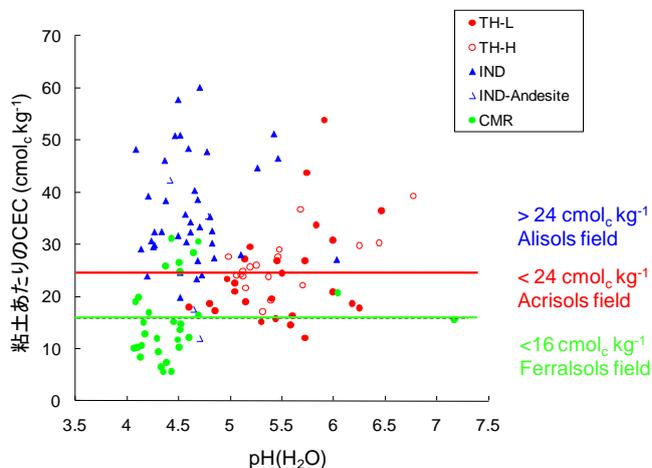


図6. 各国土壌の理化学性

分布する（実際にこのように分類されるには、Acrisols, Alisols については粘土集積層の存在が必要である）。換言すれば、CEC の高い膨潤性 2:1 型鉱物の影響が、インドネシア>タイ>カメルーンの順で減少するということである。なおここには示していないが、タンザニア土壤は、タイ土壤と類似の領域か、これよりやや pH の高い領域にプロットされるものとみて良い。このような鉱物組成、それに起因する荷電特性を反映して、図 7 のように、交換性 Al の保持量にも顕著な違いが見られる。タイ土壤については、pH が 5 以上であることも反映して、交換性 Al 含量は比較的小さい。しかしながら、土壤 pH から見れば似たような強酸性土壤であるインドネシア土壤、カメルーン土壤のうち、後者はカオリン鉱物卓越かつ低 CEC であることを受けて、膨潤性 2:1 型鉱物が優占するインドネシア土壤より交換性 Al 含量ははるかに小さい。その結果、例えばこれら土壤を農業利用する際必要とされる酸性矯正の労力が、カメルーン土壤ではずっと少なくすむことを示している。これは、カメルーンと類似の粘土鉱物組成、理化学性を有すると想定される南米大陸における農業開発が近年急速に進展している理由を、一部ではあるが物語っているといえよう。

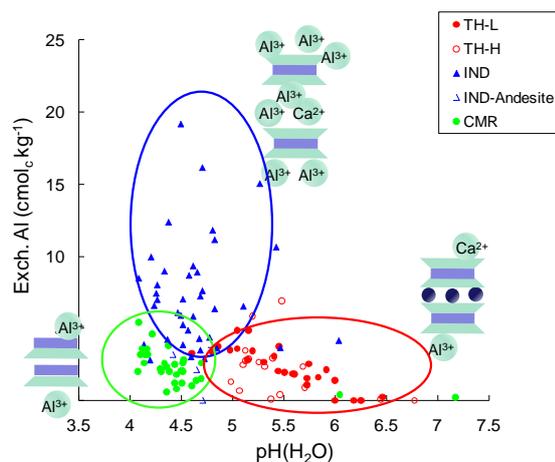


図 7. 各国土壤の交換性陽イオン組成

4. 湿潤アジアの森林における物質循環とペドジェネティック・アシディフィケーション
 一般に、降水量が蒸発散量を上回るような湿潤地には、自然植生として森林が成立する。また森林下の土壤は酸性であることが多い。これまでたびたび言及されてきたところではあるが、森林生態系の物質動態の中に、土壤酸性化を促す要因がいくつも存在する。具体的には、呼吸の結果放出される二酸化炭素の解離、有機酸の放出、窒素動態に関わる酸放出、陰イオンに対する陽イオン過剰吸収などである。本節では、前節まで概観してきたいくつかの異なる土壤の鉱物学的特性、理化学性に対応して、森林生態系の物質循環がどのように異なるのか、プロトン収支法を中心とした現地試験の結果に基づいて解釈を与える。
 本試験は、従来流域レベルの土壤酸性化速度およびプロセスを解析するためにしばしば用いられてきたプロトン収支法を、土壤層位レベルに適用したものである。我々の研究グループにおいて、様々な地域の森林土壤および耕地土壤においてデータを蓄積してきたが、ここでは日本の異なる森林-土壤生態系 3 地点 (Andosols, Podzols, Cambisols) および母材の異なるインドネシア・カリマンタン島 5 地点 (Acrisols, Alisols, Ferralsols), タイ国北部 ustic 水分状況下の 1 地点 (Acrisols) の結果について述べる。

各地点において、前述した異なるプロセスによる土壤酸性化速度を層位毎に定量、解析した結果、特に以下の2点に関する知見を得た。

1) 全体を通して、最も土壤酸性化に寄与したプロセスは、森林植生による陽イオン過剰吸収であった。その結果土壤酸性化速度は一次生産量と相関を持ち、炭素1モルが樹体生長として同化される際、4~10 kmol_cの土壤酸

性化が進行し、その大部分は鉱物風化によって補われた。これは、生物活動が大きい熱帯多雨林において鉱物風化速度は大きいという一般的理解を支持するデータである。

2) 各断面における酸性化の負荷パターンは、植物根が表層に集中しここで陽イオン過剰吸収が生じる上に有機酸放出も伴うため表層土壤の酸性化が著しく、酸の下層へのオーバーフローが生じる「強酸性型」と、植物根が次表層土まで万遍なく分布し、層位間の酸の授受が見られない「弱酸性型」の2通りに分けられる。前者を Alisols/Podzols 型、後者を非 Alisols 型(今回の試験では Acrisols, Andosols, Ferralsols が含まれる)と捉えることができる。

このように前節までに概観してきた湿潤アジアの酸性土壤における鉱物組成、理化学性の相違は、生態系レベルでの物質動態の違いと連動していることが示された。なお本節の内容は、Fujii et al. (2009)および一連の論文に公表された内容を、本稿の論旨に沿って再構成したものである。

5. 人類の適応としての焼畑農耕

20世紀に入り化石燃料による化学肥料の広範な使用が可能になるまで、農業における最重要課題の一つが土壤肥沃度の維持、継続的な養分元素の獲得であった。これは特に降水量が大きいと、養分の流亡が著しくかつ酸性化圧力の強い湿潤地において切実な課題であったといえよう。このような条件の下で、世界各地で広く行われたのが焼畑移動農耕である。焼畑農耕の肥培管理に関しては、一般的には以下のように理解されている。

1) 焼畑移動農耕は、温帯以南の多くの地域で行われている畑作の一種である。1~数年間の耕作の後耕地を休閑し、休閑植生および地力の回復を待つて再度耕作する。休閑植生のタイプによって、草地休閑、叢林休閑、森林休閑の三種類が認められる。設定される休閑期間の長さにもよるが、一般に単位面積あたり扶養できる人口は小さい。

2) 耕作開始に際して、多くの場合休閑植生の伐開・火入れが行われる。火入れの効果は、

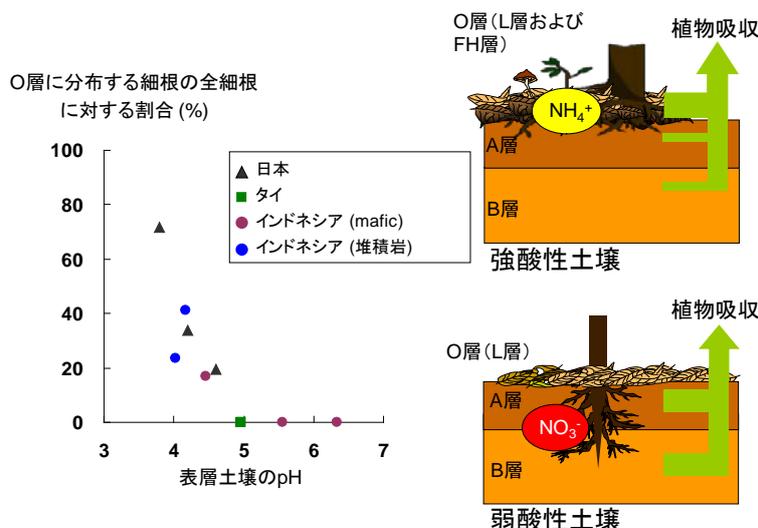


図8. 森林土壤における細根分布と酸負荷パターン

焼却植生（灰）による P, K, Ca など必須元素の投入，および焼土効果にともなう土壌の有機態窒素の無機化であるとされている。

3) 一方休閑期間中に，土壌中の養分元素は再度植生中に集積されるとともに，リターの供給によって土壌有機物レベルが回復する。

しかしながら一概に湿潤地といっても，気候，土壌は多様である。本節では，降水量，一次生産量，バイオマス現存量の異なる 4 地域の焼畑農耕における養分動態と土壌肥沃度管理に関して検討する。調査地は，ザンビア（年降水量 860 mm, Lixisols），タイ（年降水量 1200 mm, Acrisols），インドネシア（年降水量 2500 mm, Alisols），カメルーン（年降水量 1500 mm, Ferralsols）の焼畑村である。図 9 に，それぞれの地域における森林および森林伐開・火入れ後の炭素・窒素フラックスを示す。まず森林下では土壌表面における炭素フラックス（リター投入量と土壌呼吸量）の収支はほぼバランスし，窒素流出量もカメルーン森林を例外として小さい。これらの森林を伐開・火入れ後耕地として利用すると，土壌有機物の分解が促進され，これに応答し無機化された窒素は一部農作物に吸収され，一部は土壌下層より硝酸イオンとして流出する。ここまでの傾向はいずれの地域でも一致しているが，これに対し顕著な違いも存在する。ザンビアでは，少ない降水量および一次生産量を反映して，森林，耕地を問わずそもそも土壌表面における炭素フラックスが小さく，また耕地化後の窒素フラックスも小さい。一方インドネシア（Alisols）では，表層土壌の有機物含量・有機物分解速度ともに小さい上に，強酸性故に火入れ後の硝酸化成がそれほど増加せず，窒素流出も抑制されたとみられる。これらに対し，タイ（Acrisols）およびカメルーン（Ferralsols）では，耕地化後窒素フラックスの顕著な増大が見られる。弱酸性で硝酸化成が進行しやすいと予想されるタイ耕地のみならず，強酸性のカメルーンの森林・耕地におい

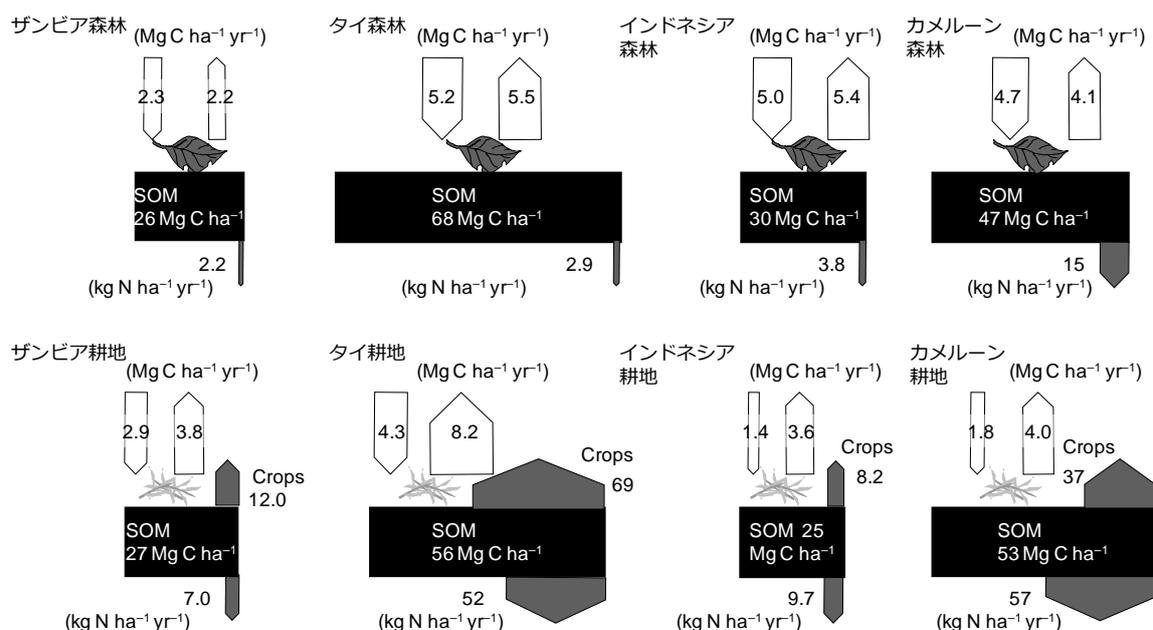


図 9. 森林および森林開拓後の耕地における炭素・窒素フラックス

て窒素流亡が見られた理由に関してはさらにいくつかの要因が関与していると見られ、現在検討中である。

図 10 に、休閑あるいは耕作期間中における土壌肥沃度関連指標の変動を示す。解析に用いた層位が異なる点に注意が必要であるが、以下の比較が可能であろう。ザンビアにおいては、森林下での土壌へのリター投入量および分解量のいずれもが、厳しい乾季の存在によって抑制され、結果として休閑を行ってもあるいは

連続耕作を行っても、土壌有機物含量、土壌 pH のいずれもがあまり変化をしない。一方インドネシアの強酸性 Alisols は高温湿潤な気候条件を反映して、休閑期間を通して土壌有機物含量、土壌 pH とともに低い状態で推移する。カメルーンの Ferralsols では、休閑が長期にわたると表層土壌の有機物含量や pH には低下傾向さえ見られる。これら多雨林下の焼畑における休閑の機能は、土壌肥沃度の回復というよりも、休閑林の樹体中への養分元素の回収・再集積であると考えられる。これらの例に対して、休閑期間中の土壌肥沃度回復が最もわかりやすく見られるのは亜熱帯モンスーン気候下の Acrisols における焼畑農耕で、休閑後期における土壌有機物量の増加傾向や、例外が 1 点あるものの休閑中期に最も強い酸性を示した後休閑後期に向けて上昇する

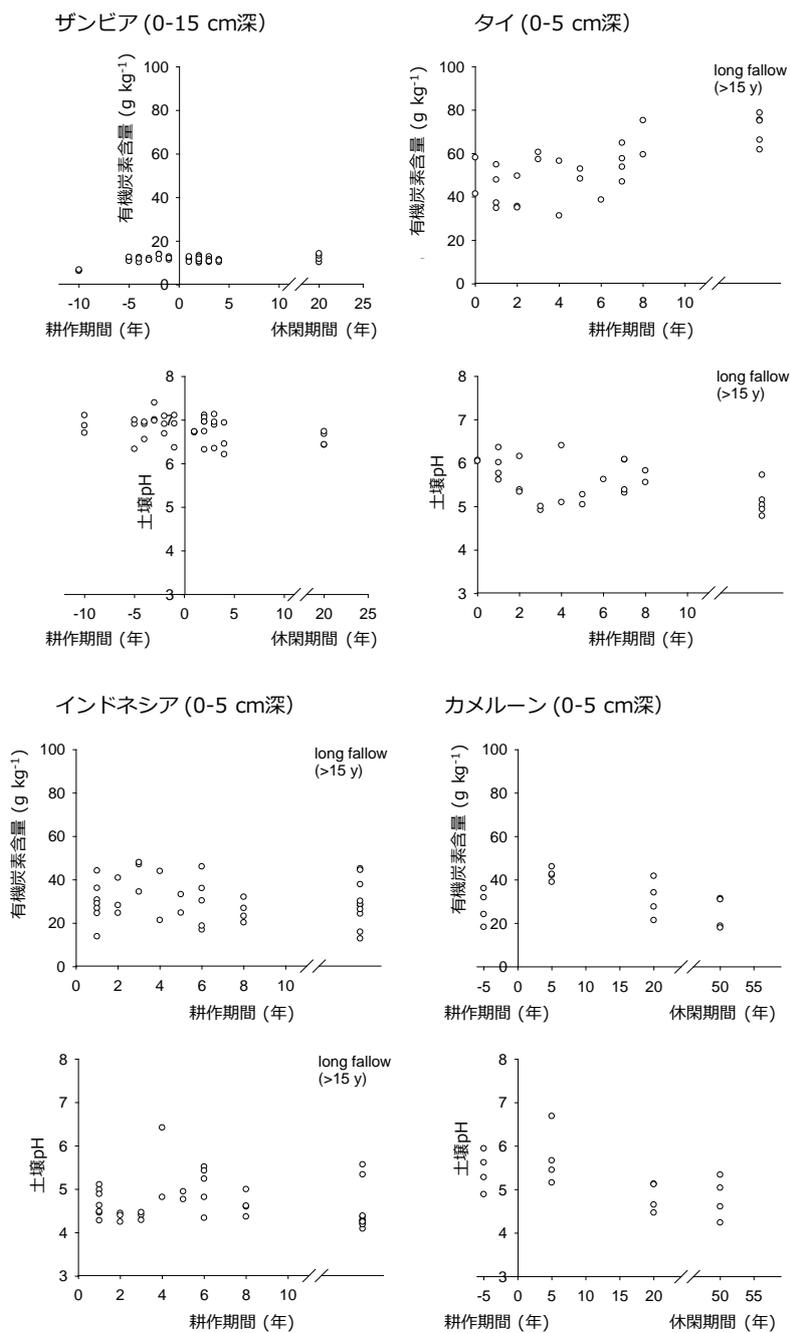


図 10. 耕作および休閑期間中における表層土壌の有機物含量および pH の変化

土壌 pH 等，ここでは休閑による土壌肥沃度の回復がもっともはっきりと見てとれる。

このような焼畑管理下における土壌肥沃度の変化は，おそらく明示的に意識されることはなくとも農民の土地管理にも反映されている。すなわち，インドネシア Alisols における焼畑農耕では，比較的長期の休閑の後多量のバイオマスを焼却し，その結果投入される灰や焼土効果によってもたらされる短期間の土壌肥沃度改善効果に依存した（と解釈できる）長期休閑型陸稲作が行われる。一方カメルーン Ferralsols においては，比較的成熟した森林を伐開し火入れを行った後，バナナとカカオを主作とする長期プランテーションに移行するか，あるいは良好な土壌肥沃度を要求しないキャッサバの連作が行われる。これら多雨林下の長期休閑型焼畑に対し，タイ国北部 Acrisols におけるカレン人の焼畑では，むしろ1年のみの耕作期間が強調され，10年以下の比較的短期の休閑を経て再度耕作される。侵食や有機物減耗にさらさずに，比較的高い土壌肥沃度をいかに維持しつつ利用するか，という部分に力点が置かれている。一方ザンビアの Lixisols では，いったん森林を伐開した後は，連続耕作を回避する点はあまり強調されず，連作が普通に行われる。ここではそれほど変動しない土壌肥沃度よりもむしろ降水量の方が決定的に重要な収量決定因子なのであろう。

なお本節の焼畑農耕に関する論考は，Funakawa et al (2006), Funakawa et al (2011), Ando et al (2014), 杉原ら (2013) およびこれらの関連論文において提出された研究結果を再検討し，本稿の論旨に沿って構成し直したものである。

6. アフリカの土壌は，アジアとは異なるのか？ — 砂質土壌における熱帯農業の可能性と限界について

ここまで論じてきたように，熱帯アジアと東アフリカに関しては，気候条件による違いはもちろん看過できないものの，相当程度共通の土壌プロセス，生態系プロセス，これらに対して合理的な農地管理のあり方という枠組みによって理解することが可能である。しかしながら中央・西アフリカの土壌分布は，Ferralsols と Arenosols（砂質土壌）の広汎な分布という点で，東南アジアよりはむしろ南米大陸との近親性が高い。中央アフリカに分布する Ferralsols においては，カメルーンにおける検討で明らかのように，土壌の鉱物学的特性，理化学性，荷電特性から，生態系における窒素動態のあり方，農民による農地管理まで，同じく多雨林気候下のアジアで一般的な Alisols（Acrisols も含めて）とは相当に異なる土壌プロセスが見られ，それに対応した農地管理がなされている。

さらにアフリカ半乾燥・乾燥地帯に特徴的なのは，脊薄な鉄石層が露出する台地の間を埋めるように広く分布する砂質土壌の存在である。東南アジアにおいてもタイ国東北部のように砂質土壌が広がる地域はあるものの，年降水量が 1,000 mm を超えるという点で，アフリカ半乾燥地の生産生態環境とは大きく異なっている。アフリカの砂質土壌は，その多くが乾燥地・半乾燥地と重なっているという点で，他大陸に見られない，サヘル地域特有の農業空間を形作っているといえよう。

一般的に砂質土壌は，低い保水性や養分保持能，あるいは高い受食性による脆弱性が強

調され、農耕には不利であると見られることが多い。しかしながら、例えばタイ国東北部の水稲作や、ブラジル・セラード台地のキャッサバ・サトウキビの商業的栽培など、比較的降水量に恵まれた地域では、砂質土壌における農業生産に対してそれなりの対応が取られている。したがってアフリカ半乾燥地の砂質土壌地帯における農業を巡る技術的な問題は、土壌が砂質であるということよりは、多くが水資源利用に関わっているものと考えてよいであろう。このような文脈においては、当該地域における土壌管理は限定的な局面でしか有効性を発揮できないものであるかもしれないが、ここでは状況改善に向けたいくつかの提案を挙げておこう。

1) 肥沃度的観点からは、伝統的な温帯の「静的」土壌肥沃度管理に対して、「動的」肥沃度管理の重要性を挙げておきたい。これは相当程度熱帯土壌生態系に共通であるが、例えば有機物や窒素を想定すると、熱帯では温帯と比べて土壌中の賦存量が小さくフラックスが大きいのが通常である。熱帯農業で重要なのは、温帯農耕地のように賦存量を増大させる方策を突き詰めるのではなく、フラックス管理に重点を置くという考え方である。この点では、資源の賦存量が小さい砂質土壌は、中細粒質の熱帯湿潤地域土壌と比べても、フラックス管理が重要となってくるであろうことは容易に予想できる。

2) その上で、資源流出の最小化を技術の必須要素としたい。具体的には、風食・水食の最小化、養分元素の流亡損失の最小化である。

3) 水資源の比較的豊かな低地、河川沿いの土地の分散的かつ集約的利用は、大規模な灌漑開発を伴わなければ、乾燥地の自然環境に対し友好的な、将来にわたって環境負荷の小さな利用方法であると思われる。

4) 逆に制限因子として強く意識しておくべきことは、半乾燥地における一次生産物（残渣や有機物）資源の稀少性であろう。湿潤地域で威力を発揮する余剰の一次生産物の利用（例えばマルチング等）は、半乾燥地ではほとんど意味を持たないであろう。

「土壌はアフリカを養えるのか」という問いに対して、「もし水資源の制限が克服できれば」と回答するのは少し不誠実かもしれない。しかしながら世界の農業の趨勢を見れば、水資源の第一義的重要性は明らかである。むしろここに技術的限界を意識することで、アフリカの食糧問題は、適切な水資源分配や食糧安全保障を巡る地域間連携などを通して、優れて社会的に解決されるべき問題である、という認識を深められることにつながれば、と考える。

文献

- Ando, K., Shinjo, H., Kuramitsu, H., Miura, R., Sokotela, S., Funakawa, S. 2014: Effects of cropping and short-natural fallow rotation on soil organic carbon in the Eastern Province of Zambia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146, 34–41.
- Fujii, K., Funakawa, S., Hayakawa, C., Sukartiningsih, S., Kosaki, T. 2009: Quantification of proton budgets in soils of cropland and adjacent forest in Thailand and Indonesia. *Plant and Soil*,

316(1-2), 241-255.

- 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.
- Funakawa, S., Watanabe, T., Kosaki, T. 2008: Regional trends in the chemical and mineralogical properties of upland soils in humid Asia: With special reference to the WRB classification scheme. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54, 751-760.
- Funakawa, S., Watanabe, T., Kadono, A., Nakao, A., Fujii, K., and Kosaki, T. 2011: 4. Soil resources and human adaptation in forest and agricultural ecosystems in humid Asia. In *World Soil Resources and Food Security*. Eds. R. Lal and B.A. Stewart. p.53-167, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Funakawa, S., Yoshida, H., Watanabe, T., Sugihara, S., Kilasara, M., and Kosaki, T. 2012. 1. Soil fertility status and its determining factors in Tanzania. In *Soil Health and Land Use Management*. Ed. M. C. Hernandez-Soriano, p.3-16, InTech - Open Access Publisher, Rijeka, Croatia.
- Watanabe, T., Ota, Y., Nakao, A., Hartono, A., Funakawa, S. 2013: Distribution of clay minerals and their formation in volcanic soils of Java and Sumatra islands, Indonesia. 11th International Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science, Bogor, Indonesia, 21-24 October 2013.
- 杉原創, 柴田誠, Mvondo Ze Antonie, 荒木茂, 舟川晋也 2013 : カメルーン熱帯林における休閑年数が土壌有機物動態に与える影響の解明～POM 分画法による炭素・窒素・リンの解析～. 日本土壌肥料学会 2013 年度大会.

アフリカにおける農業の位置づけ：一生涯としての農業

東京外国語大学 島田周平

1. はじめに

ナイジェリアとザンビアの村で長期にわたる調査を行った経験がある。ナイジェリアの村は1980年代にザンビアの村は1990年代に調査した。二つの村は小農主体の村であることでは同じであったが、栽培作物や耕作形態はもとより植民地支配の歴史や農業政策で違いがみられた。農民達の市場や都市への近接性も対照的であり、農作物の販売や出稼ぎの形態にも違いがみられた(島田 2007a)。

この2つの農村調査の経験は、アフリカ農業やアフリカ農民にみられるアフリカ的特性を措定することの難しさを痛感させるものであった。農村研究者が、政治学や経済学で行われるアフリカ的特性の一般化に消極的なのは、調査した「私の村」の実態の多様さに圧倒され一般化が遠のくからである。私もその多様性に気圧されるばかりであったが、敢えてアフリカ的特性の追究を試み試案を提起したことがある(島田 2007a, 島田 2007b)。本発表では、そこで提起したアフリカ的特性について説明し、その後で最近考えている点を2、3提示してみたい。

2. 農村調査から得たアフリカ農民の特性

ナイジェリアとザンビアの農村で観察された農民行動に共通する特性として、私は高い流動性、多生業・多就業、農業の相対化、農民の「変わり身の速さ」の4点を指摘した(島田 2007a)。まずはそれについて説明したい。

(1) 高い流動性

2つの農村調査で、人々の空間的移動性が大きいことに驚かされた。ナイジェリアの村では植民地時代からココア・ベルトへの出稼ぎが盛んで、1970年代のオイル・ブーム期以降は国内各地に出稼ぎに出かけた。ザンビアでは植民地時代から農民たちは白人の土地占拠による強制移動や銅鉱山への出稼ぎに駆り出されたが、1990年代には市場の自由化の影響を受け、首都や中小都市へ活発に移動し新しい次元の社会的流動性をみせていた。当然その中で、人々の職業の多様性も増してきていた(伊藤 2015)。

(2) 多生業・多就業性

ナイジェリアの調査で、人々が出稼ぎ先も職業もよく変えることが明らかになった。それは家族構成員の職業が多様化することを意味していた。一方ザンビアでは、農村内部での生業の多様化が観察された。アップランドにおけるトウモロコシ栽培に加え、ダンボにおける換金野菜栽培や小規模灌漑といった集約的農業へのシフトを強めていた。そして集約的農業による現金収入をもとに、村内での非農業活動(「キオスク」の開業など)が活発化していた。

農民の経済活動にみられるこのような変現性を称してブリコラージュ能力と呼ぶことがある。それは「自ら実験する農民」が示す能力(Richards 1985)という面と、資源へのア

クセスをめぐる休みのない働きかけに起因する対処能力(Berry 1993)という両面をもつ能力のようである。

(3) 相対化する農業

長期化する経済不況の結果、ナイジェリアでは1980年代後半には若年層が村に多数滞留する姿が見られた。彼らは農業を行いつつ非農業の職に就くことを夢見ており、それが耕作形態の変化にも影響を与えていた。耕作に費やす労働時間とそれ以外の活動に費やす時間とが競合し、出稼ぎ先で働き口があれば何時でも村を離れるつもりでいた。彼らにとって農業は経済活動の一つであり他の職業との間で相対化されていた。同じことはザンビアでもいえ、農民たちは農村内部での生産活動の多角化を試みていた。彼らは農業の中で非自給的生産を増大し、自宅で「キオスク」を開店したり国道沿いに常設小売店を出すといった非農業活動に積極的に乗り出していた。

(4) 「変わり身の速さ」

農家世帯構成員の入れ替わりは両方の村で激しく、とりわけ若者たちの移動や職業変化は著しかった。ナイジェリアでは、ココア畑の農業労働者、都市の労働者、選挙運動員、臨時の教員の仕事など様々な仕事を渡り歩く若者たちの姿がみられた。ザンビアの村でも、養鶏を1年でやめキオスクを始めたと思ったら数年後に閉店し小規模灌漑に手を出すといった具合で、短期間で生業を変えることがよく見られた。肥料の配給を受けるために組合を結成するなどお手のもので、それが失敗してもすぐに別の計画に合わせたグループ作りを行うといった状況であった。

この「変わり身の速さ」は、先述の流動性の高さや多生業、多就業と密接に関係している。しかしながら、このような変わり身の速さの一方で基礎的な食糧生産（ナイジェリアではキャッサバ、ソルガム、ヤム、ザンビアではアップランドのトウモロコシ）は決して放棄することはなかった。世帯の構成員の誰かが「変わり身の早い」変化を遂げていても、他の構成員が基礎的な食糧生産を確実に維持しているのである。

3. これらの特性を総合して「脱農業化(deagrarianization)」といえるか？

2000年にブライスソンは、農村部に居住する人々が農業に基盤を置いた生活様式から、仕事と収入源を変え、社会的アイデンティティや社会的地位をも変えるという脱農業化が進んでいることを指摘した(D. Bryceson 2000)。彼女は、21世紀以降急激に進展する経済のグローバル化のもとアフリカの農村で起きている職業の変化を、農業従事者の減少やGDPに占める農業部門の低下といったマクロレベルの変化で捉えるだけでなく、(農村部居住者の)職業アイデンティティや公共倫理の変化のレベルにまで掘り下げて理解する必要性を提唱した。そして1970年代の石油危機や1980年代の構造調整計画の導入等で進められてきた市場再編の中で、小農が農業生産のインセンティブを失い、新しい生活(livelihood)を模索する行動を活発化させ、これが脱農業化の1要因となったと指摘した。私が農村調査で見てきた諸特性はこの脱農業化のプロセスと親和的にみえる。そうだとするとその特

性は 1970 年代から続く急速なグローバル化の下で立ち現れてきた「外生的」特性なのかという疑問も生じる。この点については後で述べたい。

ブライソンは、農村社会における農業生産の相対化(比重の低下)や農村居住者の農業離れ(アイデンティティの変化)といった脱農業化の動きは、既存の社会科学が常套としてきた「社会(的アイデンティティや職業倫理感など)が人の仕事を決める」という分析視点では見えず、仕事が人(のアイデンティティや職業倫理観)を決めているという見方が必要で、そのためには日常の生業活動を詳細に分析することが必要であると述べた。

私も日常的な生業活動レベルで起きている出来事を文脈的に捉えることの重要性を指摘した(島田 2007b)。そうすることで、一つの出来事が多様な人間関係を通して他の出来事へとつながっていく連鎖的な過程をみることができ、村における最近の激しい社会変容を動的に捉えることができると考えた。例えばザンビアの調査では、国政レベルの政治的空白が村の農業生産や森林破壊に影響を及ぼし、村への開発団体の進出が人権問題を表面化させそれが村落政治に影響をあたえるといった連鎖的な変化を見ることができた。これにより、既存の制度や社会関係との軋轢の中で新しい制度や社会関係が創成されてくる動的過程を垣間見ることができたと考える。人々の共同労働に対する意識や(村長や首長といった)伝統的権威に対する意識、さらに非農業活動に対する見方の変化をみることで、ブライソンのいう脱農業化プロセスの実態の一端を明らかにできたのではないかと思う。

4. まとめにかえて

今述べたような脱農業化や農業の相対化は、本シンポジウムの主題に引き付けて考えるとすればどのような意味を持ってくるのであろうか?これらは、アフリカの農業開発や農村地域開発を考える場合には考慮に入れておく点であると考えてるので最後に私見を述べてみたい。

第 1 に、少し極論になるが、アフリカ農民が農業生産に固執する人々だという見方は根拠のない認識かもしれない。アフリカ農民の固陋性という認識を一度払拭して農民の行動を謙虚に観察する必要があると考える。そうすれば、本当にインセンティブを感じる農業生産政策であれば農民たちは躊躇なくそれを受容することが理解しやすくなる。もちろん彼らが非農業活動に乗り出すことの理解も容易になる。

第 2 に、「変わり身の速さ」のところでも述べたように、アフリカの農民は、変わるのには速いが基本的生産部分を変えないという保守性も持っている。これは、間植・混作で指摘される危険分散志向を想えば理解しやすいと思う。基本的ではない部分では変化を容易に受け入れるが、畑作を灌漑農業に変えるような生産基盤の根本的变化には案外抵抗を示すのはこのためではなからうか。当然のことながら、開発にあたっては住民が何を受け入れ何を拒むかを事前によく理解する必要がある。

第 3 は、現在の経済のグローバル化をどのように考えるかという点にも関わるが、私が指摘したアフリカ的特性もブライソンが指摘した脱農業化も、いわばアフリカ側(農

民や農村社会)が本来持っていた能力が自から表面化してきたものではないかもしれない。それは、本来持っていた潜在的能力が市場の自由化や政治の民主化といったグローバルな動きに対する対処あるいはそれに触発されて発現してきた特性かもしれない。この点は再検討する必要がある。もしかすると、農村の若者たちがみせる流動性の高さや変わり身の速さも、急速なグローバル化の現代に生きる彼らの日常的「もがき」の姿なのかもしれないということになる。

最後に、最近ザンビアの調査村で目にしたグローバル化の動きの話をエピソードとして紹介しておきたい。村で肥料は、地味を肥やす資財である他に賃耕の支払い、牛車の賃貸、牛の肉や食料の売買等の決済に使われる「貨幣」であった。肥料が実際に人々の手に渡り始めるのは雨期の直前からであり、それから様々な決済のため肥料はしばらく人々の間を駆け巡る。そしてしばしば施肥が適時に間に合わないことが起きていた。

しかし 2014 年に村を訪ねたとき、人々は Zoona というバウチャーを使い簡単に肥料が購入できるようになっていた。携帯電話を使えば現金なしに肥料・農薬はもとより種子も自転車さえも購入できるシステムが導入されていた。このシステムの導入は画期的なものである。これで貨幣としての肥料の役割は減少し、肥料本来の機能が強化され土地生産性増大に寄与する可能性が高いといえよう。しかし、土地生産性増大で生じる余剰労働力が脱農業化のプロセスに乗って他部門に進出する可能性を考えると、そう楽観的な気分ではいけない。今のザンビアには新規の余剰労働力を吸収する産業は少ないので、結果として顕在失業者が増大することが目に見えているからである。

アフリカ各地で起きている地域紛争の最大の原因の一つが若年層の失業問題だと指摘される。国民レベルでの雇用創出問題に改善が見られない限り、脱農業化が示唆する問題は深刻な問題を孕んでいるといえる。我々は、農業生産が農村部における一生涯だという認識に立って、農業生産を国民経済の中で捉え直す必要があるのではなかろうか。

参考文献

- 伊藤千尋(2015) 『都市と農村を架けるーザンビア農村社会の変容と人びとの流動性ー』新泉社
- 島田周平(2007a) 『現代アフリカ農村』古今書院
- 島田周平(2007b) 『アフリカ 可能性を生きる農民』京都大学学術出版会
- Berry, S. S. (1993) *No condition is permanent: The social dynamics of agrarian change in Sub-Saharan Africa*, University of Wisconsin Press, Madison.
- Bryceson, D.F. (2000) Disappearing peasantries? Rural labour redundancy in the neo-liberal era and beyond, in D.F. Bryceson, C. Kay and J. Mooij (eds), *Disappearing Peasantries? Rural Labour in Africa, Asian and Latin America*, pp. 299-326, Intermediate Technology Publications, London.
- Richards, P. (1985) *Indigenous agricultural revolution: Ecology and food production*

in West Africa, Hutchinson Education, London.

アフリカの水資源と食料生産・貿易～2050年までの将来シナリオ～

講演要旨

内閣府経済社会総合研究所研究官

佐藤 正弘

1. はじめに

地球上の水をめぐる問題の構造は、今世紀半ばまでに大きく変わろうとしている。単純化して言えば、20世紀の人口増加は水資源が豊富な地域で生じたのに対し、21世紀の人口増加はそうでない地域で生じる。この事実が、いよいよ顕在化する気候変動の脅威とともに、緑の革命に象徴される旧来の食料増産戦略に大幅な見直しを迫ることになる。

本講演では、2050年までの長期展望を念頭に置きながら、アフリカの食料生産や食料貿易が水資源との関係で直面する課題について、以下の2つの構造変化との関連で論じる。第一の構造変化は、水資源をめぐる地理的な需給不均衡の増大と、それによるバーチャル・ウォーター貿易の重要性の高まり、第二の構造変化は、グリーンウォーターへの依存度合いの拡大と、それに伴う不確実性の問題である。

2. 水資源の地理的な需給不均衡の拡大

20世紀の緑の革命において、豊富な水資源や灌漑農地の拡大が果たした役割は、高収量品種や化学肥料と同程度に大きかった。実際、多くの地域において、灌漑インフラへの大規模な投資がなければ、緑の革命の成果は存在しなかった。にもかかわらず、こうした大規模投資の重要性は、これまで過小評価されてきた (Cassman et al., 2013)。

緑の革命における水資源の重要性は、この時期の灌漑農地面積の動向にも現れている。緑の革命により食料の飛躍的な増産が実現した期間、耕作地全体の増加幅は生産量に比べて緩やかであった (1961年の1365百万haから2012年の1563百万haに14%増加)。これは緑の革命が収量の飛躍的な増大を実現したことの現われである。しかし、灌漑農地面積だけを見ると、1961年の161百万haから2012年の324百万haへと約2倍に増えている。アジア地域 (中央アジア除く) の灌漑農地面積は1961年の106百万haから229百万haへと2.2倍に増えている。

では、20世紀の食料増産に果たした水資源の役割を踏まえると、今後、人口増加と気候変動が世界の水需給にもたらす影響はどのように評価できるであろうか。緑の革命が始まった1960年代初頭に約30億人であった世界人口は、2014年現在72億人を超え、2050年には約96億人、2100年には109億人に到達する見込みである。地域別の

人口増加数で見ると、20 世紀後半の急激な人口増加の大半がアジアで生じていたことがわかる。しかし、1980 年代後半にピークを迎えたアジアの増加人数はその後しだいに縮小し、2050 年頃になると人口減少に転ずる。それに対して、アフリカの増加人数は 1950 年代から一貫して拡大を続け、2030 年頃になるとアジアの増加人数を上回る。増加人数が 2050 年頃にピークを迎えた後も、アフリカの人口は拡大し続け、今世紀末にはアジアに迫る 42 億人に到達する。

このようなアジア・アフリカ地域での人口の増加に伴い、世界の食料需要と水需要は今後どのように推移するのであろうか。21 世紀前半の世界の食料需要については、FAO などいくつかの機関がそれぞれ見通しを公表している。各見通しには若干のずれがあるが、どれも 40～50 年間で概ね 9 億～12 億トンの穀物需要の増加を見通している。とりわけ、サブサハラ地域については 200%前後の高い需要増が見込まれる。1960 年代初頭からの 40 年間には約 12 億トンの増産が行われたことと照らし合わせると、今後、世界では 20 世紀における緑の革命に匹敵する増産の実現が必要ということになる。

では、こうした食料需要の増大に伴い、世界の水需要はどの程度増加するのだろうか。ストックホルム大学レジリエンス・センターの Rockström 教授や Falkenmark 教授らは、2000 年代に行った一連の研究の中で、世界の人口動態と気候変動の影響を考慮に入れ、2050 年までの要水量と水利用可能量の推計を行っている（主に Rockström et al. (2007), Rockström et al. (2009), Falkenmark et al. (2009)）。推計では、気候変動については気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 4 次評価報告書における SRES A2 のシナリオ、人口動態については SRES A2 シナリオと国連人口見通しの中位推計の 2 つのシナリオを用いている。また、要水量については、水生産性が現状のままとした場合、基本的な食料ニーズを満たすための一人あたり 1 日 3000kcal を確保するためには、平均して一人あたり年間 1300 m³が必要であるとした。ただし、保全耕起、土壌肥沃度管理、土壌・水保全、ウォーター・ハーベスティング、総合的害虫管理などの実施による農業生産性の向上によって、2050 年には要水量を 1000 m³まで削減することができるとして、それに応じたシナリオも分析している。

まず、現状の水生産性を前提とした場合、2050 年に各国が食料自給を達成するために必要な追加的な要水量は、SRES A2 の人口動態シナリオの場合でおよそ年間 5,710 km³となる。先述の水生産性の向上を考慮に入れた場合、要水量は 3,546 km³にまで縮小できる。

ただし、以上の数値は、あくまで世界全体で必要とされる水資源の総量である。可搬性の低い農業用水の場合、総量よりも、国や地域ごとの水賦存量との対応が重要となる。したがって次の論点は、水資源の空間的な偏在性を考慮した場合に、アジア・アフリカ

地域における水需要の増加が、国や地域ごとの需給の状況にどのような影響を与えるかという点になる。そこで、Rockström et al. (2009)は、LPJmL 動学植生・水収支モデルを用いて、0.5° グリッドレベルで、2050年における各国のグリーンウォーターとブルーウォーターの利用可能量を推計し、人口動態との対応を検討した。その結果、2050年には、グリーンウォーターを含めても、世界の人口の約36%に当たる約39億人が、一人あたり年間1300 m³を下回る水不足地域に居住することになる。地域・国別では、中東・北アフリカ (MENA) 諸国や、インド、パキスタンといった南アジア諸国に加え、サブサハラのブルキナファソ、マラウィ、ルワンダ、ブルンジ、ウガンダが水不足国に新たに加わる。また、中国、トルコ、エチオピア、ニジェールなどは、ブルーウォーターについての水不足の水準とされる一人あたり年間1700 m³を下回る。

ただし、上記推計は潜在的な水利用可能量に基づく水収支であり、それを確保する手段を考慮に入れていない。実際に水を確保するためには、水生産性の拡大、灌漑の拡大、耕作地の拡大など追加的な措置が必要な場合があり、水不足に分類されない国であっても利用可能量の全てをただちに使えるわけではない。そこで、Falkenmark et al. (2009)では、2050年までに各国で必要となる水の量と既存農地での水利用可能量を比較することで、現在の耕地面積を前提とした場合の水資源の不足量・余剰量を算出した。算出にあたっては、水生産性の改善によって削減できる要水量に加え、要水量を満たす上で各地域における牧草地の貢献分と灌漑の拡大の貢献分を控除した。その結果、SRES A2の人口動態シナリオの下では、不足量は年間合計3,260 km³、余剰量は3,450 km³となり、国連人口見通しシナリオの下では、不足量は2,150 km³、余剰量は3,970 km³となることが明らかとなった。

以上のように、人口増加と気候変動によって、国や地域ごとの水需要と水供給が変化する結果、水資源をめぐる地理的な需給不均衡は拡大していく。水が不足する地域に残された選択肢は、バーチャル・ウォーターの輸入か、耕作地の拡大（水平拡大）による新たな水の確保である。しかし、現実には、国際市場での購買力の不足のため、低所得国のバーチャル・ウォーター貿易へのアクセスは限られる可能性がある。そこで、Falkenmark et al. (2009)は、一人あたり国民総所得が1,000米ドルを下回る国はバーチャル・ウォーターの輸入ができないものとして、貿易で補うことができない水不足を埋め合わせるために、耕作地の水平拡大がどの程度必要かを推計した。その結果、牧草地の耕作地への転換が優先されると仮定しても、2050年までに、SRES A2シナリオの下では261百万ha、国連人口見通しシナリオの下では201百万haの新規耕作地が必要となることが判明した。水平拡大のほとんどは南アジアとサブサハラ地域で生じる。

こうした結果からは、地球規模での生態系の破壊を避ける上でのバーチャル・ウォー

ター貿易の重要性が指摘できる。各国がバーチャル・ウォーター貿易を十分に利用できない場合、アジア・アフリカ地域を中心に、緑の革命期を大きく上回る広大な面積の耕作地の拡大が必要となる。特に、SRES A2 シナリオの下での拡大面積 261 百万 ha は、日本の国土の約 6 倍に相当する。これは、ほぼ同期間に相当する 1961 年から 2005 年までの約 45 年間の拡大実績 174 百万 ha と比べても極めて大きい。また、2005 年から 2050 年までの増加人口は、国連の中位推計で約 30 億人となっていることから、増加人口一人あたりの新規耕作地は SRES A2 シナリオで 0.86ha、国連人口見通しシナリオで 0.66ha である。それに対して、1961 年から 2005 年までの間のそれは 0.51ha であった（増加人口は約 34 億人）。この間の収量の飛躍的な向上にもかかわらず、バーチャル・ウォーター貿易が十分に利用できない場合の水平拡大は、緑の革命期と比べ、総拡大面積だけでなく増加人口あたりの拡大圧力も強いということが分かる。

今後の水平拡大がどのような土地で行われ、どのような費用を伴うかについては、国ごと地域ごとのより詳細な検討が必要だが、拡大が比較的グリーンウォーターを得やすい土地から優先的になされるとすると、適切な政策が措置されない限り、森林などの重要な生態学的機能を持つ土地への圧力が増大する恐れがある。

3. バーチャル・ウォーター貿易の役割

ただし、当然、以上の推計における強い仮定については留意が必要である。Falkenmark らの推計は、バーチャル・ウォーター貿易アクセスについて所得面のみで一律のカットオフ水準を置いており、また、2050 年までの経済成長の余地を考慮していない。Falkenmark らの推計は、現実的な見通しとしてではなく、理論的に想定される最も極端なシナリオを提示したものとして見るべきであろう。

では、現実のバーチャル・ウォーターのフローはどのような要因によって決定され、地理的な需給不均衡を解消する手段としてどの程度有効なのだろうか。講演者は、世界の国際貿易フローや水資源の利用量・賦存量のデータをもとに、現実のバーチャル・ウォーター貿易の推計を行った。具体的には、国際貿易分析プロジェクト（Global Trade Analysis Project: GTAP）のデータベース等を用いて多地域間産業連関モデル（multi-regional input-output model: MRIO model）を構築し、実際に各国のバーチャル・ウォーターのフローを定量化した。その上で、現実のバーチャル・ウォーター貿易と各国の水希少性との対応関係に付いて検証を行った。その際、先行研究と異なり、第一に、水賦存量の捉え方を物理的な資源量から経済的な利用可能量に変更した。第二に、絶対的な希少性ではなく他の生産要素との関係での相対的な希少性に視点を移した。具体的には、現実のバーチャル・ウォーター貿易と、ヘクシャー・オリーン・ヴァネッ

クモデルからの予測値、そして、栄養不良人口を解消するための要水量から推計した規範値との比較を行った。

その結果、多くの先行研究の主張と異なり、バーチャル・ウォーター貿易は、全般的な方向性として各国の相対的な資源賦存状況を反映しており、さらに、各国の生産性の違いを勘案した実効的な賦存量で見ると、大きさにおいても賦存状況を反映した取引がなされていることが分かった。また、栄養不良人口の解消という社会政策的な観点から見ても、バーチャル・ウォーター貿易は水不足の緩和に貢献していると考えられることを指摘した。一方で、低所得国に限ってみると、こうした評価には一定の不確実性が伴う。特に、各国の生産性の違いを勘案すると、バーチャル・ウォーター貿易は方向性としても資源賦存状況を反映しているとは考えられない。

低所得国においてバーチャル・ウォーター貿易と水希少性との間に明確な関係が見られない理由には様々な事柄が想定し得る。たとえば、食料安全保障上の配慮から食料輸入自体を制限していたり、自国の農業部門育成のために輸入関税の税率を高く設定していたりすることも考えられる。また、国際食料市場における購買力の低さも、これらの国のバーチャル・ウォーター貿易のアクセスを狭める重要な要因の一つとなっている可能性がある。実際、バーチャル・ウォーターの純輸入国では、所得水準と輸入量との間に強い相関が見られる。

仮に低所得国のバーチャル・ウォーター貿易へのアクセスが所得水準によって制約されているとして、かつ、そうした状況が今後も温存されるのであれば、Falkenmark et al. (2009)のシナリオのように、耕作地の水平拡大とそれによる生態系への圧迫は避けられない恐れがある。そこで、講演者は、所得水準による制約が続くと仮定した場合に、アジア・アフリカ諸国の今後の経済成長によって耕作地の水平拡大圧力がどの程度緩和し得るのかを検討した。具体的には、まず、MRIOモデルで検討した113カ国の2050年における要水量を、水生産性が現状のままの場合の一人あたり年間1300 m³と、改善した場合の一人あたり年間1000 m³のそれぞれの場合について算出した。その上で、灌漑の拡大などを想定しない最低のケースとして、各国の現在の生産ベース水利用量を2050年の水資源の利用可能量の上限として考え、2050年の要水量との差から不足分を算出した。各国はこの不足分をバーチャル・ウォーターの輸入によって補うが、2050年の一人あたりGDPが5,000ドル未満の国は、それぞれの所得水準に応じて輸入量が制約されるという想定を置いた。

推計の結果、水生産性が現状のままの場合、2050年にバーチャル・ウォーター貿易によって満たされない要水量の合計は593 km³/年となり、水生産性が改善されたケースではさらに184 km³/年にまで縮小することが分かった。Falkenmark et al. (2009)のシナ

リオと比較すると、ここでの推計が 113 カ国分に限定されることを考慮しても、不足量は大幅に縮減されている。また、不足のほとんどは牧草地の耕作地転換か、若干の耕作地の水平拡大によって確保することができることとなる。なお、これは総量だけからの判断であり、実際には国ごとに転換可能な牧草地面積などを考慮すべきであることに留意する必要がある。

以上のように、アジア・アフリカ諸国の今後の経済成長を勘案すると、バーチャル・ウォーター貿易は、水資源をめぐる地理的な需給不均衡をある程度解消し、耕作地の水平拡大に伴う生態系への圧迫を緩和する役割を果たすことができるものと期待される。

ただし、裏を返せば、ここでの推計に用いた単純な成長シナリオさえも実現できなかった場合、つまり、今後もアジア・アフリカ諸国の貧困問題が解消せず、南北間の所得分配の不平等が温存された場合、水平拡大による生態系への圧迫は避けられないということを示している。仮に水平拡大による生態系への圧迫が大規模な森林破壊という形で生じるとすれば、森林に貯留されている二酸化炭素の大量放出を通じて、気候変動が助長されることも考えられる。また、森林破壊は希少な生物種の絶滅や生物多様性の喪失という形でも、国際社会全体の利益を損なう。実際、先に見たように、グリーンウォーターへの依存度の高い今後の増産過程では、増加人口あたりの耕地拡大圧力が緑の革命時以上に大きい。したがって、低所得国のバーチャル・ウォーター貿易へのアクセスが極端に制約されれば、20 世紀に人類が経験した以上の深刻な森林破壊が現実のものとなる可能性もゼロではない。

これは、国際的な所得分配の不平等によって、グローバル規模でみた環境制約への近接が助長されることを示している。こうした事態を回避するためにも、国際社会全体として貧困問題に対する取り組みを強め、調和の取れた包摂的な成長を実現していくことが何よりも重要である。

4. グリーンウォーターへの依存と不確実性の増大

既に見たように、人口増加と気候変動によって、水資源をめぐる世界の地理的な需給不均衡は増大していく。とりわけ大きな圧力にさらされるのが、南アジアとアフリカである。しかし、これらの地域は、賦存量の点で需給の課題に直面しているだけでなく、賦存形態の点でも緑の革命時の東南アジアなどとは異なった課題、すなわち、大幅なグリーンウォーターへの依存という課題にも直面している。具体的には、2050 年までの人口増加を勘案した場合、第一に、表流水の賦存量は、バングラディッシュ以外は、緑の革命期の東南アジアや南アジアを常に大きく下回る。一方で、第二に、サブサハラ諸国は、2050 年までの 40 年間、少なくとも緑の革命前期の南アジア諸国と同程度の降水が

活用できる。しかし、第三に、今後の南アジア諸国は、サブサハラ諸国をはるかに下回る量の降水しか利用できない。

グリーンウォーターへの依存の増大をもたらす課題について論じる前に、アフリカ地域におけるブルーウォーターをめぐる制約について、灌漑ポテンシャルと地下水ストックの利用可能性に焦点を当てて概観する。

既に灌漑への依存度が高く、ポテンシャルの大半を使っている南アジア諸国に対して、少なくとも現状において、アフリカは灌漑ポテンシャルを十分に活かしきっているとは言えない。アフリカにおいて現時点で灌漑設備が備わっている地域は14百万ha強で、全耕作地の5%程度である。サブサハラに限ると、未だに耕作地の3%程度でしか灌漑が利用されていない。これは、アジアの40%と比べると極めて少ない。灌漑ポテンシャルについては、FAOが各国の申告値などに基づいて算出した表2.5の数値とは別に、You et al. (2011)が、農学的・水文学的・経済的要因を考慮に入れたモデルによる推計を行っている。Youらの推計結果によると、アフリカの灌漑農地には、今後50年間で、現在の13百万haの177%にあたる24百万haの拡大ポテンシャルがある。最もポテンシャルが大きいのはサブサハラ地域で、現在の6百万ha程度から22百万ha増加する。その結果、灌漑農地の割合はアフリカ全体で14%、サブサハラ地域で12%に拡大する。しかし、それでもアジアの40%に比べると遥かに少ない。また、この間、天水農地が拡大することも考えれば、耕作地に占める割合は推計よりさらに少なくなると考えられる。

地下水に限って見ると、アフリカにおける灌漑ポテンシャルはどのように評価できるであろうか。データの不足から、アフリカの地下水の賦存状況を把握することは極めて困難だが、最近では、MacDonald et al. (2012)が、ボーリング孔産出量や有効間隙率、飽和領域の厚さなどについての先行研究のデータをもとに、はじめて大陸規模で帯水層の容量と潜在的な産出量についての推計を行った。その結果、アフリカ大陸全体では、66万km³の地下水が存在し、水希少国とされている国にも相当な量の地下水が存在することが判明した。

ただし、これらの資源量の全てがただちに食料生産に利用できるわけではない。第一に、有効間隙率などから予測される水の量の全てが利用可能なわけではない。第二に、巨大な容量を擁する大型の堆積岩帯水層の大半はサハラ砂漠地下の化石帯水層で、人口密集地域から遠く離れている上、250m以上の深層部にある。第三に、揚水速度を規定する帯水層の産出量（ボーリング孔産出量）を見ると、多くの地域では手動ポンプに適した0.1L/秒～0.3L/秒程度の産出で、典型的な商業灌漑スキームに必要な5L/秒以上の産出がある地域はより限られており、かつ、その多くはやはりサハラ砂漠地下の深層部

にある。したがって、MacDonaldらは、多くの地域の帯水層は、自営やコミュニティの小規模な灌漑に活用することで、表流水の変動に対する緩衝機能を果たすことはできるものの、高産出のボーリング孔の存在を前提とする灌漑拡大戦略は成功しないと見ている。

以上のように、アフリカ諸国は、ブルーウォーターの利用可能性について大きな制約を抱えており、必然的にグリーンウォーターへの依存を高めていくことになる。グリーンウォーターに大きく依存しながら増産を実現する上での課題は、生産や流通のシステムにおける水レジリエンスを高め、降水量の年間を通じた変動と不確実性への適応力を高めることである。

そこで最後に、グリーンウォーターへの依存が高まる中で、不確実性への適応が十分にできなかった場合に想定される状況について触れておく。

不確実性に十分に適応できない場合に生ずる問題としては、第一に、収量の低下と不安定化が挙げられる。既に見たように、緑の革命期においても、降水が十分でない多くの地域で、天水農地の収量は灌漑農地を大きく下回っていた。こうした収量の低さは、食料生産における灌漑水の役割の裏返しであるだけでなく、不確実性が新たな農業技術や農業実践の普及に与える影響にも起因する。一般に、安定した水供給が得られない地域では、近代品種などのコストのかかる農業技術や農業実践の普及の度合いは低くなる。例えばサブサハラ地域では、近代品種における水投入と化学肥料の強い補完関係がゆえに、水供給が不安定な地域で高価な化学肥料の投入を控える傾向が見られた（Kajisa and Payongayong, 2011; Nakano et al., 2011）。降水の変動に起因する収量の不確実性は、新たな農業技術や農業実践の採用に関連したリスクを大きく高め、収益を減じる（Cassman et al., 2013）。特に、貯蓄が少なく、信用へのアクセスも限られる低所得の小規模農家ほど新規技術の導入に伴うリスクを回避する傾向は強いと考えられる。

第二の問題は、耕作地の水平拡大による生態系への圧迫である。前半では、水不足国がバーチャル・ウォーター貿易を十分に活用できない場合に水平拡大の規模が増大することを論じたが、こうした傾向は、収量の低下と不安定化によってさらに助長される恐れがある。すなわち、面積あたりの収量が低下すれば、その分だけ、国内の食料供給の確保のために、新規に耕作地を動員する必要性は高まる。先述の収量と水生産性の非線形的な関係を前提とすれば、収量の低下はさらに水生産性を低め、森林などの比較的降水が多く確保できる土地への拡大圧力が強まる恐れもある。

また、収量の変動により食料供給が不安定化すれば、国全体としては、不確実性がない場合に比べ、より多くの土地を食料生産に投入して、余剰食料を確保するインセンティブが高まるものと考えられる。また、生産者のレベルでも、収益を安定化させるため

に森林などの比較的降水が多く確保できる土地を開拓するインセンティブが高まる可能性がある。

第三の問題は、干ばつ時の食料アクセスの不足である。干ばつが農村部の低所得層の生活にもたらす影響は多様であり、その経路も複雑だが、大規模な干ばつの場合、政府の援助の遅れや流通システムの不全などの状況が加わると、飢饉の発生など事態は極めて深刻になる恐れもある。

天水農業が抱えるこうした不安定性は、気候変動に伴う極端現象による短期的な攪乱によって、今後、拡大していくものと考えられる。

5. 結論

本講演では、2050年までの長期展望を念頭に置きながら、アフリカの食料生産や食料貿易が水資源との関係で直面する課題について、2つの構造変化との関連で論じてきた。

第一の構造変化は、水資源をめぐる地理的な需給不均衡の増大と、それによるバーチャル・ウォーター貿易の重要性の高まりである。20世紀における緑の革命による食料増産の前提には、とりわけモンスーン・アジア地域における豊富な水資源の存在があった。しかし、今後さらなる増産が必要な南アジアとサブサハラの一部では、各種のトレードオフなしに利用できる水資源が限られている。バーチャル・ウォーター貿易を十分に活用できなければ、これらの地域では、森林などの生態系への圧迫を含め、社会面・経済面・環境面で大きな費用が発生する恐れがある。

第二の構造変化は、グリーンウォーターへの依存度合いの拡大と、それに伴う不確実性の問題である。20世紀の緑の革命では、表流水や地下水などのブルーウォーターが重要な役割を果たしていた。それに対して、今後さらなる増産が必要な地域ではブルーウォーターの利用可能性が限られており、必然的にグリーンウォーターへの依存が増大する。しかし、グリーンウォーターの利用には、それに伴う高度な不確実性への適応が求められる。とりわけ、気候変動によって、干ばつなど水をめぐる短期的攪乱の度合いは高まりつつあり、食料生産に占める水レジリエンスの重要性は増大していく。不確実性への適応が十分にできない場合、生態系への圧迫の助長や深刻な食料不足などを引き起こす恐れもある。

参考資料

Cassman, K.G., and P. Grassini, 2013, Can there be a green revolution in Sub-Saharan Africa without large expansion of irrigated crop production?,

- Global Food Security* 2, 203-209.
- Falkenmark, M., J. Rockström, and L. Karlberg, 2009, Present and future water requirements for feeding humanity, *Food Security* 1, 59-69.
- Kajisa, K., and E. Payongayong, 2011, Potential of and constraints to the rice Green Revolution in Mozambique: A case study of the Chokwe irrigation scheme, *Food Policy* 36, 615-626.
- MacDonald, A.M., H.C. Bonsor, B.É.Ó. Dochartaigh, and R.G. Taylor, 2012, Quantitative maps of groundwater resources in Africa, *Environmental Research Letters* 7, 024009, doi:10.1088/1748-9326/7/2/024009.
- Nakano, Y., I. Bamba, A. Diagne, K. Otsuka, and K. Kajisa, 2011, *The possibility of a rice Green Revolution in large-scale irrigation schemes in Sub-Saharan Africa*, World Bank Development Research Group, Policy Research Working Paper 5560.
- Rockström, J., M. Lannerstad, and M. Falkenmark, 2007, Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 6253-6260.
- Rockström, J., M. Falkenmark, L. Karlberg, H. Hoff, S. Rost, and D. Gerten, 2009, Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change, *Water Resources Research* 45, W00A12, doi: 10.1029/2007WR006767.
- You, L., C. Ringler, U. Wood-Sichra, R. Robertson, S. Wood, T. Zhu, G. Nelson, Z. Guo, and Y. Sun, 2011, What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach, *Food Policy* 36, 770-782.
- 佐藤正弘, 2015, 『水資源の国際経済学——気候・人口問題と水利用のネットワーク化』, 慶應義塾大学出版会
- 佐藤正弘, 仲山紘史, 2014, 「多地域間産業連関 (MRIO) モデルを用いたバーチャル・ウォーターとバーチャル・ランドの推計」, *KIER Discussion Paper* 1405.

アフリカにおける作物生産の特色

ーサバンナ開発との関連でー

伊藤 治 (元国連大学)

農業開発を開発される側の農民の視点で概観すると、第一に問題となるのは開発の主要な対象が農民を取り巻く環境の中の何であるのかということだと思われる。農民を取り巻く環境としては、先祖代々から受け継がれている土地（土壌）、気候、利用可能な投入資材や作付け体系、公的機関の政策やマーケットや流通といった社会的要因等が挙げられる。この中で前2者は、選ぶことは可能ではあるが、改変するのはほとんど困難かまたは膨大な資本投入が必要とされる。灌漑水利施設の構築や収穫物の流通網の拡大と迅速化のための道路建設等の事業も多くなされているが、直接的な受益者の数は限られていると言わざるを得ない。特に肥料や農薬といったような投入資材の使用さえままならないアフリカ地域では、開発の対象となりうる選択肢は限られている。その中で、作物種や作付様式等を含む作付体系は、農民のもっとも身近にあるもので、農民が選びまた創造していくことができるもので、農民の需要にかなうものであるならばその波及効果も高いことが期待される。そこで本講演では、土壌と作物栽培を関連付けながら、現在進行中の我が国主導によるアフリカの農業開発事業を取り上げ、開発対象としての作付体系に着目して現状や問題点を探ってみることとする。

1. 作付体系と作付様式

表1 主要な作付様式

- 複合栽培、多毛作 (Multiple Cropping、狭義)
1年のうちに2作物以上を順番にまたは同時に同じ圃場で栽培する
- 混作 (Mixed Cropping)
2作物以上を同時に同じ圃場で畝を作らずに栽培する
- 带状栽培 (Strip Cropping)
土壌侵食を軽減するために、等高線や風向きに沿って带状に栽培する
- 間作 (Intercropping)
2作物以上を同時に同じ圃場で畝に分けて栽培する
畝間作 **row intercropping**
リレー間作 **relay intercropping**
- アレイ栽培 (Alley Cropping)
木本や灌木の間に作物を栽培する
- 輪作 (Crop rotation)
同じ圃場でいくつかの作物をサイクル的に順次栽培する
休閒輪作 **fallow rotation**

作付に関わるこの2つの用語の使用においては、たびたび混同が認められるので、ここでは以下のように定義しておくこととする。作付体系 (cropping system)は、営農の中で、収量、品質、収入、労力、持続性、環境への負荷などを考慮して、最良となる作物の組合せ、作付け順序、品種、作付様式等、作物の栽培方法の全体のことをいう。作付様式 (cropping

pattern) は、作付体系の中の一つの要素で、年間の栽培スケジュールの中で、それぞれの作物をどのように栽培するかという仕方で、主なものとして表 1 のようなものが挙げられる。

2. アフリカサバンナ

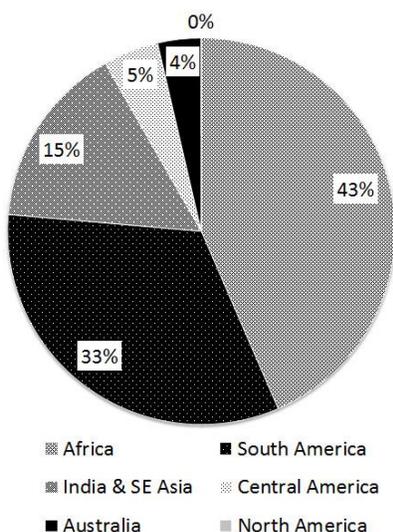


図 1 世界におけるサバンナの分布 (面積比)

サバンナとは、ケッペンの気候区分で定義されているものであり、1) 最寒月平均気温が 18°C 以上、2) 年平均降水量が乾燥限界以上、3) 最少雨月降水量が 60mm 未満かつ (100-0.04×年平均降水量) mm 未満という条件を満たしている地域を指している。ここで、乾燥限界とは、一般的な樹木が生育するのに必要最小限の降水量で、 $20(t+x)$ で求められる (t: 年間平均気温、x: 降水パターンの条件により決まる項で 0, 7 or 14)。サバンナは全陸地面積の約 11% を占め、アフリカに 43%、南米に 33% 分布し、これら 2 大陸で全体の 2/3 に至っている (図 1)。アフリカのサバンナは 7 億 ha に及び、そのうち 4

億 ha が可耕地であるとみられるが、10% 程度しか利用されていない。農業活動に

適した環境を有するサバンナのより一層の有効活用が、今後のアフリカの発展の鍵となっていると言っても過言ではない。

3. アフリカサバンナと天水農業

表 2 アフリカとアジア諸国の灌漑率

灌漑率		灌漑率	
アフリカ国名	%	アジア国名	%
Egypt	99.6	Japan	82
Mauritius	24.2	Pakistan	75
Morocco	4.7	South Korea	54
Swaziland	3.7	North Korea	42
CaboVerde	2.6	Sri Lanka	39
Libya	2.0	Thailand	30
SouthAfrica	1.6	India	28
Guinea-Bissau	1.5	China	28
Madagascar	1.3	Bangladesh	28
Algeria	1.1	Vietnam	25
Africa	3.9	Asia	30

Data source: FAO

Data year: 2009 for Africa, 1998 for Asia

作物生育は水によって大きく左右され、水の供給が人為的に制御できるかどうかで農業形態も大きく異なってくるため、灌漑農業と天水農業とに大別される。表 2 にあるように、アジアでは灌漑率が平均で 30% に達しているのに対して、アフリカでは 4% に達していない。このことから、アフリカのサバンナでは、水供給を降雨に頼る天水農業が主要な農業形態であることが容易に推察される。天水農業は、その行われている水環境に基づいて、天水低湿地と天水乾燥地に大別される。前者では、作付期間中にほぼ適量で分布バランスのとれた降雨パターンが

期待でき、過剰な降雨の排水が問題なる。後者では、不十分且つ不規則で、短期間に集中するような降雨パターンで、蒸発散量が年降水量を上回る負の水バランスのため節水

栽培が重要となる。両者はいずれも洪水や旱魃のリスクにさらされており、リスクを軽減または分散させるような様々な農法が編みだされてきている。リスク分散の一つの方法として作付様式があり、天水農業では1農家が1作物種だけを栽培する単作という形式はほとんどとられず、複合栽培、混作、带状栽培、間作、アレイ栽培、輪作といった様式が大半を占める（表1）。

このような天水農業地帯を対象とした農業開発のスキームとしては、トップダウンアプローチを主体とした中・大規模開発と、ボトムアップアプローチによる小農支援を主体とした小規模開発が融合し、現地農家の大多数を占める小農が開発の利益を享受できるような持続的発展に資することが望まれる。前者からは、農業投資による地域開発やプランテーション型農業の導入等により、雇用機会の増大や生産性の向上が期待できる。後者からは、研究や普及組織の協働によって、小農の意識強化、技術向上、組織化等が促され、自給自足的農業から利益追求型農業への脱皮が期待できる。

4. モザンビークのサバンナでの活動 —畑作—

モザンビークは国土の半分以上がサバンナ気候帯に属し、中部・北部の多くがこの気候帯で、南部の海岸沿いにもサバンナが見られる。主要作物はトウモロコシとキャッサバで、北部ではキャッサバが、中部ではトウモロコシが優占している。北部は農業地帯で、トウモロコシ、ソルガム、ミレットの3穀物の単位面積当たりの収量は他の2地域よりも高いが、それぞれ1.6、0.7、0.6（2009/10年）で先進農業国と比較すると圧倒的に低いのが現状である。

我が国はモザンビーク、ブラジルと共に、この北部地域のナカラ港から内陸部マラウイ湖に近いリシंगाまでの東西850km近い幹線道路の周辺10万km²にも及ぶ地域を対象とした総合開発プロジェクトを2010年から開始した。地域の主要産業が農業であるので、第一段階として、農業開発のための基本調査に基づく科学的情報の集積に力が注がれている。地形に関しては、東から西に向けて標高が高くなり、リシंगाでは1400m近くになる。降雨量も海岸近くでは750-1000mmの半乾燥熱帯地域が分布するが、西に向かうに従い高くなり、2000mmを超える地域も一部見受けられる。温度は主に標高によって支配される分布パターンとなっている。土壌に関しては、砂質土壌が広がっているが、砂含有率は海岸近くで90%を超える地点や80%以上の地域が広がっているが、西部では70-80%の地域が多くみられる。pHは海岸付近の石灰質土壌の地点では高い値を示すが、その他では7以下が多く、平均で6.5となっている。可給態リン酸（Mehlich 3）も西に向かうに従って高まる傾向を示すが、40mg/kg以上の地点がほとんどで可給度は高いと考えられる。その他の指標を考慮しても問題土壌は局地的に存在するかもしれないが、土壌はおしなべて或る程度の生産性が期待できるものであると推察される。

作付様式を見てみると、キャッサバ、トウモロコシ、ソルガム、キマメ等の作物が広く栽培されているが、それら単独での栽培よりも他の作物との混作といった形が多く認められる。リスク回避が主な目的であろうが、規則性のない植え付け方法からみても高収量が期待できない粗放的な栽培であることが窺われる。そこで、主食作物であるトウモロコシと新規導入作物で換金作物でもあるダイズとの組み合わせの間作体系を提案し、4ヶ所の試験場での栽培試験を実施した。間作は単作よりも単位面積当たりの収量が10-40%高まり、特に干ばつなどの異常気象時でその効果が高いことが示された。現在、農家圃場を使った実証試験が行われている。

5. ガーナのサバンナでの活動 –稲作–

世界のコメの90%以上がアジア地域において生産されている。アフリカの生産量は全世界の4%にすぎないが、イネ栽培はアフリカ各国に広がっている。これはアフリカへの稲作の伝播が今から2000年くらい前より始まり、アメリカやオセアニア大陸よりも古いイネ栽培の歴史を有していることと関係があるように思われる。アフリカには在来栽培種である *Oryza glaberima* があるが、これとアジアの品種とを掛け合わせたネリカ (New Rice for Africa, Nerica) が1994年に開発された。ネリカには在来種と比べて生育期間が短く、高い収量性、耐病害虫性、耐乾性、タンパク含量といった特徴が備わっている。JICAは、稲作に関する我が国の技術・知識・経験並びにネリカの優れた能力を活用したアフリカ地域を対象とした稲作振興事業 (Coalition for African Rice Development, CARD) を2008年から開始した。プロジェクトは、バリューチェーン、栽培環境、人材育成、南南協力の4つのアプローチを柱として、「10年間でアフリカのコメ生産量を1400万トンから2800万トンに倍増」することを目標に掲げ、参加23カ国を二つのグループに分けて運営がなされている。

CARDはイネの生産増大を目指したプロジェクトであるが、イネは湛水といった水分過剰から乾燥といった水分欠乏の幅広い水分状態に適応した唯一の主要穀物である。アフリカでは、気候変動に伴う降雨状況の変化により、降雨に依存した天水農業が大きな影響を受けることが予測されている。現行の作付体系への稲作導入を拡大することは、気候変動対処策としても大いに効果を上げることが期待される。このような点を意図して、JICAとJSTが支援する地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development, SATREPS) の中で、ガーナの北部を対象として行っている活動を以下に紹介する。

プロジェクトサイトとしては、ガーナ北部のNorthern州とUpper West州の州都であるタマレとワー近郊の6村と4村が抽出された。ワーはタマレの北西200kmほどのところに位置するが、両者の49年間の平均降水量は、1099mmと1022mmでほとんど変わらず、月別降水量もほぼ同様なパターンを示している。トウモロコシ、ソルガム、トウジンビエ、イネといった穀物、ササゲ、ラッカセイのような豆類、イモ類としてはヤ

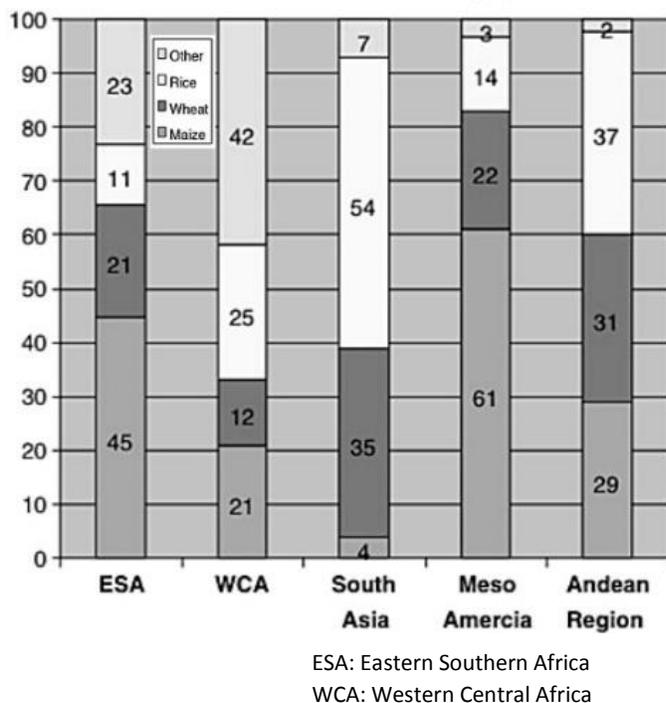


図2 穀物別カロリー依存率 (%)

ムなどが広く栽培されており、1農家でこれらの内3から4種類を栽培している例が半数を優に超える。栽培作物の多様性は、現地の人々の穀物別カロリー摂取率とも深くかかわっている(図2)。南インドやメソアメリカでは、イネや小麦からのカロリー摂取が50%を超えるが、アフリカ地域ではカロリー依存率が分散している状況が見て取れる。

稲作導入率は、タマレで64%、ワーで20%と大きな違いが見られる。農家が報告するイネ収量においても前者で0.8t/ha、後者で0.4t/haと約2倍の差が認められる。これには、土壌の物理化学性、栽培目的(販売、自給)、栽培経験年数、耕起法(トラクター、家畜、人力)等が影響していることが考えられる。

畜、人力)等が影響していることが考えられる。

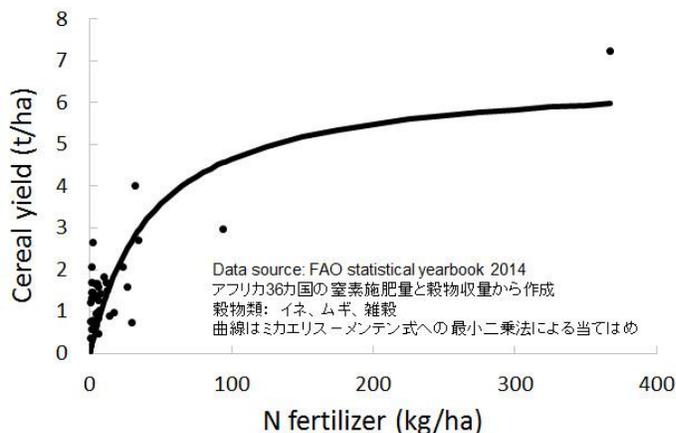


図3 施肥窒素に対する穀物類の反応 (2011)

施肥については、両者とも8割以上が無施肥で栽培しており、肥料を使用した農家の施肥効果が認めにくくなっているものと見られる。FAOのアフリカ諸国における穀類への窒素肥料の投入量と収量のデータから、施肥窒素に対する反応曲線を求めると(図3)、100kg/ha位までは施肥効果が期待できることが予想される。

また、NPK肥料の中では、窒素が収量との相関が最も高く(0.84)、PとK

では0.43と0.27と著しく低くなっている。肥料投入量を増やし、適切な肥培管理をすることにより、プロジェクト対象村でのイネ収量の増大が期待できる。

稲作導入に関与する要因を探ってみると、タマレでは、イネ以外の作物栽培に力をいれ、その結果高い生産性を得ている農家ほどイネを導入し、家畜飼育の拡大によって経営向上を図る農家の多くはイネを導入していないという傾向が認められた。ワーにおいても、栽培の多様化を進めより多くの作物を栽培しその生産量も高い農家ほどイネを導入している傾向が認められた。以上の結果は、アフリカの天水農業地帯で稲作導入を進

めるためには、イネだけに注目するのではなく、他の作物種の栽培並びに家畜飼育等も考慮して、作付体系並びに農家経営の中で稲作を位置づけていく必要があることを示唆している。

6. おわりに

アフリカ地域においては、アジア特に東並びに東南アジアと比べて多種多様な作物が栽培され、カロリー源として食されている。これは置かれている気候並びに土壌環境に深く関わっているのかもしれない。このため作付様式も種々雑多なものを含めると非常に変化に富んでいる。アフリカ地域では、種子と肥料をパッケージ化した開発プログラムが実施されることが多くあるが、対象とする作物が作付体系の中でどのような役割を果たしているのかを十分に理解したうえで、戦略を立てる必要がある。単一作物栽培を強制的に押し進めることは、農家の現実に即さない場合が多々あることを留意すべきである。

農耕地土壌は長い年月をかけてその土地を耕してきた農民の手によって作られてきたものであり、農民による作物栽培にとっては欠かすことができないものである。だからこそ土壌に依存して生きている作物、ひいては人間との関連の中で土壌を捉える必要があり、その逆もまた必要である。いかなる農業開発事業においても土壌は基盤的・中心的存在となりうるが、他の様々な要因との関連付けを行い総合的な観点に立った開発計画を構築できるかが事業の成否を握っていると言える。

アフリカにおける地域開発支援に関する技術論の課題と展望 —人びとの暮らしと土壌や生態環境との関わりをめぐって—

総合地球環境学研究所 田中 樹

1. はじめに

発表に先立ち、本シンポジウム「土壌はアフリカを養えるのか」の解題をしたい。このテーマを目にしたときに咄嗟に浮かんだのは、『土壌は「日本」を、「アジア」を、「世界」を養えるのか』という類似する幾つもの問いであった。化学肥料や農薬、化石燃料など外部投入を前提とする生産活動により支えられているという事実を考えると、この問いが土壌に賦存する養分資源のみに依存するという文脈に立つのであれば、アフリカに限らずどの地域においてもその答えは「否(養えない)」であろう。一方で、暮らしや生業、社会、生態系を支える多面的な機能や役割をもつ基盤として土壌を見るならば、その答えは「可(養える)」となる。そのためには、それを利用し維持する私たちの側—例えば、地域住民や実務者あるいは研究者—の土壌への理解の深化とその活用方法(管理技術)の更なる創発が求められる。さらには、世界人口が70数億を超え、遅まきながら経済発展の波がアフリカを洗い始めているなかで、従来の土壌や農業(アフリカの実態に即せば幅広くは牧畜やそれらを複合した生業と呼ぶべきか)への認識や管理技術および地域開発支援の方法論をあらためて検証し更新することが必要になるかも知れない。

本発表では、土壌へと関心を寄せつつ、アフリカの土壌を含む資源・生態環境、人びとの暮らしや生業、文化・社会・経済などへの私たちの能動的な関わりの一つである地域開発支援について、西アフリカ半乾燥地(ニジェール、ブルキナファソ)や東アフリカ山間部(タンザニア)での事例を紹介し、本シンポジウムでの意見交換の材料としたい。

2. 事例1: 西アフリカ半乾燥地の砂漠化対処をめぐって

2-1 対象地域の概要と砂漠化の背景

(1) **対象地域**: 西アフリカ・サヘル地域は、セネガル、モーリタニア、マリ、ブルキナファソ、ニジェール、チャドそしてさらに東方のスーダンへと至る地域である。年降雨量が150mm~500mmのサヘル・サバンナ帯に位置し、ここには夏雨地帯の農耕限界線(年降水量250mm~300mm)が含まれる。それ故、サヘル地域は、複数の民族(農耕民と牧畜民)が居住する農牧混交地域であり、それぞれの生業が植生や土地資源をめぐって季節的に交錯するという特徴を持つ。この地域には、東西に延びる古砂丘帯と周辺部に砂質土壌が広く分布し、トウジンビエやササゲなどの天水耕作に利用されている。この砂質土壌は、風や水による土壌侵食に対して脆弱であるものの、一般に認識されているのとは逆に、その土層の深さに由来する養水分の保持能力など高い潜在性を有する。不規則な降雨により頻発する干ばつは、人びとの暮らしを脅かし貧困の連鎖を生む背景となってきた。

(2) **砂漠化の背景**:この地域では、1960 年台以降、人口増加や人間活動の拡大により資源・生態環境への圧力が増大している。右肩上がりの人口増加と対応するように農耕地面積も増える一方で、一人当たりの農耕地面積は減少傾向にある。その変化は衛星画像でも容易に観察できる。ニジェール西部の村落の衛星画像を例にとると、1966 年の画像のほとんどを占める自然植生や休閒植生が、2007 年のものでは、細分化された数多くの農耕地に置き換わっている。このことは、耕作後に休閒植生に戻し年月をかけて土壌の肥沃度を回復することを意図する在来の休閒システムが成り立ちにくいことを意味している。耕作期間が長引くこと(連続耕作となること)で、作物の収穫に伴う養分の持ち出しが続く。同時に、土壌表面が風雨にさらされる期間が増え、風や雨による土壌侵食が加速する。このことが、土壌肥沃度の低下をさらに押し進め、作物収量が低下し続ける。この悪循環が、土地荒廃と貧困を内容とする砂漠化の典型的なプロセスの一つである。

2-2 砂漠化認識と技術論への内省

わが国を含む『国連砂漠化対処条約(UNCCD 1994)』の批准国には、問題解決のための学術研究と社会実践の両面での貢献が長らく求められてきた。一方、国際社会による様々な努力が積み重ねられてきたものの、批准から 20 年近くが経過してもなお顕著な進捗が見られないというとする厳しい指摘がある。それは何故なのか？

(1) **砂漠化認識をめぐる誤謬**:砂漠化対処や地域開発支援の大前提は、砂漠化問題や対象地域の状況や社会・生態環境を的確に理解することである。ところが、砂漠化に関する認識には、未だに混乱が見られる。例えば、乾燥化に伴う気候生態区分としての砂漠の拡大(Desertization)と人間活動に起因する資源・生態環境の劣化や土地荒廃の広がり(Desertification)が、しばしば区別されることなく「砂漠化」という言葉で括られる。砂漠化対処条約(UNCCD 1994)の定義から、後者であることは明らかであるにもにもかかわらず、前者のような「砂漠化＝砂漠の拡大」を含む認識を起点とする対処法の提案がしばしば繰り返される。その典型例が、「砂漠の緑化」であり「砂漠の拡大を防ぐための長大な植林帯の設置(参照:Great Green Wall for the Sahara and Sahel、<http://rea.au.int/en/content/great-green-wall-sahara-and-sahel>)」である。西アフリカに限って言えば、砂漠の緑化は、「砂漠」という自然生態系の破壊を招く恐れがあるし、もし文字通り砂漠気候下での植林を意図するのであれば、灌漑などの手段が必要となり現実的ではない。西アフリカ半乾燥地での植生の減少(裸地の増加)は、「長大な植林帯」のより湿潤な側での農耕地の拡大や家畜飼養頭数の増加、薪炭材あるいは家畜飼料の採集により起こったものである。過去にも何度か類似の提案があったが、このような取り組みが呼称の通りの意味ではなく、関係諸国による砂漠化対処を総称する象徴的なものであることを祈りたい。

(2) **対処技術をめぐる誤謬**:1970 年代初頭および 1980 年代中盤の大干ばつを契機とするいわゆる「砂漠化キャンペーン」により定着した砂漠化認識は、「過耕作、過放牧、過剰伐採、乾燥化」など実態不明瞭な原因と「移動砂丘、裸地の拡大、侵食された大地」という末期的な荒廃景観を用いる図式であった。これは国際社会の目を砂漠化問題に向け、砂漠化対処への行動計画や様々な対処活動の契機となった。一方で、このような認識を起点とする、末期的な荒廃景観を修復しよう

とする構想や対処技術が幾つも提案された。これらは、地域住民の感覚からすると多大な経費や労力、資機材の投入が必要であり、それなしで実践できる地域や住民は限られている。すでに定着した認識を修正することは簡単ではないが、むしろ、荒廃の初期段階での対処や予防措置に意識を置くことはできないか？

砂漠化対処や地域開発支援では、さまざまな技術が考案され利用されている。その経験や知識、技術には、先人のたゆまぬ努力による在来技術や新規技術を含めた膨大な蓄積がすでにある。これまでに砂漠化対処や地域開発支援で採用されてきた技術を思いつくだま列記すると、以下のものがある：テラス、帯状耕作、等高線畝、等高線溝、半月工、土堤、石堤（石列）、草列、土のう、防風林、防風垣、植生被覆（マルチ）、草方格、砂丘固定（各種）、不耕起、最少耕起、深耕、穴耕（ザイ、ピット）、集水溝、ため池、粘土客土、ゼオライト、保水ポリマー、種子団子、緑肥、堆厩肥、家畜糞散布（パルカージュ、コラリング）、土地囲い、かんがい（各種）、地下ダム、改良かまど、長大なグリーンベルト（植林帯）など。それぞれに科学的根拠や合理性があるのは確かであるが、それは個々の技術の範囲内でのことである。また、これらを、対象地域の社会・経済状況や生態環境、人びとの問題意識やニーズに照らしたとき、必ずしも適切とはいえないものがしばしば見られる。これらの技術群を実効あるものとして活用するには、対象地域の社会・生態環境の特徴や人びとの暮らしの実態と対処技術との親和性を高めることが必要である。また、定番化した既存技術や住民参加型アプローチにもこの視点を加えた丁寧な検証と改良が求められる。発表では、『地域の人びとが対応できる「労力」、「経費」、「域内の資材」で賄えるか』と『日常の生業活動のなかで無理なく（あるいは片手間に）継続的に行えるかどうか』の視点を加えた検証を試みる。

2-3 親和性や実践性の高い実効ある対処技術とするには

砂漠化問題の深刻さと解決への進捗の遅れは、その原因が人びとの暮らしを支える農耕や牧畜、薪炭採集など日常的な生業活動に由来している点にある。砂漠化の原因を維持しながらその対処を余儀なくされるのである。砂漠化問題は、資源・生態環境の劣化にとどまらず、貧困問題と不可分に結びついている。そのため、実効ある砂漠化対処には、単なる資源・生態環境の劣化の予防や修復だけではなく、同時に人びとの暮らしを向上させることが求められる。そのためには、人びとの暮らしの安定や生計向上に資する生業活動を通して、結果として（あるいは間接的に）資源・生態環境の保全や砂漠化抑制が図られるような技術設計が必要である。また、砂漠化地域の多くが貧困地域であり、いわゆるグローバル化や経済発展のなかで取り残されていく地域やコミュニティ、情報や知識に触れる機会に恵まれず何らかの取り組みに参加したくてもできない弱い立場や状況に置かれている人びとがいる。砂漠化対処には、このような人びとの存在を強く意識し、外部者（研究者や技術者、援助団体の方々など）と地域の人びとが知恵や経験を持ち寄り、組み合わせ、何かを作り上げるプロセスを共有し、無理なく実践できるような技術やアプローチをできるだけたくさん生み出すことが大切である。

2-4 「耕地内休閒システム」と「アンドロポゴンの草列」

ここでは、砂漠化や地域開発支援に向けた対処技術として、「耕地内休閒システム」と「アンドロポゴンの草列」を紹介する。前者については、土壤肥料学会などを中心にすでに成果発表されているので、本要旨での記載にとどめる。後者は、対象地域の人びと(特に「篤農家」と呼ぶ人材)とともに在来技術をベースとして作りつつある対処技術である。

(1) **耕地内休閒システム**: 「耕地内休閒システム」は、乾季の風による侵食(風食)を抑制し、同時に作物収量を増やす技術である。1年目の雨季に、農耕地のなかに幅5mの休閒植生帯を30m~60mの間隔をおいて作る。この地域に吹く風は、大部分が東あるいは北東から吹き付けるため、休閒植生帯の方向はおおよそ南北に設定すれば十分である。この休閒植生帯は、播種や除草をしないことで雑草が繁茂することにより形成される。乾季には、その植生帯が季節風により運ばれる肥沃な土壌や粗大有機物(家畜糞、作物の断片、虫の死骸、虫の糞など)を捕捉する。これ自体が風食抑制であり、吹き寄せられたものにより土壌肥沃度が向上する仕組みとなる。翌年以降、休閒植生帯の位置を風上にずらすことで、農耕地全体の作物の収量を徐々に向上させることができる。ニジェールでの実証試験では、風食抑制効果は65~75%程度、作物の増収効果は30~50%程度であった。

この対処技術の特徴は、①経費や労力、資材を必要とせず、地域の人びとが日常の生業活動の範囲内で片手間に実施できること;②従来の防風林や防風柵のように風に立ち向かうのではなく、風をいなして運ばれる土壌や有機物を捕捉すること;③肥沃度資源の捕捉だけではなく、薄く堆積する砂層が雨水浸透の促進や土壌水の蒸発抑制に働き作物生育を助けること;④穀実収量の向上だけではなく、生活資材や家畜飼料となる茎葉が得られること。一方で、この技術の弱点は、①導入の初年度に収量減となること;②乾季前半の家畜による休閒植生帯の食害である。なお、この対処技術は、本来であれば風食により農耕地の外に持ち出されてしまう土壌や有機物に含まれる養分を一時的に留めておくものであり、その導入により長期間にわたり増収効果が維持できるわけではない。その意味で、これは風食や肥沃度低下を緩和する過渡期の技術と捉えるのが適当であろう。

この対処技術の適用範囲を知り広く普及させることを目的に、国際協力機構(JICA)草の根パートナー型技術協力事業『ニジェール共和国・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、実施団体:地球・人間環境フォーラム)』を行なった。事業終了時点で、ニジェールの3州23県82村439世帯が耕地内休閒システムを導入した。学術研究を社会实践につなげた事例である。残念ながら、治安悪化に伴いニジェールでは首都ニアメーを除き入域制限がかかっているため、その後の耕地内休閒システムの普及・定着状況を調査できずにいる。首都から日帰り圏内の村落を対象に、現地NGOに委託して細々と普及とモニタリングの活動を継続中である。

(2) **地域の人びととつくる「アンドロポゴンの草列」**: 既に述べた耕地内休閒システムが住民有志の協力を得ながら研究者主導で開発されたのに対し、ここに挙げる「アンドロポゴンの草列」は、在来技術の再評価を経て地域の人びととつくり上げようとする対処技術である。これは、自生する多

年生イネ科草本アンドロポゴン (*Andropogon gayanus Kunth*) とブルキナファソを発祥とする在来技術であるザイ(後述)を組み合わせ、農耕地に等高線状に配することで水による土壌侵食を抑制し、一方で穀物倉の材料や生活資材(あるいはこれらの域内市場での販売による現金収入)を得るという内容を持つ。

アンドロポゴンは、比較的水掛かりのよい土地に自生し、ブルキナファソやニジェールでは穀物倉などの資材として使われる。束にしたリゴザに編んだものは、域内市場で取引される。アンドロポゴンは自生する土地の所有者が優先的に採集し、その後、一般に開放される。その際、競争的な採集になるため、時間を割けない者や寡婦世帯、高齢者世帯などがアンドロポゴンを手に入れることは容易ではない。野生植物であるアンドロポゴンを自身の農耕地で栽培することができれば、そのような状況が改善できると考えた。植栽には、ブルキナファソ北部の在来技術であるザイの技法を用いた。すなわち、乾季の農閑期に簡単な農具で直径 20cm 深さ 15cm 程度の穴を掘り、そこに粉碎された家畜糞を投入し、雨季に入ってからトウジンビエ作の合間にアンドロポゴンの株を移植するかあるいは種子を播く。株を移植した場合は、家畜糞の効果もあり生育が旺盛なためその年に若干でも収穫が期待できる。ブルキナファソでは、農耕地の境界にアンドロポゴンを植栽している風景をよく見かけるが、これを 3~5m 幅に 3 列ほど等高線状に配すると水により運ばれる粗大有機物を捕捉することができる。土壌表面を流れる水の流速が抑えられることにより、土壌侵食の抑制や土壌中への水の浸透を助けることが期待される。試算では、総延長 100m の 3 列のアンドロポゴンから 1~2 ヶ月分の食糧に相当する収穫(現金収入)が得られそうである。野生植物に家畜糞を施すという意外性を除けば、「アンドロポゴンの草列」という技術の構成要素は、地域住民にとってわかりやすく、種々の工夫(植栽間隔、列の本数、石列や石堤との組み合わせなど)の余地を残している。ザイ(植穴)を設ける手間を除けば、現地で入手できる資材(株や種子、家畜糞、簡単な農具)を用いて実施可能であり、アンドロポゴンの生育を見ながらその効果を実感することができる。すなわち、地域住民にとって親和性のある技術だと考えられる。そのためであろうか、住民有志の農耕地を用いての幾つかの試験サイトの周辺では、関心ある住民との間に学び合いと教え合いが起こっている。

この技術は、ニジェールやブルキナファソにおいて住民有志とともに開発と実証に取り組んできたものであり、それ故に多分に経験則的であり、現段階では耕地内休閑システムのような定量的なデータを伴ってもいない。しかし、このことは、形成途上にある技術の価値や潜在性を減ずるものではないだろう。何故なら、この技術の個々の構成要素(例えばザイや草列)はすでに行われており、経験的にその効果が知られているためである。この取り組みは、地域住民が持つ在来知と私たちの科学知識を組み合わせることで何らかの技術のひな形を形成し、毎年繰り返される生業活動の中で工夫や修正を凝らし経験則を緻密化していくという作業である。確立された技術として報告する段階にはないが、地域住民とともに形成した対処技術としていずれ公表し、砂漠化地域での広域的普及の可能性を探っているところである。

3. 事例 2: 東アフリカ山間地域での暮らしの向上と生態環境保全

3-1 対象地域の概要

この事例の対象地域であるタンザニア東部・ウルグル山域は、主要都市ダルエスサラームから 240 kmほど内陸に位置する、南北に 120km、東西に 60km、最高標高が 2,600m を越える大きな山塊である。インド洋から吹き付ける東風(貿易風)を受け、東側斜面では年降水量が 2,500mm～3,000mm に及び、乾季でも時折降雨がある。行政区としては、モロゴロ州のモロゴロ・ルーラル県とヴォメロ県に含まれる。最寄りの都市は交通の要衝であり国内でも有数の農産物の集散地となっているモロゴロ市である。ウルグル山域には、主にワルグル(Waluguru)と呼ばれる民族が居住し、焼畑でのメイズ、陸稲、インゲン豆、キャッサバ、タロイモなどの主食作物、キャベツなどの商品作物、屋敷林からのバナナやパンの実、ジャックフルーツ、マンゴー、種々の香辛料作物(クローブ、コショウ、シナモン、カルダモンなど)の栽培がおこなわれている。山間部であるため農耕地の面積が小さいことと母系相続などにより所有地の分散が起こっていることから、農業においてスケールメリットが出にくい反面、小面積多品目かつ時差的な作物生産が可能な地域である。

急峻で複雑な地形により、ウルグル山域を周回する道路はもとより、尾根や斜面に点在する村落をつなぐ道路網は未整備である。植民地時代からのキリスト教ミッションにより開かれた西斜面の一部地域を除き、特に標高 800m を越えるところに位置する村々は、斜面を縫うような小道により結ばれ、人びとの移動や物流はすべて徒歩による。流通や販路のアクセスがよいモロゴロ市に近いにもかかわらず、その恩恵にあずかされていない。このため、ウルグル山域の大部分は、タンザニア国内でも有数の貧困地域の一つとされる。また、標高 1,600m あたりから上部は森林保護区となっており、周辺地域やダルエスサラーム市の主要な水源となっている。その森林は、イースタン・アーク(東アフリカ東部からマラウイ、モザンビークへと断続的に連なる山塊や山脈)のなかでも、氷河期の名残ともいわれる多くの動植物の固有種をもつなど生物多様性の豊かな生態系であり、学術的にも潜在的な観光資源としても価値がある。

3-2 地域住民が直面する課題や開発支援ニーズ

グローバル経済の浸透に伴う海外からの投資の増加やエネルギー資源開発により経済発展が続くタンザニアではあるが、その一方で都市部と地域社会の経済格差が急速に拡大しつつある。見かけ上の経済発展のなかで、道路網などの社会インフラが十分には及ばない遠隔地域や山間地域の人びとは地域資源(土地や生態環境)に多くを依存する生業を続けている。また、これらの地域では、青年・壮年人口の域外流出が顕著であり、人口爆発が膾炙されるアフリカのイメージとは異なり、むしろ過疎化が進行している。経済的貧困と過疎化は、地域資源を収奪する生業(例えば、焼畑や森林伐採、火入れによる放牧地の維持、無施肥での連続耕作など)への依存度を大きくし、なおかつ、土地資源や生態環境の荒廃(例えば、土壌侵食、森林の草原化、裸地の拡大、土壌の硬化など)が起こってもそれを修復したり予防措置を講じたりすることを難しくしている。このような状況が時限を帯びて深刻化するなかで、現地政府や国際社会には、貧困削減と生態環境保全の両方を果たすための創造的な技術や地域開発アプローチの形成と自律的な実践展開が

求められている。

3-3 バニラ栽培と屋敷林システムの拡大—暮らしと資源・環境保全の両立に向けて—

対象地域であるタンザニア東部ウルグル山域も過疎化の進む貧困地域である。そこに住まう人びとの暮らしを維持するための焼畑耕作地の拡大は土壌劣化を進め、保護区内での樹木の盗伐は水源涵養機能の低下や貴重な森林生態系の喪失を招いている。そして、貧困がそれを加速させる「貧困と環境破壊のスパイラル」に陥っている。このような地域開発支援の現場では、「開発か、環境保全か？」という単純な二項対立的な認識は通用しなさそうである。

発表では、ウルグル山域の在来生業システムの一つである屋敷林システム (Home-garden Agroforestry system) に注目し、バニラ栽培の新規導入をその拡大と活性化の呼び水とし、人びとの暮らしの向上と生態環境保全の両立につなげようとする事例を紹介する。併せて、地域開発支援の取り組みをデザインする際に配慮すべき幾つかの項目についても解説する。

(1) **ウルグル山域の屋敷林システム**: 屋敷林システムは、アグロフォレストリーの一形態であり、樹高の異なる種々の樹木性の作物やバナナ、草本性の作物(メイズ、マメなど)が集約的に栽培される。タンザニアではキリマンジャロ山麓の「キハンバ(Kihamba)」が有名で、バナナとコーヒー樹と乳牛の舎飼いを中心とする生産システムは、資源・生態環境の持続的な利用法として知られている。ウルグル山域の屋敷林システムは、ココヤシ、パンノキ、ジャックフルーツ、マンゴーなどとともに香辛料作物(コショウ、クローブ、シナモン、カルダモンなど)が組み込まれている点に特徴があり、キリマンジャロ山麓のものと同様に生態・環境保全的な生産システムである。

(2) **バニラ栽培について**: バニラ (*Vanilla planifolia*) は、年平均気温が 20℃～30℃で年降水量が 2,000mm～3,000mm 温暖・湿潤な気候環境下で生育するラン科バニラ属の蔓性植物である。バニラは他の作物と異なり、陽射しの弱い屋敷林の中が栽培適地であるため、屋敷林の中の既存の樹木や作物と競合することなく未利用空間を活用できる。また、茶やコーヒーのようなモノカルチャーやエスレート農業とは異なり、世帯ベースの小規模経営に向いている。このことは、ウルグル山域の生業の実態(端的に言えば「小面積多品目時差的栽培」)に合致している。

バニラは生産地で加工することにより、付加価値を高めた状態で取引できる。新鮮な種子鞘を加熱処理し、防カビのための日光照射と暗所での保温静置を繰り返して発酵と乾燥を進め、バニラ・ビーンズ (vanilla pod) と通称される製品へと加工される。バニラ特有の風味や香味は、バニリンを主成分とし、これに数百種類の化合物が加わり生み出される。

東部アフリカでは、ウガンダ西部のブンディブギや南部のムコン、タンザニア西部のカゲラ州北部、タンザニア島嶼部のザンジバル島やペンバ島が主要な産地として知られている。主要産地であるマダガスカルやインドネシアなどと比べると、東部アフリカでの生産量は 1 割にも満たない。

(3) **生計向上**: バニラの市場価格は、通常 20～35 ドル/kg(製品重)で推移している。買付業者への引き渡し価格をかなり控えめに 5ドル/kg(製品重)、年間生産量を 100 kg/世帯(製品重)とすると、見込まれる収入は 500ドルとなる。「http://ecodb.net/country/TZ/imf_gdp2.html」を参照すると、タンザニアの一人当たり名目 GDP は、2003 年～2007 年と 2008 年～2012 年の 5 年間の平均

ではそれぞれ約 460 ドルと約 741 ドルである。現在の農村部の世帯年収を前者の水準(約 460 ドル)であると仮置くと、バニラ栽培による収入として試算される 500 ドル/世帯は、生計向上効果として極めて大きいといえる。加えて、市場性の高いバニラ栽培の導入により、買付業者を引き付け、併せて在来の屋敷林産品(香辛料作物やバナナ、マンゴーなど)の取引を増大させ、世帯収入が向上することが見込まれる。

バニラの国際市場には底堅い需要があり(市場が飽和しておらず)、価格の年変動はあるものの、コーヒーや茶、コショウ、シナモンなどの産品と比べると依然として市場性の高い産品である。それ故に、国内外の生産地との競争を心配する段階にはなく、むしろより多くの産地の数や生産規模を拡大する余地がある。

(4) 資源・生態環境の修復や保全－焼畑依存の低減と森林機能の代替－:バニラは他の作物と異なり、陽射しの弱い屋敷林の中が栽培適地である。そのため、バニラ栽培の拡大は、屋敷林の拡大を伴う。屋敷林の拡大は、屋敷林を構成する樹木性あるいは多年生作物(例えば、香辛料作物であり換金作物でもあるクローブやシナモン、カルダモン、ナツメグ、食用作物のパンノキ、バナナ)の増加や森林が持つ様々な機能(例えば、水源涵養)を代替してもつ土地の拡大に働く。また、市場性の高いバニラが仲買人を引き付け、同時に香辛料作物の買い取りが進めば、地域住民の労力は屋敷林システムの管理へと配分され、過酷な労働を伴い必ずしも土壌や生態環境に保全的ではない焼畑耕作への依存度が減少することになる。

なお、市場性の高い作物を導入する場合、そのみが生産されるというモノカルチャー化が懸念される場合がある。しかし、バニラ栽培ではモノカルチャー化する懸念はない。バニラは、早朝に手作業で授粉させないと落花することから、栽培世帯が投入できる労力により株数や面積が決まり、栽培面積が無制限に拡大することもバニラが野生化することもないためである。

3-4 人びとの暮らしとの親和性を高めるために

地域開発支援の文脈で、現地の生業や環境保全に関与する際に意識を向けるべきは、地域の人びとの暮らしやその安全に如何に資するかという点である。この事例での案件設計でも、生計向上や生態環境保全以外の観点(例えば、社会的弱者層への配慮など)に立った幾つかを検討項目に加えた。

(1) 地域資源によって成立する省力的な技術の設計:ウルゲル山域は、青年・壮年人口の都市部に流出し、人口構成(年齢や性別)に偏りを生じつつ顕著に過疎化している。従来の生業活動は、斜面地での焼畑耕作によるメイズ、陸稲、ササゲ、キャッサバなどの栽培が中心であり、刈り抜き・火入れ・耕起・播種・除草・収穫などに多大な労力を要し、男手なく高齢者や女性が行うには過酷である。このため、バニラ栽培の導入や屋敷林システムの振興が、このような人口構成の実態に沿うものかどうかを検討する必要がある。バニラの栽培は、他の作物栽培のような労力(耕起や除草)や外部資材(苗、農薬、肥料)を要さない。加工作業は、加熱処理(65~70℃程度のお湯に浸す作業)の工程のみ住民組織に委託さえできれば、その後は毎日の日遣り(カビよけのための1時間程度の日光照射)と暗所保存(布にくるみ箱にいれて静置)を4週間程度繰り返す工程で完了

する。栽培管理や加工にいたるまで、語弊を恐れずに言えば、片手間(短時間・軽労働)の作業により行えることが、バニラ栽培や屋敷林での香辛料作物栽培の特徴である。

(2) **社会的弱者層への配慮**:バニラは市場性が高いため、その栽培と加工、販売が首尾よく実現した場合、地域社会の中に経済的格差を生み出すのではないかと懸念が生じる。特に、高齢者や障がい者、寡婦世帯など「参加したくてもできない人びと」が取り残されていくことが起こりうる。これらの人びとをどう巻き込むか?この問いは、地域開発支援では常識となつて久しい「住民参加」について、その多くが「参加できる住民」の関与を前提としている現状へも向けられる。

対象地域の人びととの慎重で繊細な検討を要するが、例えば、郡役場の協力を得て小学校近くにコミュニティ・バニラ農園を開設することを考えている。これは、余力のある地域住民が協力して、参加できない高齢者や障がい者に代わってバニラ栽培や加工を行うという扶助活動である。この取り組みによる生産量は微々たるものではあるが、地域社会に弱者層を扶助することの意識付けを行う効果が期待できる。なお、小学校近傍にコミュニティ・バニラ農園を設けることで、地域の生態環境や生業を考える教材(広い意味の「環境教育」)とするなど副次的な効果も期待できる。

(3) **取り組みの持続性**:地域開発支援にかかるとの案件でも、事業終了後の継続性(あるいは持続性)は重要な関心事である。公共性が高い(すなわち現地政府が優先的に経費を投入できる)ものや経済性に優れる(収益が得られ活動に再投入されるという循環を生じる)ものであれば、おのずと持続性は担保されるが、地域社会の人びとの暮らしの向上や資源・生態環境の保全に資する取り組みにそれを期待することは難しいだろう(後者であれば、規模によっては可能かもしれない)。

この事例では、①対象地域にすでに存在する在来生業システムの構成要素として組み込むこと;②日常的な暮らしの営みのなかで無理なく取り組めること;③資材や経費、労力、人材を外部に多く依存しないこと;④とはいえ、外部との接触複合をもたらし機会を内包すること、を意識する。

4. おわりに

第二次世界大戦後、日本による途上国へ開発支援は、東南アジアや南アジアの英連邦諸国に対する資本・技術協力機構としての「コロボ・プラン」への参加(1954年10月)、そしてアフリカ支援は、経済協力開発機構・開発援助委員会(OECD-DAC)への加盟(1961年9月)を契機に始まった。アフリカ開発支援への日本の貢献は大きく、今後も相応の役割を果たしていくと思われる。

貧困問題や資源・生態環境の劣化、自然文化多様性の平準化(あるいは単相化)、在来知の消失が深刻化する現実を目の前にして、本シンポジウムに集う研修者や実務者—フィールド農学(土壌学を含む)を志向するもの—による地域開発論の研究や開発支援の現場への貢献の期待は大きい。僭越ではあるが、かつて日本やアジア諸国での食料生産や農業開発に貢献してきた同じ眼差しを、今一度もっと多く、アフリカという多様な文化・社会・生態環境に富む広大なフィールドとそこに住まう人びとの暮らしや社会、文化にも向けてはどうだろうか。

本シンポジウムが私たちに投げかける「土壌はアフリカを養えるのか」という問いは、これからの未来社会を担う私たちや次世代人材に向けられていることを真摯に受け止めたい。

謝辞

発表の際に紹介する知見や経験は、数多くの共同研究者や地域住民有志によりもたらされたものである。本要旨には特に明記しないが、心よりの感謝を添えたい。

アフリカ水田農法(Sawah Technology)による持続可能な稲作革命の実現 そして土と水の保全と平和構築

若月利之（島根大学 名誉教授）

2015年9月11日、日本土壌肥料学会公開シンポジウム「土壌はアフリカを養えるか」。一部は「現代農業」、2015年3月号と10月号で発表(<http://www.ruralnet.or.jp/gn/201503/iken.htm>)

はじめに

私は島根大学在職中の1986-9年、JICA（国際協力機構）専門家として、ナイジェリアの国際熱帯農業研究所(IITA)に派遣され、セネガルからコンゴまで、西・中部アフリカ全域の稲作地帯の土壌と地形と水、そして稲作システムを、4輪駆動車で5万キロを走破しながら調査した。又、ナイジェリア中部のビダ市付近のニジュール川支流の内陸小低湿地に散在する村々で、農民の自力で可能な灌漑水田開発と水田稲作技術（Sawah technology）の基礎的実証及び実証研究を開始した。これにより「水田はアフリカを救う」（若月、1989）ことを確信した。しかし当時のIITAや西アフリカ稲作開発協会(WARDA, 現AfricaRice)では水田の重要性については否定的な見解が多かった。当初は農民の稲作圃場の現場で実証研究として開田された水田が、そのまま維持管理され自律的に拡大することはなかった。日本の研究者からは陸稲優先や文化人類学的視点から水田帝国主義と批判されることもあった。ともあれ、以後30年、広大なアフリカでの歩みは遅々としていたが、近年、特に2008年のコメの国際価格の高騰以降、アフリカの水田稲作は急速な進化と発展の段階に入った。

1、爆発的に増加するアフリカの米生産とコメ消費

表1~5に示すFAOSTAT(2015年)のデータによれば、アフリカ（サハラ以南）の人口は過去50年で2.5億から9.5億人と3.8倍、米生産量は6倍増した。西アフリカではさらに顕著で、0.9億から3.3億人と3.7倍の人口増に対して、米生産量は9倍増した。この間一人当たりの年間コメ消費量は10kg以下から30kgと、アジア人のコメ消費の40%の水準に達した。一方、アジアは17億

表1. サブサハラアフリカの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。データソースはFAOSTAT2015、籾と精米の重量換算率は0.625 x 籾重量 = 精米重量とした。全データは各5年の平均値である。ただし、2008、2011-2013年は単年のデータ。

	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2008	2006	2011	2012	2013
	-1965	-1970	-1975	-1980	-1985	-1990	-1995	-2000	-2005		-2010			
人口(百万人)	247	280	319	367	423	487	559	639	727	829	829	897	921	945
作付面積(1000ヘクタール)	2694	3110	3556	4114	4469	5292	6222	6803	7453	8593	8611	9920	10577	10249
作付面積指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	70.2	81.1	92.7	107	117	138	162	177	194	224	225	259	276	267
灌漑面積(1000ヘクタール)	3719	4059	4430	4926	5422	6122	6731	7309	7646	7855	7858	8010	8086	8088
灌漑面積指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	79.5	86.8	94.7	105	116	131	144	156	163	168	168	171	173	173
籾生産量(1000トン)	3531	4330	5149	5835	6735	8830	10062	11243	12388	17068	17274	20500	22817	22604
籾生産量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	64.3	78.8	93.8	106	123	161	183	205	226	311	315	373	415	412
精米換算生産量(1000トン)	2207	2706	3218	3647	4210	5519	6289	7027	7742	10667	10796	12812	14261	14128
籾収量(トン/ヘクタール)	1.31	1.39	1.45	1.42	1.51	1.67	1.62	1.65	1.66	1.99	2.00	2.07	2.16	2.21
籾収量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	91.4	97.1	101	99.0	105	116	113	115	116	139	139	144	151	154
精米換算収量(トン/ヘクタール)	0.82	0.87	0.90	0.89	0.94	1.04	1.01	1.03	1.04	1.24	1.25	1.29	1.35	1.38
精米換算年間輸入量(1000トン)	600	696	904	1866	2847	3057	3838	4470	7754	8654	8953	10221	13486	
自給率(%)	78.8	79.5	78.1	66.9	59.6	64.2	62.1	61.2	50.0	55.2	54.3	55.6	51.4	
精米換算輸入価格(ドル/トン)	135	156	267	356	343	276	294	303	241	556	428	541	527	
精米換算年間一人当たりの消費量(kg/人)	11.3	12.1	12.9	15.0	16.7	17.6	18.1	18.0	21.3	23.3	23.8	25.7	30.1	

表2. 西アフリカの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。データソース、その他のデータ処理法は、表1と同じ

	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2008	2006	2011	2012	2013
	-1965	-1970	-1975	-1980	-1985	-1990	-1995	-2000	-2005		-2010			
人口(百万人)	90.3	101	114	130	149	170	195	222	253	289	289	314	322	331
作付面積(1000ヘクタール)	1515	1603	1826	2137	2434	3095	3817	4207	4725	5251	5314	5947	6641	6433
作付面積指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	76.4	80.9	92.1	108	123	156	193	212	238	265	268	300	335	325
灌漑面積(1000ヘクタール)	426	449	504	558	606	674	758	921	1108	1216	1218	1282	1290	1292
灌漑面積指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	80.2	84.6	95.0	105	114	127	143	174	209	229	229	241	243	243
籾生産量(1000トン)	1571	2035	2430	2890	3683	5119	6171	6948	7383	10391	10224	12116	14618	14574
籾生産量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	59.1	76.5	91.4	109	138	192	232	261	278	391	384	455	549	548
精米換算生産量(1000トン)	982	1272	1519	1807	2302	3199	3857	4342	4614	6494	6390	7573	9136	9109
籾収量(トン/ヘクタール)	1.04	1.27	1.33	1.35	1.51	1.65	1.62	1.65	1.56	1.98	1.92	2.04	2.20	2.27
籾収量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	77.3	94.7	99.2	101	113	123	121	123	117	148	143	152	164	169
精米換算収量(トン/ヘクタール)	0.65	0.79	0.83	0.84	0.95	1.03	1.01	1.03	0.98	1.24	1.20	1.27	1.38	1.42
精米換算年間輸入量(1000トン)	333	403	477	1188	1809	1852	2401	2801	5043	5496	5574	6309	8821	
自給率(%)	74.9	75.9	76.1	61.9	56.0	63.0	61.6	60.9	47.7	54.2	53.1	54.6	50.9	
精米換算輸入価格(ドル/トン)	133	148	253	362	342	261	274	291	232	545	413	516	520	
精米換算年間一人当たりの消費量(kg/人)	14.5	16.6	17.5	22.9	27.6	29.6	32.2	32.1	38.2	41.5	41.3	44.3	55.7	

から 43 億人と 2.4 倍増、米生産は 3 倍増であった。アフリカ No.1 の米生産と消費国ナイジェリアの増産がめざましく、米生産は過去 50 年で 20 倍以上になった。しかし人口増と消費増の相乗効果で急拡大する米需要をまかなえず、自給率は 50%程度で、さらなる増産が求められている。アジア型の稲作国マダガスカルでは作付面積でなくて灌漑面積の増加が収量増と生産増をもたらした。その対極にあるナイジェリア等、大部分のアフリカ諸国では作付面積の増加が生産増の主因となった。しかし、灌漑面積も着実に増加しており、両者の相乗効果により米生産が爆発的に増加した。

表3. アジアの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。データソースとデータ処理法は表1と同じ

	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2008	2006	2011	2012	2013
	-1965	-1970	-1975	-1980	-1985	-1990	-1995	-2000	-2005		-2010			
人口 (百万人)	1765	1983	2236	2482	2737	3027	3365	3625	3853	4076	4076	4210	4255	4299
作付面積 (百万ヘクタール)	111	118	124	128	129	130	132	137	135	143	141	144	144	147
作付面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	88.4	93.7	98.3	102	102	103	105	109	107	114	112	114	114	117
灌漑面積 (百万ヘクタール)	108	115	124	133	145	156	176	193	210	222	222	228	228	229
灌漑面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	84.0	89.7	96.5	104	112	121	137	150	163	172	173	177	177	178
籾生産量 (百万トン)	222	264	302	342	406	448	487	537	544	624	612	655	665	671
籾生産量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	68.9	82.0	93.8	106	126	139	151	167	169	194	190	203	207	209
精米換算生産量 (百万トン)	139	165	189	213	254	280	305	335	340	390	383	409	416	419
籾収量 (トン/ヘクタール)	1.99	2.23	2.43	2.66	3.15	3.44	3.69	3.91	4.04	4.36	4.34	4.54	4.61	4.57
籾収量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	77.9	87.5	95.5	105	124	135	145	153	159	171	170	178	181	179
精米換算収量 (トン/ヘクタール)	1.24	1.39	1.52	1.66	1.97	2.15	2.31	2.44	2.53	2.73	2.71	2.84	2.88	2.85
精米換算年間輸入量 (1000トン)	5343	5527	5445	5675	5546	5208	7096	11719	11578	13991	13298	14908	15522	
自給率 (%)	96.3	96.7	97.2	97.4	97.8	98.2	97.7	96.6	96.7	96.5	96.6	96.5	96.4	
精米換算輸入価格 (ドル/トン)	125	162	270	366	379	324	383	365	312	77.0	62.2	72.6	68.7	
精米換算年間一人当たりの消費量 (kg/人)	81.4	85.8	86.8	88.3	94.6	94.3	92.6	95.7	91.2	99.2	97.1	101	101	

表4. ナイジェリアの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。データソースとその他のデータ処理法は表1と同じ

	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2008	2006	2011	2012	2013
	-1965	-1970	-1975	-1980	-1985	-1990	-1995	-2000	-2005		-2010			
人口 (百万人)	48.2	53.7	60.4	69.5	79.8	90.8	103	117	133	151	151	164	169	174
作付面積 (1000ヘクタール)	179	234	289	332	630	1069	1678	2053	2271	2382	2366	2269	2864	2600
作付面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	57.7	75.4	93.0	107	203	344	541	661	732	767	762	731	923	838
灌漑面積 (1000ヘクタール)	200	200	200	200	200	206	233	256	292	293	293	293	293	293
灌漑面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	100	100	100	100	100	103	117	128	146	147	147	147	147	147
籾生産量 (1000トン)	207	321	470	596	1300	2216	2980	3248	3139	4179	3885	4613	5433	4700
籾生産量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	38.9	60.2	88.2	112	244	416	559	609	589	784	729	865	1019	881
精米換算生産量 (1000トン)	130	201	294	373	813	1385	1862	2030	1962	2612	2428	2883	3396	2938
籾収量 (トン/ヘクタール)	1.15	1.36	1.67	1.71	2.06	2.10	1.78	1.59	1.38	1.75	1.66	2.03	1.90	1.81
籾収量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	67.9	80.7	98.8	101	122	124	106	94.0	81.7	104	98.3	120	112	107
精米換算収量 (トン/ヘクタール)	0.72	0.85	1.04	1.07	1.29	1.31	1.11	0.99	0.86	1.10	1.04	1.27	1.19	1.13
精米換算年間輸入量 (1000トン)	1.28	1.09	3.73	408	492	289	329	647	1436	971	1241	2187	2296	
自給率 (%)	99.0	99.4	98.8	51.0	62.7	81.7	84.8	76.2	57.8	72.9	66.5	56.9	59.7	
精米換算輸入価格 (ドル/トン)	220	197	404	565	463	258	275	337	222	795	512	568	561	
精米換算年間一人当たりの消費量 (kg/人)	2.71	3.75	4.92	11.1	16.4	18.3	21.3	22.9	25.6	23.7	24.2	30.9	33.7	

表5. マダガスカルの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。データソースはFAOSTAT2015、籾と精米の重量換算率は 0.625 x 籾重量 = 精米重量とした。全データは各5年の平均値である。ただし、2008、2011-2013年は単年のデータ。

	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2008	2006	2011	2012	2013
	-1965	-1970	-1975	-1980	-1985	-1990	-1995	-2000	-2005		-2010			
人口 (百万人)	5.49	6.24	7.16	8.27	9.47	10.9	12.7	14.8	17.3	19.9	19.9	21.7	22.3	22.9
作付面積 (1000ヘクタール)	843	986	1042	1147	1183	1142	1166	1187	1227	1284	1395	1464	1549	1300
作付面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	77.0	90.1	95.2	105	108	104	107	108	112	117	127	134	142	119
灌漑面積 (1000ヘクタール)	306	330	396	574	754	983	1087	1087	1086	1086	1086	1086	1086	1086
灌漑面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	63.1	68.1	81.7	118	156	203	224	224	224	224	224	224	224	224
籾生産量 (1000トン)	1563	1779	1943	2037	2087	2271	2430	2511	2898	3914	4055	4300	4551	3611
籾生産量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	78.5	89.4	97.6	102	105	114	122	126	146	197	204	216	229	181
精米換算生産量 (1000トン)	977	1112	1214	1273	1305	1420	1519	1569	1811	2446	2535	2688	2844	2257
籾収量 (トン/ヘクタール)	1.85	1.80	1.87	1.78	1.76	1.99	2.08	2.12	2.36	3.05	2.90	2.94	2.94	2.78
籾収量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	102	99.0	102	97.6	96.8	109	114	116	129	167	159	161	161	152
精米換算収量 (トン/ヘクタール)	1.16	1.13	1.17	1.11	1.10	1.24	1.30	1.32	1.47	1.91	1.81	1.84	1.84	1.74
精米換算年間輸入量 (1000トン)	17.0	15.1	67.1	104	214	94.8	46.2	87.5	190	169	151	201	193	
自給率 (%)	98.4	98.7	94.8	92.5	86.1	93.8	97.1	94.9	90.8	93.6	94.2	93.0	93.6	
精米換算輸入価格 (ドル/トン)	76.0	77.6	236	293	263	302	315	288	198	473	387	479	471	
精米換算年間一人当たりの消費量 (kg/人)	181	180	179	167	160	139	124	112	116	131	134	133	136	

2、アフリカの稲作革命がスタートした

2008年のコメ危機と価格高騰以降、アフリカの米増産はさらに加速度が付き 2009-2013年までの5年間で、籾生産は60%増産し、年間2300万トンの生産を達成した。国際協力機構 JICA の米増産支援の国際協力政策 (CARD, 2008) も貢献した。表6と7に示すように、アフリカ第2位の米生産

国マダガスカル、4位マリ、6位コートジボワール、9位セネガル、16位ベナン、19位モーリタニア等の諸国では、灌漑水田基盤整備の進化段階はアジアのレベルに近くなり、収量はヘクタール

表6. サハラ以南アフリカ諸国の米生産の1961-2013年の年間粗生産(1,000トン単位)の動向と2011-13年の平均値による生産量ランク。下線は減、**は10倍以上、*は5倍以上増加。データ出典：FAOSTAT2015。

Country	Rank (2011-13)	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2006 -2010	2011 -2013
Nigeria**	1	207	321	470	596	1300	2216	2980	3248	3139	3885	4915
Madagascar	2	1563	1779	1943	2037	2087	2271	2430	2511	2898	4055	4154
UR Tanzania**	3	120	121	229	320	330	653	579	743	1035	1591	2081
Mali**	4	172	158	174	191	165	274	447	678	849	1603	1956
Guinea*	5	230	286	355	441	548	680	844	1048	1150	1446	1881
Côte d'Ivoire*	6	220	321	388	479	451	621	673	624	665	779	1456
Sierra Leone	7	336	457	502	563	484	501	446	316	490	849	1158
Ghana**	8	34	53	66	92	64	80	161	213	264	324	505
Senegal**	9	100	114	88	97	127	155	172	178	218	380	487
DR Congo*	10	62	146	198	220	273	351	404	344	317	317	341
Burkina Faso*	11	32	38	35	42	44	38	57	98	92	172	289
Liberia	12	125	158	222	247	286	271	76	170	124	256	276
Chad*	13	29	36	42	33	21	56	84	112	123	146	261
Mozambique	14	94	86	110	62	82	93	74	175	107	148	257
Uganda**	15	3.2	6.6	15	22	19	33	71	91	128	184	220
Benin**	16	1.0	2.4	8.7	13	7.4	9.3	12	34	64	98	215
Mauritania**	17	0.6	0.7	2.7	6.2	20	49	51	82	75	85	199
Guinea-Bissau	18	48	40	38	52	96	109	127	99	90	155	194
Cameroon**	19	10	16	18	52	77	65	38	51	52	99	183
Togo*	20	21	19	16	15	15	25	40	79	67	94	146
Ethiopia**	21							10	14	13	57	131
Kenya*	22	14	20	33	40	42	48	47	48	48	52	127
Malawi**	23	5.8	14	56	70	34	37	49	74	73	113	118
Rwanda**	24	0.0	0.7	2.1	3.4	6.1	7.8	11	9.0	35	71	86
Burundi**	25	2.7	3.3	5.4	7.9	13	33	37	52	63	74	66
Gambia	26	33	34	30	27	30	23	18	23	25	52	58
Zambia**	27		0.4	0.8	2.3	7.6	10	11	12	14	30	46
Sudan(former)**	32	1.2	2.4	6.3	10	4.5	1.1	1.3	5.0	18	25	25

表7. アジア、サブサハラアフリカ諸国の1961~2013年のモミ生産量の動向。下線は減、**は10倍以上、*は5倍以上増加。(順位：2011~13年の年平均モミ生産量；†：2006-12年の平均値；データ出典：FAOSTAT 2015)

順位	国名	平均粗生産量[百万ト] (粗収量 [ト/ha], 年間一人当り精米消費量 [kg/人])			国名	平均粗生産量[万トン] (粗収量 [トン/ha], 年間一人当り精米消費量 [kg/人])		
		1961-1970	1981-1990	2006-2013		1961-1970	1981-1990	2006-2013
1	中国	85 (2.9, 72)	171 (5.2, 99)	195 (6.6, 90†)	ナイジェリア**	26 (1.3, 3)	176 (2.1, 17)	427 (1.8, 27†)
2	インド	55 (1.5, 70)	93 (2.3, 73)	148 (3.4, 77†)	マダガスカル	167 (1.8, 181)	218 (1.9, 150)	409 (2.9, 134†)
3	インドネシア	14 (1.9, 94)	39 (4.0, 150)	64 (4.9, 169†)	タンザニア**	12 (1.1, 8)	49 (1.6, 17)	177 (2.1, 26†)
4	バングラデシュ	16 (1.7, 175)	23 (2.2, 154)	48 (4.2, 201†)	マリ**	16 (1.0, 20)	22 (1.2, 28)	174 (3.2, 88†)
5	ベトナム	9.2 (1.9, 168)	16 (2.8, 162)	40 (5.3, 279†)	ギニア*	26 (1.7, 48)	61 (1.7, 94)	161 (1.9, 116†)
6	タイ	12 (1.8, 233)	19 (2.0, 227)	34 (3.0, 314†)	コートジボワール	27 (1.0, 51)	54 (1.2, 66)	103 (2.7, 87†)
7	ミャンマー	7.7 (1.6, 199)	14 (3.0, 226)	31 (3.9, 377†)	シエラレオネ	40 (1.3, 114)	49 (1.3, 106)	97 (1.6, 128†)
8	フィリピン	4.4 (1.4, 93)	8.6 (2.6, 101)	17 (3.7, 130†)	ガーナ*	4.4 (1.1, 8)	7.2 (1.1, 8)	39 (2.3, 27†)
9	日本	17 (5.3, 113)	13 (6.1, 70)	11 (6.6, 58†)	セネガル	11 (1.3, 57)	14 (2.0, 67)	42 (3.5, 90†)
10	カンボジア	2.7 (1.2, 257)	2.0 (1.3, 170)	8.2 (2.8, 343†)	コンゴ民主共	10 (0.8, 5)	31 (0.8, 8)	33 (0.7, 5†)
11	パキスタン	2.3 (1.6, 27)	4.9 (2.5, 32)	7.5 (3.0, 30†)	ブルキナファソ*	3.5 (0.9, 5)	4.1 (1.7, 11)	22 (2.2, 24†)
12	韓国	5.0 (4.2, 115)	7.7 (6.3, 127)	6.2 (7.0, 89†)	リベリア	14 (0.8, 98)	28 (1.2, 125)	26 (1.3, 99†)
13	ネパール	2.2 (1.9, 128)	2.8 (2.0, 108)	4.4 (2.9, 108†)	チャド	3.2 (1.1, 6)	3.9 (1.2, 7)	19 (1.4, 9†)
14	スリランカ	1.1 (2.1, 103)	2.4 (3.0, 100)	3.9 (3.8, 117†)	モザンビーク	9.0 (1.3, 7)	8.8 (0.9, 10)	19 (0.9, 22†)
15	ラオス	0.7 (1.0, 222)	1.3 (2.0, 215)	3.1 (3.7, 304†)	ウガンダ**	0.5 (1.1, 1)	2.6 (1.3, 1)	20 (2.0, 6†)
16	北朝鮮	2.1 (4.3, 100)	2.2 (3.4, 74)	2.6 (4.4, 72†)	ベナン**	0.2 (0.7, 2)	0.8 (1.2, 12)	14 (3.0, 91†)
17	イラン	0.9 (2.7, 24)	1.7 (3.4, 32)	2.6 (4.6, 36†)	モーリタニア**	0.1 (1.5, 12)	3.5 (4.5, 48)	13 (5.1, 53†)
18	マレーシア	1.3 (2.2, 124)	1.8 (2.6, 90)	2.5 (3.7, 90†)	ギニアビサウ	4.4 (1.0, 55)	10 (1.5, 102)	17 (1.8, 99†)
19	台湾	2.9 (3.7, 144)	2.7 (4.8, 87)	1.6 (6.0, 46†)	カメルーン**	1.3 (1.0, 3)	7.1 (4.2, 9)	13 (1.3, 27†)

粗生産(収量,消費)

粗生産(収量,消費)

粗生産(収量,消費)

粗生産(収量,消費)

当たり 3 トンの以上の水準に達し、すでに稲作の緑の革命が実現したと言える国も現れた。2011-13 年の平均粗生産量のランキングを示した表 6 を見ると、No. 1 のナイジェリアは過去 50 年で 25 倍の増産を実現し、トップ 27 ケ国のうち 14 ケ国が 10 倍以上の増産、7 ケ国が 5 倍以上の増産を実現した。この間 5 倍以上の増産国のなかった表 7 のアジアの主要国と比較すると、アフリカ諸国の米生産の爆発的な増加が分かる。ただし、これらの統計データには信頼性に乏しいものもあり（例えば近年のコートジボワール等）注意も必要である。ベナンの近年のコメ消費の急増は、恐らくナイジェリアへの密輸量分も含まれる。カメルーンの近年の収量の顕著な減少は、乾燥地の浅い大面積ダムによるマガ湖等、大規模水田灌漑や政策的な陸稲振興の問題を示している。

アジアでは、カンボジアや北朝鮮（アフリカではシエラレオネ、リベリア、モザンビーク、ギニアビサウ、ガンビア等）等の社会政治的な危機国以外は、日本、韓国、台湾、そして近年の中国等、急速な工業発展により米生産や消費が減少した。その他の諸国は緑の革命により、農業生産が成熟段階に入り、工業発展の段階に入ったことを示す。このことは、アジア諸国では今後食糧輸入が増加するであろうことを示しており、世界的な食糧危機を招く可能性も高いことも示している。

3、アフリカ水田稲作の国際協力のパイオニア：台湾

戦前の 1930 年に、台湾の嘉南平原に 15 万ヘクタールの灌漑水田を完成させた八田與一は、映画 KANO（嘉農）に登場し、今日の台湾発展の基礎を作った日本人として、台湾で最も愛されている（李登輝、2015 年）。1955 年、インドネシアのバンドン、アジア・アフリカ会議後、アフリカ諸国も続々独立した。その独立直後の 1961-75 年、台湾はアフリカ全域にわたって、灌漑水田開発の大規模な国際協力を実施した（図 1）。当時人口 1200 万人にすぎなかった台湾は 25-35 才の水田稲作技術者を全国公募で選抜し、1-2 年の訓練後、年間 1200 人をアフリカ 21 ケ国に派遣し、灌漑水田 1.7 万 ha を開発した。40-50 代チームリーダーの下で 5-10 人の小隊を組み、アフリカの農村に 2-3 年駐屯し、農民を訓練しながら開田と稲作を実施した。「国連での中国との正統権争い」という国家の存亡をかけた戦いの一部として、若者がアフリカに「海外派遣」された（若月利之・謝順景、2003）。



図 1 台湾がアフリカへの水田稲作導入のパイオニア

1960～75年（Phase I）および1995～2000年（Phase II）に実施した水田稲作技術協力の主な国と分隊あるいは小隊が駐在して技術協力を行ったサイト。（ただしギニアビサウは1990～98年に実施。）

4、台湾の活動以降の、アジア諸国のアフリカでの水田稲作国際協力

アフリカ水田稲作協力のパイオニアとしての台湾の活動は、1970年代半ば突然の中止に追い込まれた。外交権闘争に勝利した中国が、台湾の水田稲作技術協力を継承発展させることはなかったからである。私が IITA (国際熱帯農業研究所、ナイジェリア、イバダン市) に派遣されていた 1980年代によく聞かされた、サブサハラのアフリカの水田稲作について、欧米諸国の研究者による大変ネガティブな評価 (例えば IITA 1992) は、このような台湾と中国との外交権の交代に伴う一時的な停滞期に由来する。しかしながら、台湾が先鞭をつけた水田稲作協力はその後、日本、韓国、中国、北朝鮮、インド、パキスタン、タイ、インドネシア、マレーシア、ベトナム等のアジア諸国に引き継がれた。2015年のバンドン「アジア・アフリカ」会議 60周年を契機にさらに拡大している。日本は 2008年に「アフリカ稲作振興のための共同体 (CARD, 2008)」プログラムを開始し、2018年までの 10年間でアフリカのコメ生産を 1,400万トンから 2,800万トンに倍増させる目標を表明した。表 1-6 で示したように、過去 50年、とりわけ近年の米生産の動向から見て目標達成は難しくない。

5、アフリカの稲作革命は水田稲作の進化と拡大が牽引

水田稲作は低地を均平化して畔で囲いかつ水の出入り口を作り、水の管理を可能にしながら行う稲作で、水管理に有効な稲作圃場の基本装置という点は世界共通である。アジアの専売特許ではない。農機具と農法の進化と水田基盤の進化は「共進化」する。ただし、世界の地形、土壌、水文、気候、社会経済及び歴史は多様であり、世界の水田農業は多様な進化発展段階をたどっている。

しかし、ナイジェリアを典型として、その他の大部分のアフリカ諸国の稲作は、以下の日本の水田稲作進化の 6段階で言えば、現在は (1)-(3) の水田稲作の進化段階にある。アフリカの稲作革命を牽引するナイジェリアのケッピ州やマダガスカル、セネガル、マリあるいはガーナでは、急速に水田稲作は (4) と (5) の段階に進化し拡大しつつある (以下の写真、アフリカの水田稲作進化の 6段階の (I) と (II))。国際機関である AfricaRice や IITA でも次第に水田稲作の重要性について理解が進みつつある (IITA 2008, AfricaRice 2016 等)。

6、水田稲作進化の 6段階 (図 2 と 3 の写真)

クワとカマ主要な農具である場合は (1) 畔なし灌漑なしの陸稲稲作を典型とする「非水田稲作」、(2) 日本の弥生期に見られた、灌漑はあるが「小区画準水田稲作」、現在の西アフリカで良く見られる (3) 氾濫原湿地での「畦立て稲作」段階までの 3段階が、水田稲作の原初的進化段階と言える。進化段階 1-3 まででは緑の革命の 3要素近代農業技術技術 (高収量品種、灌漑排水、肥料農薬) は、以下の「7、アフリカの稲作革命のために必要な 3つの革新」の項で述べたように、無効である。

日本で本格的な水田稲作は、畜力による鉄製の鋤耕作が導入された条里制以降の (4) 「伝統的水田稲作」段階が長く 1000年以上の歴史を持つ。その後、1960年代以降の耕耘機利用による (5) 「標準的水田稲作」、2000年以降の湿地トラクターとレーザレベラー利用による (6) 「大区画高度均平化水田」段階等の進化段階を区別できる。図には示していないが、藤森・小野 (2012年) の地下水位制御水田 (FOEAS) は進化段階としては図 3 の (6) の上、進化段階 7 に位置づけられるかもしれない。

ナイジェリアのケッピ州の例で述べるように、アフリカでは 50年前までは水田のない稲作が大部分であった。1960年代の台湾による、アフリカへの水田稲作導入の先駆的な活動に引き続いて、日本等による、お金をかけた各種のモデル灌漑水田の導入が続いた。しかし、広大なアフリカではこれら ODA 方式の灌漑水田稲作技術の定着と拡大はゆっくりしていた。しかし現在では Google 写真等により、以上の写真で見るとような、水田進化を系統づけることが可能な、各種形態の水田が見られるようになった。陸稲に加え自然に水が湛水する「非水田低地稲作」、日本の弥生前期の稲作と類似の、「小区画準水田」が大規模灌漑開発地でも、小低地でも見られる。10-15m²サイズのオアシス灌漑畑農地が水田の起源という説 (古川久雄、2011年) を実証するような農地が見られる。一筆のサイズ、均平化度、畔の質、灌漑排水の水利等から見て「標準的な段階まで進化した水田」が普及したマダガスカル、セネガル、マリでは緑の革命が実現したといえるレベルに達した。

シエラレオーネ、内陸小低地の非水田湿地
 稲作(進化段階1) 1987年



ギニアの陸稲栽培とフォニオ栽培、2002年
 (進化段階1かあるいは0段階?)



ナイジェリアヌベ人の灌漑「小区画水田」(進化
 段階2)と畝立て湿地稲作(段階3)、2005年



奈良県中西遺跡(弥生前期, 2400年前ころ)の
 小区画水田(段階2)水田1筆の区画サイズは左と
 同様10-25m² (写真は小森努 2011, <http://tsu-com515.my.coocan.jp/H23.11.12.Nakanishiiseki.html>)



図2、アフリカの稲作と水田稲作進化の6段階(I):日本の弥生期の小区画水田と比較

ナイジェリア、ヌベ人のカドナ川氾濫原での灌漑
 「畔有り畝立て湿地稲作」(進化段階3)、2005年



スマトラ島の水田(Sawah)と牛耕、(進化段階
 4)一筆水田の均平化度±5cm、2002年



ガーナ、アシャンティ州で「アフリカ水田農法」で
 農民が自力化開発した標準的水田(進化段階5)
 一筆水田の均平化度±5cm、2000年



日本で進行中のレーザーレバートラクターによる
 均平化度±2.5cmで1筆1ha以上の大区画化と機械
 田植作業。直播も拡大中(進化段階6)、2012年

図3. 水田稲作進化の6段階(II)

サブサハラアフリカ最大の稲作国、ナイジェリアは2011-13年の年平均籾生産は490万トン(260万ha, 1.8t/ha)で、サブサハラアフリカ全体の22%を生産した。1984-86年の平均籾生産量は138万トンだったので、この間3.4倍に急増したが、その潜在生産力2000万トン(500万ha, 4t/ha)の4分の1にすぎない。この間人口とコメ消費も各々3倍増したため、自給率は50%となった。生産すればいくらかでも売れる状態にある。しかし、ナイジェリアの数百万の小農の大部分は、他のアフリカ諸国と同様、日本の弥生期の非水田や小区画水田と同様の「原始的な水田稲作」であり、農具は鋤のみで、その生産性は極めて低い。大部分のアフリカ諸国の水田進化段階は日本の弥生前期の小区画準水田に類似したものであることはアフリカの稲作振興政策に再考をせまる事実である。

7、アフリカの稲作革命のための3つの革新

アフリカの稲作革命は①イギリス産業革命の前段である16-18世紀の農業革命の基盤を作ったエンクロージャー(農地囲い込み)と同等である「水田区画による技術の進化条件の整備(水田仮説1)」に加え、集約的持続性を可能にする集水域低地における水田の多面的機能の利用(水田仮説2)、②1960-70年代のアジア・ラテンアメリカの緑の革命の3要素技術(高収量品種・灌漑排水・肥料農薬)の利用、③2000年代から始まるアジアの農業機械化等、3つ革新が一体となって、2005-10年ころから発展期に入った。我々が推進しているアフリカ水田農法(アフリカ特有の低湿地に、耕運機等の適正農機を使い、農民が自力で灌漑水田開発と水田稲作を同時に実施する技術で、現地ではSawah technologyと呼んでいる。Sawahはインドネシア語で水田を意味する。アフリカ水田農法は上記の3つの革新を融合した技術で、ナイジェリアとガーナの稲作農民と技術者によって、当初はアフリカ型里山の内陸小低地で「谷地田農法」として開発され、試行錯誤の中で進化してきた。

8、アフリカ水田農法の基本技術(若月2016)

アフリカ水田農法は4つの基本技術よりなる。現在の日本の農民には必要がなくなった(1)水田適地を選定して、地形と土壌と水文に適する適田システムを設計し、(2)ブルドーザー等の重機ではなく、耕運機等の適正農機による効率的で経済的な水田開発技術である(表4)。

表8 アフリカ水田農法(SawahTechnology:農民の自力灌漑水田開発と稲作)の4つの要素技術

(1) 適地・適期選定と適田システム設計のポイント
(a) 農民が15ha以上の低湿地で稲を栽培しており、自立心旺盛で、稲作技術とビジネス向上に強い意欲を持つ
(b) 水文と水資源及び氾濫洪水強度と期間。乾季作の場合は20m以浅(5m以深がベスト)の地下水が利用可能
i) 内陸小低地の重力水灌漑: >流量30リットル/秒、流水継続期間5ヶ月以上、氾濫等最大水量<10トン/秒
ii) 氾濫原やデルタの重力水灌漑: >流量30リットル/秒、流水継続期間5ヶ月以上、氾濫最大水量<10トン/秒
iii) 氾濫原やデルタの浅管井戸ポンプ灌漑: 地下水位<10m、氾濫時期を避けて経済的に乾季作が可能
(c) 地形と土壌: 勾配<3%, <1%なら均平化が容易、砂+シルト含量<90%、内陸小低地では<95%でも可。
(d) 持続可能な土地利用権: 個人所有がベストだが、5-10年以上の借地契約なら本農法は持続可能
(e) 適田システムのデザイン: 地形と土壌と水源の観察に基づく個々の水田と水田集団の中小の畔のレイアウト、水田の標準的均平化度(1筆±5cm)の実現、耕運機使用稲作、干ばつ、氾濫対策も考慮してデザイン
(f) 取水、分水、貯水(地下水涵養)、排水システム: 小中河川の簡便な土のう堰、泉や浸出水の集水分水路、ため池や養魚池、小中のポンプ利用と<10m深度(将来的には<20-50m)の管井戸切削、小中の排水路
(g) 荷物運搬や耕耘機用、あるいは洪水対策用の作業路兼堤防等の位置とサイズ構造等のデザイン
注1): 農民と技術者・普及員が連携して、適地適田開発と管理の試行錯誤が必要。農民はサイトの水文を熟知しているが、水田は未知。技術者は現場の水文の動態を知らない。
注2): 重力灌漑は燃料が不要なので経済的だが、水田面積>50ha以上になると、堰や水路の維持管理にコミュニティの共同作業が必要となるが、現状では困難な場合が多い。ポンプ灌漑はこの共同作業が不要。
注3): パラドックスであるが、適地選定とシステムデザインが適切ならアフリカの水田開発はアジアより大変容易
(2) 効率的で経済的な開発: 開発速度>3-5ha/年/耕耘機1台と開発コスト<1000-3000ドル/haを実現
(a) ヤブの開墾、抜根、畔作り、水路作り、耕運機用地表面の凸凹処理: 自力労働+補助的な雇用労賃
(b) 農具と資機材の購入費用: \$1000/10ha、2期作用のポンプと浅管井戸切削費用: \$1500-2000/10ha
(c) 耕運機購入費用: \$3000-4000/1台/10ha、維持管理費用: \$2000-3000/10ha(>10ha開田/3年为目标)
(d) On-the-Job訓練費用: 日当として技術者\$1000/ha、普及員\$500/ha、篤農\$250/ha
注1): 耕耘機の価格(アジア並なら1台\$2000)、耕運機利用の開田技術と維持管理技能の熟練度がポイント

(表8続き)

(3) 水田稲作技術: 基準目標は1台の来運気で>20t/年のモミ生産と>4t/haの収量の達成

- (a) 取水、分水、貯水、排水等、水田の水管理システムの維持管理
- (b) 水田の水管理技術: 湛水新管理、間断灌溉、好気・嫌気性管理、排水管理
- (c) 畔の管理。耕運機を利用する田面の均平度管理と代播き技術。
- (d) 施肥と養分及び土壌有機物管理技術
- (e) 育苗と移植あるいは直播技術
- (f) 雑草、病害虫、鳥獣害対策技術
- (g) 目標収量を実現する品種選択と生育管理技術
- (h) 市場性の高いポストハーベスト技術

注1): 1台の耕運機で3年以内に年間籾生産>50tonを実現すると水田開発は加速する。

注2): 基準目標を達成すれば、収量>10t/haを目指す研究も、農民の現場で意味を持つ。

(4) 稲作農民をエンパワーメントする社会経済技術

- (a) 水田農民グループの組織化。自力開田から一般農民の新規皆伝を指導できる篤農の
- (b) 持続的な内発的発展性は、農民間技術移転>普及員>研究者>ODA方式、の順になる。
- (c) 耕運機利用の開田と稲作技術の訓練とイノベーションの誘発システムの整備
- (d) 水田造りは国造りと人創り。国富を増加させた人に報いる土地制度/借地制度は極めて重要。
- (e) 農業機械や水田適地及び灌溉水田の、ローン等による農民の土地購入システムの整備
- (f) 25ha以上の灌溉水田は5万ドル以上の年間籾生産となり、1万ドル規模の小型ハーベスターが経済的に利用可能になる。これにより市場性高い籾が出荷できさらに付加価値が付く。

注3): 以上の4つの要素技術を進化させ、ODA依存を脱却する内発的な技術として成熟可能

中4): 過去の成功例: ①スーダンサバンナ帯の氾濫原や内陸デルタでの浅井戸小型ポンプ灌溉、

②泉灌溉は全気候帯で成功、③ギニヤサバンナ、森林移行帯、赤道森林帯の小河川の堰灌溉

これまでの ODA ではヘクタール当たりの開発コストは 2-3 万ドルであるが、アフリカ水田農法はこの 10 分の 1 以下である。これがアフリカ水田農法のコンセプト技術である。外部技術者に開発を依存せずとも、農民の自力開発を可能にする。残りの二つは、上の表 8 (続き) 示したように、これまでも稲作分野の技術協力で行われてきた、(3) 灌溉水田開発が完了した後で行う水田稲作技術、(4) 稲作農民をエンパワーメントする社会経済的仕組み等である。

9、Kebbi Rice Revolution: 谷地田農法からアフリカ水田農法への進化と水田進化による稲作革命の実現

2010-2011 年度に文科省科研費で「ナイジェリア北西部のケッピ州のソコト川とニジェール川大規模氾濫原で 2 台の中国製耕耘機 (日本製は入手できなかった) で Sawah 技術のオンザジョブ訓練を実施」した。表 9 と図 4 に示すように、州内の Arugungu 等の 4 地域で、農民グループが 18ha の自力水田開発を行い、合計 12.8 トン (平均籾収量 7.1t/ha) を実現した。州知事 Dakingari (2013) は、2013 年 9 月、首都 Abuja の経済サミットで、この成果を Kebbi Rice Revolution と呼んだ。農民は 20 台の耕耘機を自費購入し 2013 年 11 月から 14 年 5 月末までの乾季水田稲作面積を 199ha に拡大し、1260 トン (6.3t/ha) の籾生産を実現した。これを受け州政府は 1000 台の耕耘機を購入し、2015 年 3 月末の大統領選後、1 万 ha 規模の水田開発と整備プロジェクトを開始した。2015 年には Kebbi 州では年間の籾生産量がナイジェリア全体の 20%、100 万トンのレベルに達したと推定され、ナイジェリア No. 1 の米生産州となった。内陸小低地をターゲットとしてきた Sawah 技術は、ナイジェリアのケッピ州における実践を通じて、大規模氾濫原や内陸デルタでも展開できるようになり、谷地田農法 (若月 2009) からアフリカ水田農法に進化した。

図 4 は 1987 年 12 月 14-16 日に実施した氾濫原土壌と土地利用の調査ルートである (Oyediran 1990)。博士研究として実施した。Arugungu 市周辺は当時も現在もケッピ州の稲作の中心地である。当時の稲作は図 4 に示すようにアフリカ稲が非水田的に栽培されていた。その後 2011 年に再調査した時点では図 6 に示すように、10m 以深の浅井戸ポンプ灌溉により稲と玉ねぎが小区画水田で栽培されていた。Arugungu-Birinin Kebbi 間の Rima (Sokoto) 川氾濫原で合計面積は約 10 万 ha と推定された。図 5-9 は 2011 年 3 月より開始した水田農法の訓練と準水田を標準的な水田に改良したこと、その効果として、小区画準水田段階では 2-3t/ha の籾収量が 6-7t/ha まで増加した状況を示

す。小区画水田段階（水田進化レベル2）では畔がきちんと作られていないことに加え、小区画であるが故に1haの面積に300-600区画ものミニ水田が存在するため、個々の水田の水管理を行うことが不可能になる。さらに無数の畔により稲が栽培できない潰れ地の割合が増えることも収量の低下をまねく。ArugunguのMaiGando農場のグーグル写真は2013年10月時点であり、カメラの写真は2014年6月であり、水田区画はさらに拡大し、水田の質も向上していた。

表9. 2011年3月から2014年4月の間のKebbi州におけるSawah米生産技術の拡大

1. 近畿大学/ナイジェリア国立農業機械化センター(NCAM)によるデモンストレーションと訓練(2011年3月-2012年4月に実施)

地方自治体	農場	耕耘機(台)	総開田面積(ha)	生産料(100kg袋)	籾収量(トン/ha)
Arugungu*	共用	2(共用)	6.5	487.5	7.5
Birinin Kebbi*	共用	2(共用)	3.5	227.5	6.5
Jega*	共用	2(共用)	8	560	7
合計	共用		18	1275	7.1**

* デモンストレーションと普及用のサイトは図6のGoogle earthに示した。
**平均値

地方自治体	農場	2. アフリカ水田農法の拡大、2012年4月-2013年10月				3. 2014年乾期の米生産、2013年11月-2014年5月			
		耕耘機(台)	総開田面積(ha)	生産料(100kg袋)	籾収量(トン/ha)	耕耘機(台)	総開田面積(ha)	生産料(100kg袋)	籾収量(トン/ha)
Arugungu*	MGD farm*	2	15	975	6.5	2	20	1400	7
	JUM farm	1	10	650	6.5	1	10	650	6.5
	ABK farm	1	4	260	6.5	1	8	480	6
	AK farm	1	3	180	6	1	6	360	6
	AMB farm	1	4	240	6	1	5	300	6
	Dr YA farm	1	4	240	6	1	5	300	6
	ANL farm	1	3	180	6	1	5	325	6.5
	AMI farm	1	6	390	6	1	10	650	6.5
	ASD farm	1	5	300	6	1	5	300	6
Birinin Kebbi	ABA farm	1	4	260	6.5	1	4	—	—
	BB farm	1	3	180	6	1	6	360	6
	AS farm	1	3	180	6	1	6	360	6
Bagudo	ABB farm	5	35	2450	7	50	3500	7	
Jega	HHJ farm	1	7	455	6.5	1	14	910	6.5
	AUA farm	1	20	1200	6	1	40	2400	6
Suru	Dr.UD farm	1	5	300	6	1	5	300	6
合計		22	131	8440	6.4**	22	199	12595	6.3**

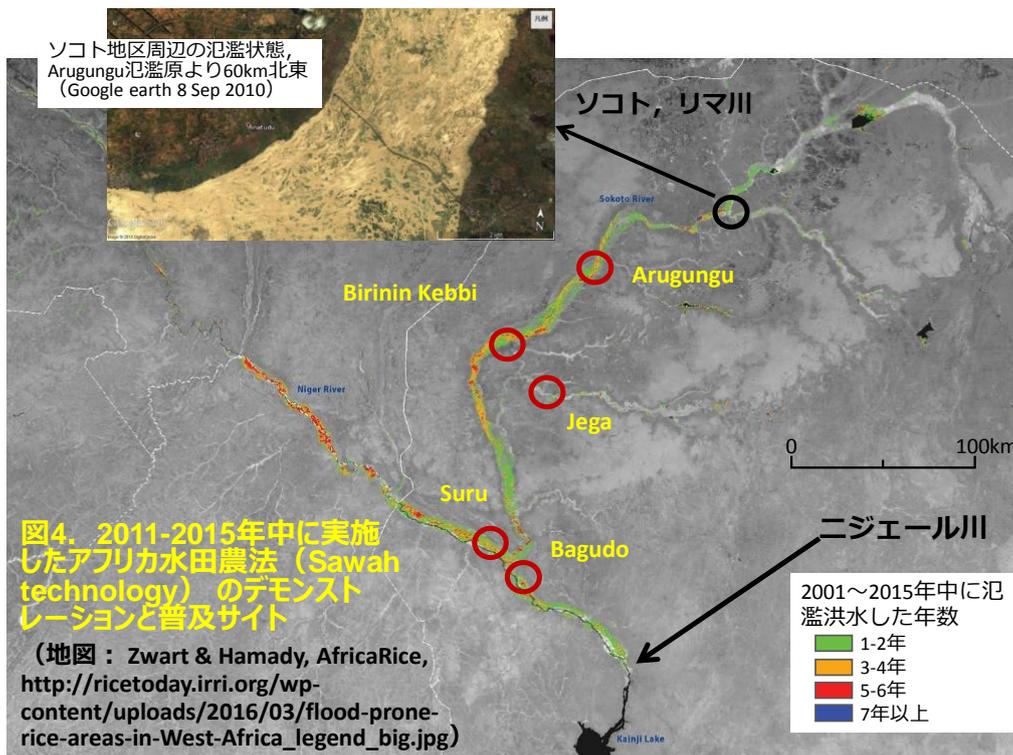




図5. 1987年と2015年のArugungu。アフリカ水田農法を用いた水田システム改革によってKebbi稲作革命がスタートしたサイト。



1筆の面積を4-9倍に拡大して水田進化を推進中。浅管井戸と小型ポンプで水田稲作を実施。収量は6-7t/haに増加



図8. Kebbi州のArugungu付近の氾濫原のMai Gandu農場(表9のMGD Farm 20haの一部、位置は図4と5)における水田の改良(進化)の進行を示すGoogle衛星写真。下は2009年で1筆面積15-25m²の浅管井戸でポンプ灌漑の小区画水田。収量は2-3t/ha。2011年3月よりアフリカ水田農法で耕耘機等を使用して1筆面積を4-9倍に拡張し、畔を強化、代掻きと均平化のレベルも改良中。図9の写真は2014年6月に赤丸の付近で撮影。収量は6-7t/haに増加。



Abdullahi Maigandu Arungu氏による
20haの開田(図8右上の赤丸付近)

2014年
6月

ニジェール川氾濫原, BagudoのABB
farm(Alh. Bello Baidu 氏)の35 ha水田

図9. Kebbi稲作革命サイトのArunnguとBagudoの水田開発と進化
(写真撮影場所は図4, 5, 8, 12に示した)

10、アジアの水田は農民が 1000 年かけて整備し、それが科学技術適用の前提となった。アフリカでは 1500 年代からの欧米のグローバリゼーションで国土基盤の形成が阻害された。

アジア諸国や日本では水田基盤は農民達が千年という歴史的時間をかけて整備した。この基盤の上に高収量品種、灌漑排水、肥料農薬等のような近代農業科学技術の適用が可能になった（ことはあまり認識されていない）。水田基盤の存在は、農業革命の基盤を作った欧米のエンクロージャーに対比できる（水田仮説 1、図 10-12）。アフリカでは 500 年前に始まる欧米の奴隷貿易や植民地支配により、このような国土基盤や科学技術の適用基盤の形成が妨げられた（図 12-13）。現在の世界的なテロ戦争の背景と同根と思われる。日本は 1955 年のバンドンのアジア・アフリカ会議で、唯一招聘された先進国であった。図 13 等に示すように、過去 500 年の欧米のグローバリゼーションを正すアジア・アフリカ新時代（植民地独立）の幕開けに日本は貢献した。日本は 1993 年以来東京アフリカ会議（TICAD）を主催してきたが、過去 500 年の原罪を負う欧米を単に補完する、「従属的な ODA」になったが故に、最近の中国によるアフリカ開発支援に比べ、存在感を失いつつある。

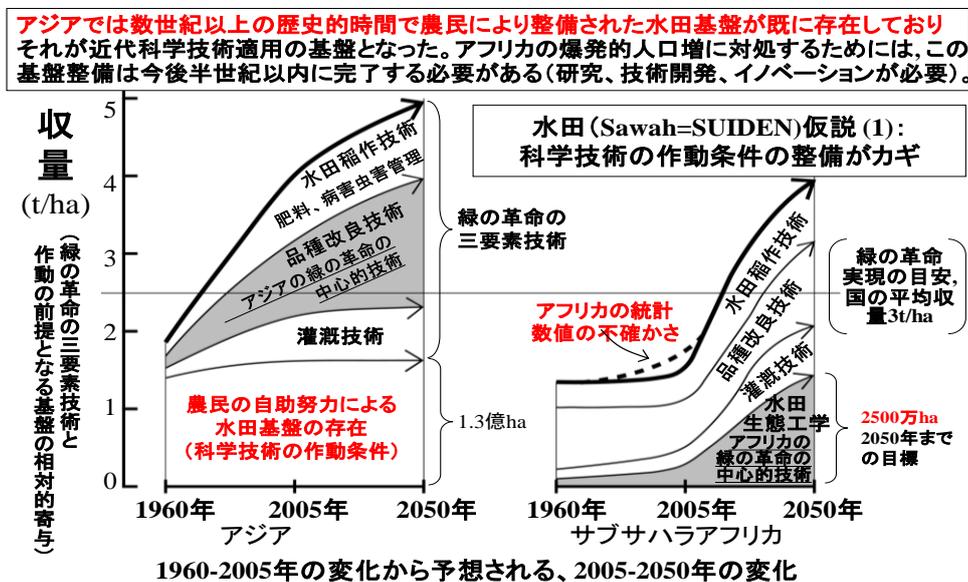


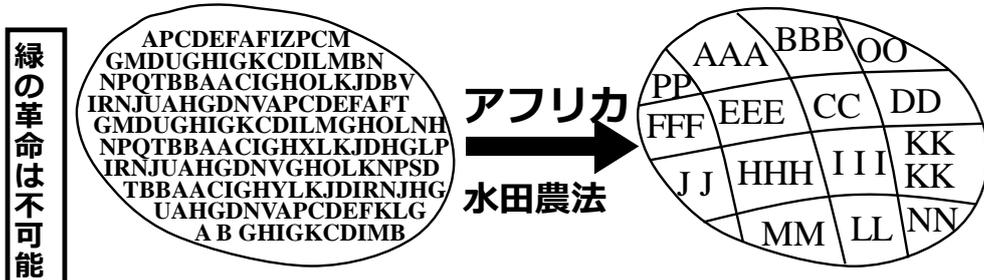
図10、アジアにおける1960-2005年の収量向上に貢献した技術の相対的寄与の推定と今後50年の予測をサブサハラのアフリカと比較

混沌とした農家圃場：不均質で多種多様な生態環境が混在

- (1) 土・水・作物の管理は不可能
- (2) 土地所有権は重層的で多様なコミュニティによる共有型。
- (3) 市場価値のあるポストハーベストは適用不可能。

地形と土壌・水文に応じた水田区画造成は国造りと科学技術の進化条件である：(生態工学：エコテクノロジー)

- (1) 水と土と作物の管理が可能
- (2) 土地所有や利用の管理が可能
- (3) 規格化された籾生産が可能、優良種子増産も容易。



緑の革命は不可能

ブッシュ状のオープンフィールド：肥料や地力維持・灌漑技術、高収量品種等の緑の革命技術は適用できない。

科学技術の本質：共通基盤(プラットフォーム)としての水田：農地は分類区画整備(エンクロージャー)される必要がある。

図11. 水田仮説 I : 水田的な地形と水及び土壌という生態環境で区画された圃場が必要：アフリカ独特の生態環境と社会経済条件及び過去500年の歴史的経過(奴隷・植民地)に由来する？と考えられる。

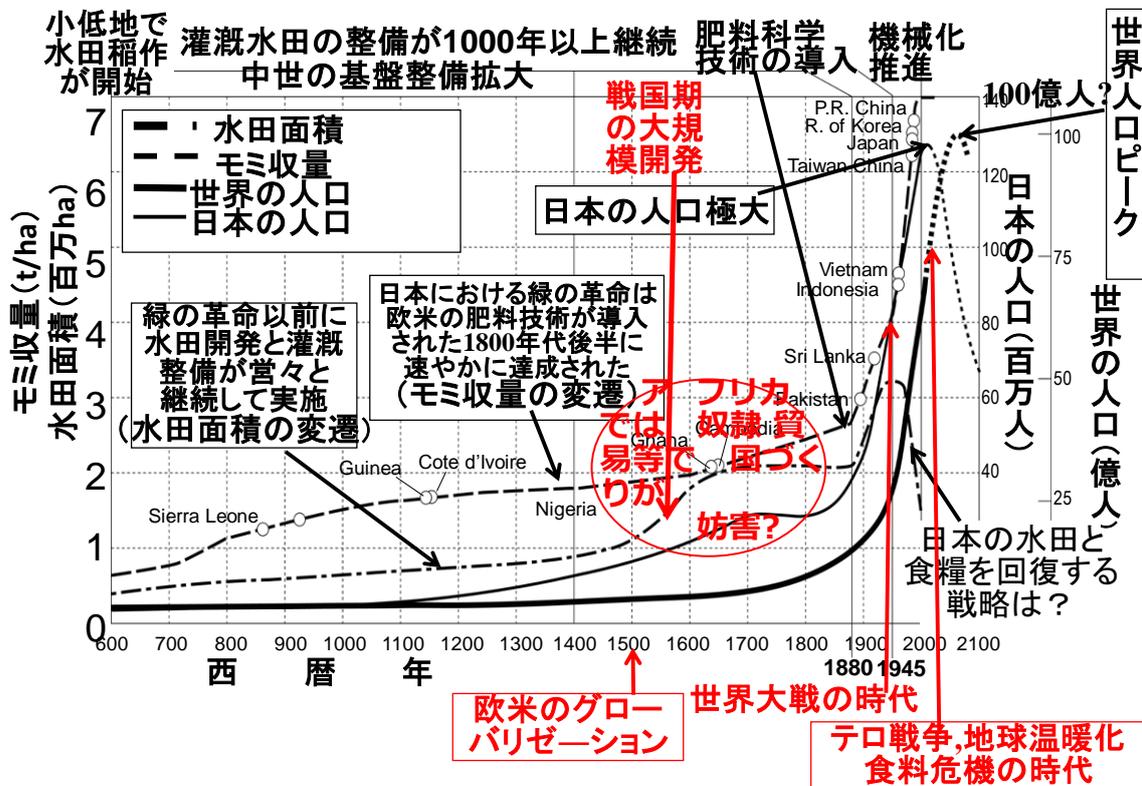
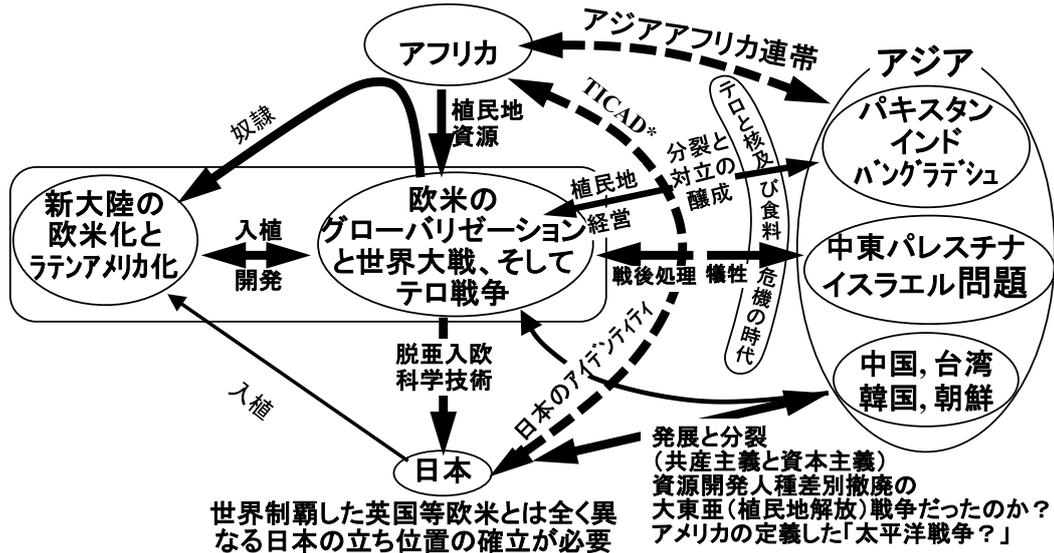


図12. 大化の改新以来の日本の水田面積と籾収量及び日本と世界の人口の変遷(高瀬2003, Wakatsuki 2008, 鬼頭2007, 本間1998)。

何故アフリカ？緑の革命今だならず人口増加：食料・脆弱な経済・社会と環境危機：ナイジェリアとアフリカ：2050年の世界3～5位の人口大国,そしてアフリカ



* TICAD: 東京アフリカ開発会議 (1993, 1998, 2003, 2008, 2013)

図13. 1500年以來の、欧米グローバリゼーションの犠牲になったアフリカ。欧米の科学技術を吸収したが、21世紀に入って立ちすくむ日本。強大となった中国。過去500年を清算するための欧米型ODAでなく、今後500年の地球社会創造に貢献する(例えば1955年のバンドン、アジア・アフリカ会議の精神を実現する)ような日本型ODAが必要。

11、アフリカの稲作革命にみる水田の恐るべき持続可能な生産能力

アフリカにおける陸稲や非水田段階での持続可能な収量は無肥料ではヘクタール当たり 1 トン(施肥しても 2 トン)であるが、低地に標準的な水田基盤が整備されれば、図 12 や表 10 に示すように、無施肥で 2 トン(施肥すれば 4 トン)と約 2 倍の差がある。陸稲は休閑により地力の回復を図る必要があり、通常 1ha の陸稲栽培を持続するには 5ha 程度の農地を余分に確保する必要がある。水田では以下に述べるマクロとミクロの人為と自然のエコロジーの利用(エコテクノロジー)により、休閑は不要であり、1000年という単位で連作が可能である。そのため、水田は畑地や森林の 10 倍以上の持続的生産性を持つ。1ha の水田は 10ha の畑地や森林保全を可能にする。

表10. 何故水田か;もう一つの理由。集水域における低地水田の集約的持続的生産性に関する水田仮説(II)

畑作地の10-15倍程度の持続的生産性がある。1haの水田開発により10haの森林地を確保でき、アフリカ型里山創造が可能

1ha の水田 (sawah) = 10-15ha of 陸稲 (upland) 栽培地		
	焼畑の陸稲	水稲(Sawah)
面積比 (%)	95 %	5 %
収量 (t/ha)	1-3 1以下	3-6 2程度
生産の持続性*	1	5

(丸囲みの数値は無肥料の場合)

* 生産の持続性は、水稲は連作可能であるが、焼畑の陸稲栽培は2年の稲作後8年の休閑が必要であると仮定して計算した

地球環境や生物多様性保全における水田の機能は今後ますます重視する必要がある。世界的に見ればアフリカの持続可能な水田開発は 2050 年ころの地球社会を救うことになると考えられる。最近国連で採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」実現の戦略の一つになり得る。

2015 年は、国際土壌年であった。欧米等の畑作文化圏の農業者は土壌団粒の機能を重視する。しかし、「畔で囲み均平化し代掻きする水田の機能」は、団粒の機能を遥かに上回ることは理解できない。当初アフリカで一般的な「非水田湿地稲作」や小区画準水田を陸稲と勘違いしての「陸稲重視」や「陸稲ネリカの過剰宣伝」、「灌漑と水田の混同」、英仏語に水田概念がないため「モミ (Paddy) と水田 (Sawah) の混同」等、「種々の誤解と勘違い」があり、アフリカの稲作振興戦略は迷走してきた。しかし、2008 年以降農水省がアフリカ稲作センター (AfricaRice) と連携して始めた水田 Sawah プロジェクト (SMART-IV、2016) により、水田 Sawah 技術の重要性がようやくアフリカでも理解されるようになった (Mophapatra 2016)。

12、アフリカ水田農法のマクロとミクロのエコテクノロジー

図 14 に示したが、低地に適地・適田開発し、適期に適切に管理すれば、集水域のマクロの地質学的施肥作用と水田の水と土管理によりミクロの養分供給性が強化され、畑作地の 10 倍以上の持続可能な生産性をもたらす。1ha の水田は 10ha 以上の畑地や林地の保全を可能にする。即ち、水田は自然資本の増加にも貢献できる。マクロの地質学的施肥作用とは、集水域の水循環によるものである。森林生態系は岩石鉱物の風化と自己施肥作用により肥沃な表土を形成する。地質活動が盛んな日本では 1 年間に 1ha 当たりでは 2-5 トンの土壌を生成し、年間 0.2-0.5mm の厚さの土壌生成速度に相当する。世界平均では厚さ 0.1mm 弱、生成量は 1 トン弱、アフリカでは 0.05mm、0.5 トン程度と推定される。日本は自然災害も多いが、活発な土壌生成と天然養分供給能に恵まれていると言える。

低地水田の持続可能な生産性の高さは畑作地の 2 倍以上に達する **マクロの生態工学的機構**：腐植に富む肥沃な表土の堆積と培養水の集積：地質学的施肥

低炭素型社会における水田農業と里山創造の意義：土壌肥沃度を維持し、ダム機能による洪水制御と集水と保水機能の強化により乏しい水循環量を有効に活用して持続可能な集約化を図り、森林を再生する戦略となる。適度な土壌侵食と山地土壌の更新、林地と畑地及び低地水田土壌層への微粒炭や腐植質表土の堆積・埋没（一部は海洋底に移動）は、安全な炭素隔離・貯留法となり得る。

ミクロの生態工学的機構：代掻きによる多種微生物の共同作用の促進は、多機能性湿地としての水田エコテクノロジーの中心技術。窒素、リン、カリ、ケイ素、カルシウム、マグネシウム等無機養分の供給性を強化し、有機炭素を蓄積。

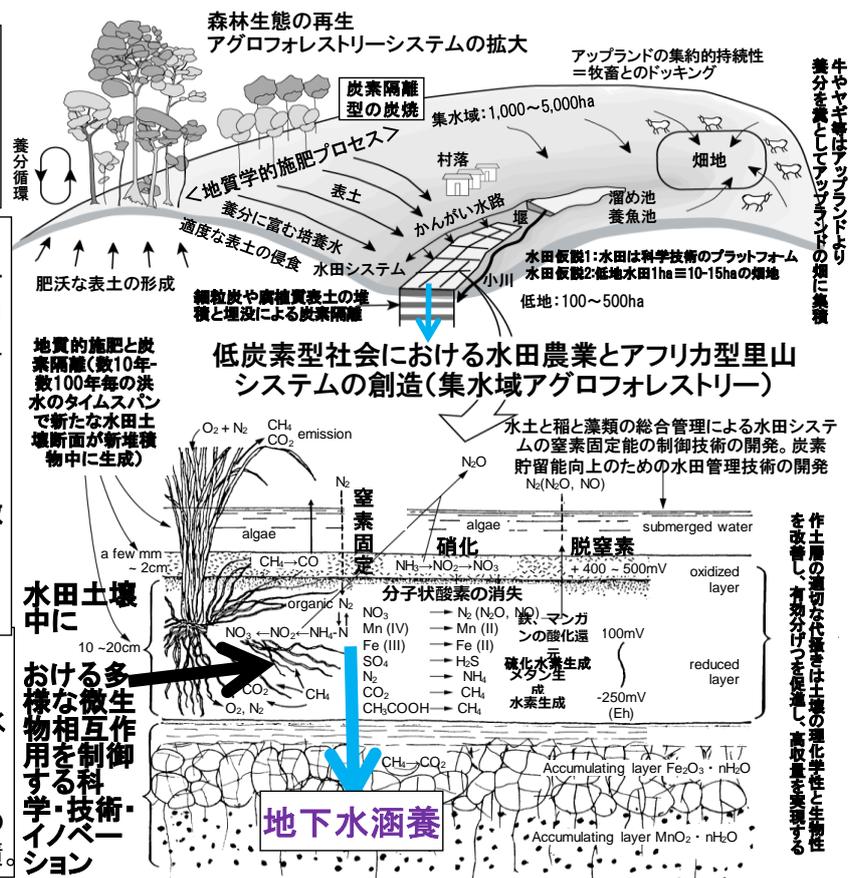


図14 水田仮説2: 集約的持続的な生産性の高さを背景にアフリカ型里山集水域を創造して地球温暖化防止

アフリカでは東部アフリカの大地溝帯地域を除けば、土壌生成と天然養分供給能と言う点では、やや不利な環境にあるが、広大な土地面積を有する。しかし、低地に開発した水田はこのような不利も克服し得る機能を持つ。集水域の水循環で表土が適切に侵食されると、低地に堆積して低地土壌が作られ、表土の若さも保たれる。その際に川や土壤水中にミネラル養分が溶解し、灌漑水を通じてケイ素、カルシウム、マグネシウム、カリウムなどの養分が水田に供給される。低地水田では林地や畑地の 5-10 倍、あるいはそれ以上の養分供給能力が推定される。日本の平均土壌生成速度は年間 0.2-0.5mm と推定され 1000 年でも 20-50cm であるが、奈良や大阪の今から 2000-2500 年ほど前の弥生前期の水田遺跡は 4-5m 以上の沖積土の下にあり、年間平均堆積速度は 1.6-2.5mm となり、3.2-12.5 倍となる。

図 14 の下半分は水田システムの集約的持続性の高さを説明するミクロの生態工学的機構を示す。水田システムは多機能性湿地として管理することが可能な装置である。適切な深度と強度の代かきと湛水深度と湛水頻度の管理により、雑草を制御することが可能である。この時、水田の均平化度は重要である。水田システムは湛水、藻類と稲植物、各種の土壤菌類の相互作用により年間 1ヘクタール当たり 20-200kg の窒素を固定できる。赤褐色の酸化 (3 価) 鉄イオンは湛水下で青灰色の 2 価鉄イオンに還元され、不可給態のリン酸が有変化する。この有効化は水田システムの窒素固定量増加にも寄与する。湛水は酸素の供給を制限することにより土壤有機物の分解を抑制し、地力維持に貢献し、空気中の炭酸ガスの隔離、温暖化防止にも寄与する。又、土壤 pH を中和し各種の微量元素の可給化も促進する等、各種の養分供給能が強化され、又、雑草制御等の生態的機能も強化される。しかしながらこれらの機能は大部分定性的な理解に留まり、科学的な定量的なデータは得られていない。過去 40 年の減反政策により水田研究が停滞しているからである。このため、水田の均平化、代掻き、土壌の養分状態と多様な微生物相互作用等は科学的な定量化ができていないため、新しい技術の創出やイノベーションにはつなげていない。

13、フロンティアの残る土地面積に限界のないアフリカは地球社会の将来の希望の地

緑の革命の実現により産業基盤を形成したアジアは、世界の経済成長の中心となったが農業衰退化も始まった。近未来の食糧危機が危惧される。一方、緑の革命が実現すれば、広大な未開拓の低湿地を有するアフリカは、将来の地球社会の食糧基地になり得る。表 11 に示すように、アジア後

表11. サブサハラアフリカの各種低地の分布面積。全低地2.4億ha (Windmeijer & Andriess 1993) のうちの灌漑水田ポテンシャルの推定は著者による (Wakatsuki 2002, Wakatsuki et al. 2012, 2016)

低湿地の種類	面積	灌漑水田ポテンシャル推定値
沿海低地 Coastal swamps	1700万ha	4-9 百万 ha (25-50%)
内陸デルタ(大低地) Inland deltas (basins)	1.1億ha	5-20 百万 ha (5-20%)
氾濫原 Flood plains	3000万ha	8-23 百万 ha(25-75%)
内陸小低地 Inland valleys	8500万ha	9-21 百万 ha(10-25%)

Sawah技術のターゲットは当初、農民の自力による水制御が容易な内陸小低地で「**谷地田農法**」として確立した。しかし2011年以降、ナイジェリア北部サバンナ帯のKebbiからBorno州の内陸デルタや氾濫原でも氾濫時期の数ヶ月を除けば、簡易なポンプ灌漑により数100万ha規模の水田開発が可能であることが判明し「**アフリカ水田農法**」に進化した。アジアと異なりアフリカの氾濫の破壊力は小さいからである。サブサハラアフリカ全体で利用可能な水量はアジアの40%(Oki et al 2009)なので、アジア(1.4億haの年間灌漑水田稲作作付面積FAOSTAT 2015, AQUASTAT 2016)との比較から約5000万haのポテンシャルが推定される。

を展望すれば、未来の地球社会の希望ともなる。全体で 5000 万 ha 規模の灌漑水田ポテンシャルが推定される。2 億トンの粳生産 10 億人分の食糧増産が期待できる。下の図 15 に示すように、地下水位の浅い、広大な内陸湿地(デルタ)が分布する。とりわけチャド、スーダン、中央アフリカでは過去 20 年で 200 万人以上の死者を出し、現在でも 100 万人以上の難民が避難生活を余儀なくされている。下に示した図 15 からわかるようにこの地域はアフリカの中でも最も有望な水田稲作ポテンシャルが推定される。

緑の革命が実現した暁には、中長期的には集水域低地の水田の集約的な持続性の高さを背景にして、アップランドに森林を再生させ、アフリカ型里山創造が可能になる。日本農業と対比して、土地面積に限界のない広大なアフリカで稲作の緑の革命が実現した暁には、中長期的には集水域低地の水田の集約的な持続性の高さを背景にして、アップランドに森林を再生させ、アフリカ型里山創造が可能になる。広大なアフリカはこれにより中長期的には地球温暖化防止や生物多様性保全に貢献できる。

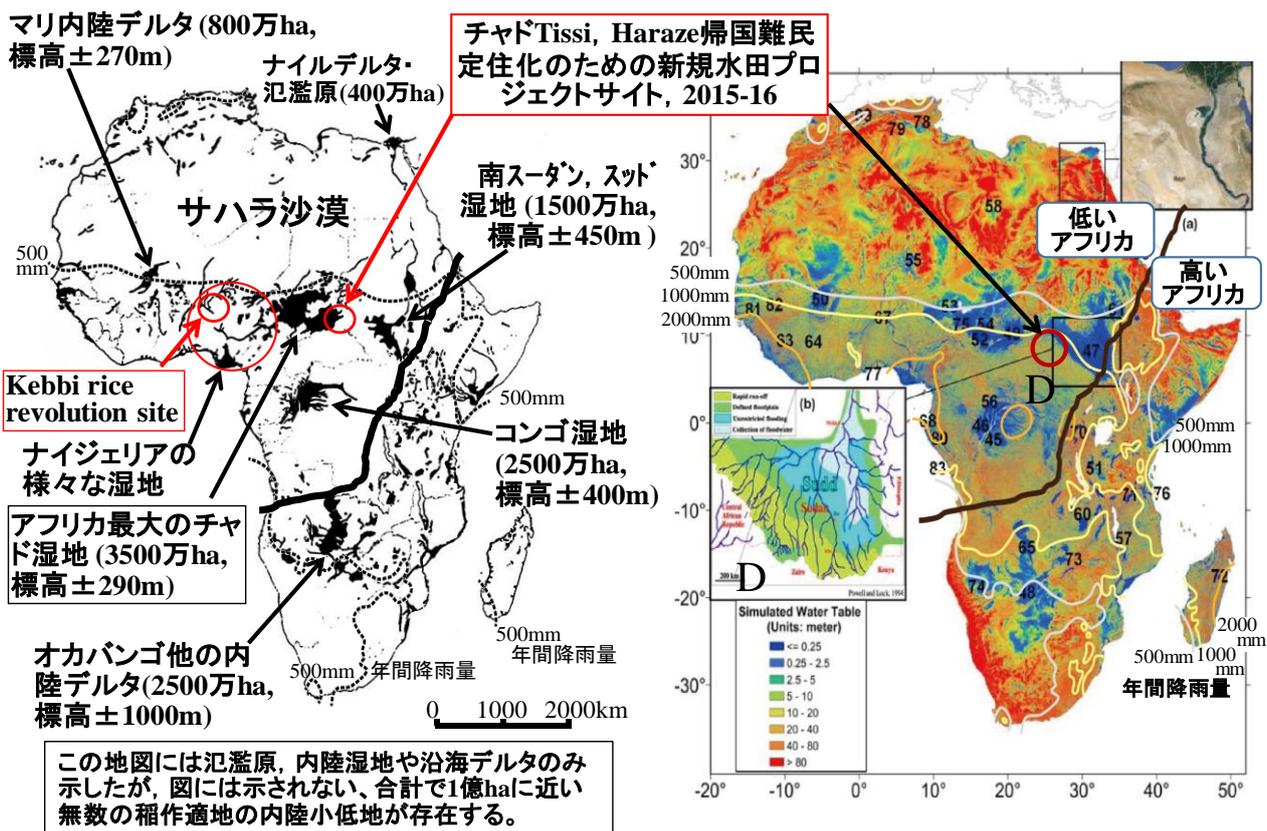


図15. サブサハラアフリカの水田に適した様々な標高に分布する内陸大湿地 (左図 : Van Dam and Van Diepen 1982 ; 右図 : Fan, Y et al. 2013. Global patterns of depth. Science, vol. 339, p.940-943)

14、チャド湖の消滅対策と淡水持続、スーダン・中央アフリカ・ボコハラム難民の定住化にアフリカ水田農法は貢献可能か？

これまで農民の自力水田開発技術という視点から、水のコントロールの比較的容易な内陸小低地をアフリカ水田農法の主要なターゲットとして「谷地田農法」として技術開発をしてきた。しかし 2011 年以降、9 の Kebbi Rice Revolution の項で述べたように、ニジェール川の氾濫原と内陸デルタでも農民レベルでの水田開発が可能であることが明らかになった。図 15 に示すようにア

フリカの内陸湿地では、氾濫期をのぞいて 20m 以深という浅い地下水が利用可能であることは明らかになったからである。2015 年から帰還難民の定住化をチャドで取り組む IOM(国際移住機関)との連携を開始した(図 16)。チャドはマリや南 Sudan よりも広大な湿地を有しており、アフリカ水田農法による水田開発ポテンシャルを有していることが明らかになった。



図 16. 2015—2016 年のチャド東南部、スーダン国境の Tissi と中央アフリカ国境の Haraze 地域(図 15 参照)の移住難民によるアフリカ水田農法による自力水田開発と稲作のオンザジョブ訓練

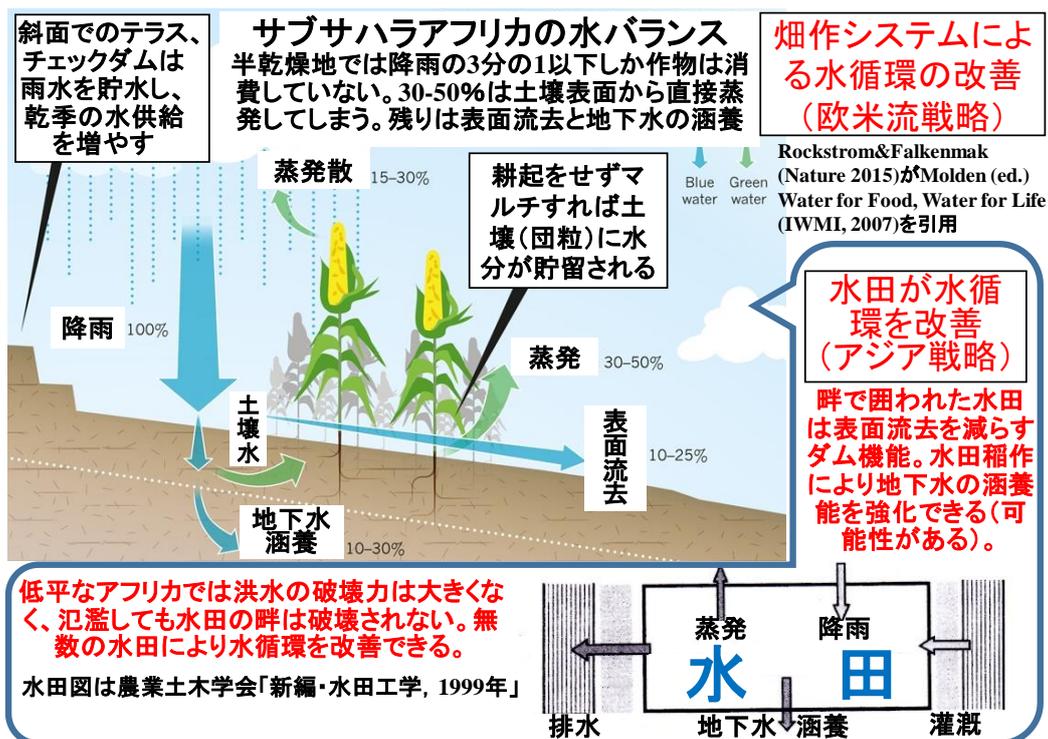


図17. アフリカの水循環を改善するための畑作ベースの戦略と水田ベースの戦略

低平な地形が広がるアフリカではダム湖の造成による重力灌漑水田開発は蒸発量の増大による水資源の無駄とダム湿地の造成による広大な土地を無駄にする。例えばカメルーン北部のマガダムは27kmの堤防で5万haのダム湖を造成して1万haの灌漑水田を開発したが、持続可能性に疑問符がついている。図16に示すような広大な湿地の地下水の持続が重要であり、水田の地下水涵養機能の強化がカギとなる。ナイジェリアのケッピ州での稲作革命の成果が利用できる。ナセル湖ができる前の、ナイルデルタや氾濫原で行われていた、アフリカ氾濫原農法 (Hyams 1972, Karim et al 2012, Nile Basin Initiative 2012) とアフリカ水田農法の融合がカギとなると思われる。

図17に示したように、サブサハラアフリカの水文の特徴は降雨のうち蒸発により失われる割合が30-50%と多く、河川水となる表面流去水の割合が10-25%と少ないので、ダムの利用や河川水からの直接取水可能量は、アジアに比べて多くない。地下水の割合が10-30%と比較的多いことが特徴である。このような状況で欧米型の土壌団粒の機能を重視する畑作システムをベースとする水循環の改善戦略とアジア型の水田システムによる水循環の改善戦略の両者を併用することが重要と考えられる。

15、アジア・アフリカ連携による世界平和の構築

日本農業は、世界を植民地化した欧米型のグローバリゼーションではなく、日本型グローバリゼーションにより世界に貢献できる。アフリカ水田農法等をさらに進化させながら、中国やインドネシア等のアジア諸国と連携しながら、サブサハラアフリカの1千万の農民に普及させることは重要な貢献になる。これによりガーナ50万ha、ナイジェリア500万ha、サブサハラアフリカ5000万haの水田稲作を実現し、アジアで1000年を要した水田開発(国土基盤と科学技術の適用基盤作り)を数十年以内に短縮させ、地球社会の持続可能な食糧を確保し、平和構築に貢献できる。

16、参考文献

- Africa Rice 2016. Sawah, Market Access, and Rice Technology (SMART) choice for Africa's inland-valley rice farmers by AfricaRice (4 March 2016)
<http://ricetoday.irri.org/a-smart-choice-for-africas-inland-valley-rice-farmers/>
- Fan Y, Li H, and Miguez-Macho G. 2013. Global patterns of groundwater table depth, *Science*, 22 February 2013, Vol 339: 940-943
- AQUASTAT. 2016. <http://www.fao.org/nr/aquastat>
- FAOSTAT. 2015. <http://www.fao.org/statistics/en/>
- CARD. 2008. アフリカ稲作振興のための共同体 (Coalition for Africa Rice Development), 国際協力機構 JICA, http://www.jica.go.jp/activities/issues/agricul/pdf/02_honbun.pdf
- Dakingari ASU. 2013. Growing Agriculture in Kebbi state, paper presented by the executive governor of Kebbi state at the 19th National Economic summit, Group (NESG) held in Abuja on the 4th September, 2013 ([http://www.nigerianeconomicssummit.org/images/GovernorDakingari\(Kebbi\)_Plenary5.pdf](http://www.nigerianeconomicssummit.org/images/GovernorDakingari(Kebbi)_Plenary5.pdf))
- 藤森新作・小野寺恒雄 2012. 「水田農業自由自在、地下水位制御システム FOEAS」農文協, 115 頁
- 古川久雄. 2011. 「オアシス農耕起源論」、京大出版、
- 小森 努. 2011. 御所市中西遺跡の弥生時代水田遺構, 2011年11月12日、橿原考古学研究所による説明会、<http://tsu-com515.my.coocan.jp/H23.11.12NakanishiIseki.html>
- HSIEH Sung-Ching. 2001. Agricultural Reform in Africa-With Special Focus on Taiwan Assisted Rice Production in Africa, Past, Present and the Future Perspective-, *Tropics* Vol.11(1):33-58
- Hyams E. 1976. Soil and Civilization, Haper, London, pp312
- IITA 1992. Annual Report, p34
- IITA 2008. Bountiful rice harvest from 'Sawah' system, http://www.iita.org/search/-/journal_content/56/25357/48172#.Vws6g2xJloa
- 李登輝. 2015. 「新・台湾の主張」、PHP 新書
- Karimi P, Molden D, Notenbaert A and Pdeden D. 2012. Nile Basin farming systems and productivity,

- <http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/H045315.pdf>
- Mophapatra S. 2016. A SMART(Sawah, market Access and Rice Technology) choice for Africa's Inland Valley farmers, Rice today by IRRI, <http://ricetoday.irri.org/a-smart-choice-for-africas-inland-valley-rice-farmers/>
- Nile Basin Initiative. 2016. State of the river Nile basin 2012
<http://nilebasin.org/nileis/content/state-river-nile-basin-report>
- 農業土木学会編 1999. Advanced Paddy Field Engineering, 信山社サイテック、388 頁
- Oki T, Agata Y, Kanae S, Saruhashi T, Yang D, and Musiake K. 2009. Global assessment of current water resources using total runoff integrating pathways, Hydrological Sciences Journal, 46(6) 983-995, DOI:10.1080/02626660109492890
- Oyediran GO. 1990. *Genesis, Classification and Potential Productivity of Selected Wetland Soils in the Savanna Ecosystem of Nigeria*, PhD Thesis, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria, pp1-335
- Rockstrom J and Falkenmark. 2015. Increasing water harvesting in Africa, *Nature*, Vol. 516:283-285
- SMART 2016. Sawah, market access and rice technology in African Inland valley ecology (<https://smartiv.wordpress.com/>)
- 若月利之. 1989. 水田はアフリカを救えるか、私の任国事情、JICA Expert 誌 : No. 80:8-16
<http://www.kinki-ecotech.jp/download/JICAExpert1989No.2.pdf>
- Wakatsuki T. 2002. Sustainable Agricultural Development of West Africa during Global Environmental Crises, In Horose and Wakatsuki ed "Restoration of Inland Valley Ecosystems in West Africa", Association of Agriculture & Forestry Statistics, Tokyo, p572
- Wakatsuki T, Buri MM, Bam R, Ademiluyi SY and Azogu II. 2012. Sawah Ecotechnology: Farmers' Personal Irrigated Sawah Systems to Realize the Green Revolution and Africa's Rice Potential, In Buri MM, Wakatsuki T, Issaka RN and Abe S edited "Proceedings of the 1st International Workshop on Sawah Ecotechnology and Rice Farming in Sub-Saharan Africa", 22nd -24th Nov. 2011, Kumasi Ghana, NiiNai Creations, pp222
- 若月利之 2016. Sawah technology for African Green Revolution ホームページ、アフリカ水田農法 (Sawah 技術) の社会実装による稲作革命の実現、<http://www.kinki-ecotech.jp/>
- 若月利之. 2009. アフリカ発谷地田農法で新・緑の革命、現代農業 11月号 : 346-350 頁
- 若月利之・謝順景. 2003. 「アフリカ稲作開発協力史—その1 台湾」国際農林業協力 Vol.26(No3):82-94
- Van Dam AJ and Van Diepen CA. 1982. The soils of the flat wetlands of the world, their distribution and their agricultural potential. Technical paper 5 for Polders of the world, pp1-50. Wageningen, International Soil Muesum, http://www.isric.org/isric/webdocs/docs/ISRIC_TechPap05.pdf
- Zwart S and Hamady H. 2016b. Finding flood-prone rice areas in West Africa, <http://ricetoday.irri.org/finding-flood-prone-rice-areas-in-west-africa/>, in ricetoday.irri.org

にほんどじょうひりょうがつかい2015ねんどきようたいかいこうかいしんぼじうむ こうえんようししゅう
日本土壤肥料学会2015年度京都大会公開シンポジウム 講演要旨集

2015年9月11日 発行

2016年6月30日 改訂

編者	日本土壤肥料学会2015年度京都大会運営委員会
発行所	日本土壤肥料学会2015年度京都大会運営委員会事務局 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 電話: 075-753-6299, 075-753-6103 FAX: 075-753-6103
印刷所	有限会社 レイ・プリンティング 〒602-8497 京都市上京区戌亥町 121 番地 電話: 075-417-5251 FAX: 075-417-5261 URL: http://www.rayp.jp/

Proceedings of a Public Symposium on Annual Meeting of Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition
2015 Kyoto.

Edited by Steering Committee of JSSSPN 2015 Kyoto

Published by Steering Committee of JSSSPN 2015 Kyoto

All rights reserved

© 2015 Steering Committee of JSSSPN 2015 Kyoto

シンポジウム「土壌はアフリカを養えるのか」講演要旨集