

2-03 Sawah 技術イノベーションの社会実装によるアフリカの稲作革命の実現 Implementation of Innovative Sawah Technology for Rice Green Revolution in Africa

(2013年4月19日、第26回学術会議環境工学連合講演会、日本学術会議講堂、東京)

若月 利之*

Toshiyuki WAKATSUKI

Abstract

Almost all agricultural research results could not scale up to farmers' fields during last 50 years in Africa. Thus, the Green Revolution (GR) is yet to be realized. To increase rice production, both "varietal improvement" and "improvement of ecological environments" are equally important. The two technologies are complementary each other. However, "sawah" research and development to improve farmers' ecological environments have been largely neglected in Africa. We could finally develop sawah ecotechnology package based on the long term action research in Nigeria and Ghana during 1986-2011. The technology makes possible farmers' themselves to develop their personal irrigated sawah systems and to produce 20-50 tons of paddies (equivalent to \$10,000-25,000) per season using one powertiller (\$4000) within three years. The technology was successfully tested at 50 sites and 100 ha in Ghana and 100 sites and 200 ha in Nigeria. The sawah technology has four components of skills, i.e., ① site selection and site specific sawah system design. ② efficient and low cost sawah development using appropriate mechanization, such as power tiller, ③ sawah based rice farming using basic three GR technologies, i.e., good variety, fertilizer and irrigation, to sustain paddy yield >4t/ha, (IV). Socio-economic skills for rice farmers innovative empowerment for endogenous extension of Sawah ecotechnology. Immediate our target is to scale up the sawah ecotechnology from the testing & demonstration stage to the point of total dissemination and rapid expansion, i.e. 500 sites and 5000ha at inland valley and flood plains in all 10 states in Ghana and 26 major states in Nigeria, respectively. Traditional ODA-based development of such scale claims more than \$100 million only for development and no sustainable management as well as endogenous expansion. This sawah ecotechnology, however, makes realize the same scale of development using less than \$10 million with accelerated endogenous development because of the on-the-job training of 500 sawah farmers at the same time. If we can train 500 sawah farmers, 5000ha of personal irrigated sawah can develop, then this 5000ha of sawah development can train additional 2500 sawah farmers, which resulted in 25,000ha of sawah development in next phase, and so on.

Keyword: Endogenous Rice green revolution, Sawah ecotechnology, Farmers' self-support efforts, Sawah hypothesis 1 and 2, Watershed Agroforestry, ODA disruptive innovation

1. はじめに

表1に示すように、過去50年アフリカの人口は3倍以上増加した¹⁾。一方、収量は停滞し、一人当たりの主食作物の自給生産量は伸びていない。この間アジアは緑の革命に成功し収量は倍増、一人当たりの自給生産量は人口増加を40%上回った。これが、今日急速に発展するアジアの基盤となった。

アフリカの伝統的穀物のミレットとソルガムの自給生産量が顕著に減少したが、メイズと米の生産量が増加した。パン食の普及により麦類の消費も急増した。米消費も急増した。アフリカの主食作物は多様であるが、水分と栄養価で補正した穀物換算生産量(ヤムはFAOSTAT2012¹⁾の重量データの5分の1、キャッサバは8分の1とした)で比較すると^{2) 3)}、西アフリカでは、一人当たりのコメ消費量は現在ではメイズを抜いて最大、アフリカ全体でもメイズについて2番目の消費量になった。50年前米消費はメイズ、ソルガム、ミレットよりかなり小さかった。

アフリカでは麦類の自給生産は気候的に限界があるが、米は2010年時点の自給生産量1800万トンに対してポテンシャルは8000万トン以上あり大変大きい(表2:2000万haの水田が開発され4t/haの収量が実現した場合)。アフリカでは過去50年、自給生産量は1960年代380万トン、1970年代530万トン、1980年代750万トン、1990年代1000万トン、2000年代1550万トンと順調に自給生産を増加させてきたが、輸入量も1960年代80万トン、1970年代180万トン、1980年代390万トン、1990年代530万トン、2000年代1100万トンと急増し、自給率は1960年代の80%台から2000年代では60%以下に低下した。米生産のポテンシャルは極めて大きいにも関わらず、稲作技術が未成熟ゆえ、米輸入により貴重な外貨を減らし、2008年のコメ価格高騰では暴動に発展する事態も生じてきた。米と麦を除けば、他の主食作物の自給生産は問題がないので、コメ生産増への日本やアジアからの協力の必要性は極めて高い。

*近畿大学農学部教授、Faculty of Agriculture, Kinki University, Professor, 農学博士、Doctor of Agriculture, (社) 土壤肥料学会、Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition、現在、島根大学生物資源科学部名誉教授

表1 西アフリカとサブサハラアフリカの過去50年の人口、一人当たり食糧生産、輸入を含む消費量 (kg/年・人) の変遷 (FAOSTAT 2012年¹⁾)

	項目/年	1961/65 ①	1965/70	1971/75	1975/80	1981/85	1985/90	1991/95	1996/00	2001/05	2005/10 ②	50年変化 (②/①)
サブ サ ハラ ア フリ カ	人口 (億人)	2.3	2.4	2.8	3.3	3.8	4.4	5.0	5.8	7.2	8.2	3.6倍
	籾収量 (t/ha)	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.3倍
	籾全生産量(100万トン/年)	3.5	4.3	5.1	6.0	6.7	8.8	10.1	11.2	12.4	17.2	4.9倍
	イネの作付面積(100万ha)	2.9	3.3	3.6	4.3	4.8	5.5	6.3	7.0	8.3	10.8	3.7倍
	籾自給生産量 (kg/年・人)	15.4	16.6	17.3	17.1	17.1	19.4	19.4	19.0	18.3	21.5	1.4倍
	米消費量 (含輸入 kg/年・人)	19.0	20.2	21.4	24.7	27.2	28.5	29.2	28.9	33.6	35.2	1.9倍
	麦類自給生産量 (kg/年・人)	7.7	8.0	7.4	6.6	6.5	6.6	6.1	6.1	6.6	7.7	1.0倍
	麦消費量 (含輸入 kg/年・人)	12.0	13.7	14.5	16.0	17.9	16.5	17.1	18.7	22.8	26.0	2.2倍
	メイズ自給生産量 (kg/年人)	40.8	42.6	43.3	41.9	39.1	49.3	45.5	45.3	43.2	49.1	1.2倍
	ミレット自給生産量 (同上)	30.4	28.2	26.8	22.5	20.5	22.5	21.8	21.8	21.7	22.2	0.7倍
	ソルガム自給生産量 (同上)	42.8	36.8	32.7	30.4	30.1	30.0	30.5	30.6	30.7	30.1	0.7倍
	ヤム自給生産量 (同上)	7.5	10.3	8.6	6.4	5.6	6.7	11.5	12.0	12.7	12.5	1.7倍
	キャッサバ (同上)	18.0	17.9	17.8	17.5	17.1	17.6	19.8	18.9	19.3	19.5	1.1倍
	全自給生産量 (同上)	163	160	154	142	136	152	155	153	153	162	1.0倍
西 ア フリ カ	人口 (億人)	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.1	2.3	2.5	2.9	3.2倍
	籾収量(t/ha)	1.0	1.2	1.2	1.2	1.4	1.6	1.7	1.7	1.4	1.6	1.6倍
	籾生産量(100万トン/年)	1.6	2.0	2.4	2.9	3.7	5.1	6.2	7.0	7.4	10.1	6.3倍
	イネの作付面積 (100万ha)	1.6	1.7	2.0	2.4	2.6	3.2	3.6	4.1	5.3	6.3	3.9倍
	籾自給生産量 (kg/年・人)	16.1	18.6	19.6	20.5	22.7	27.5	29.1	28.9	27.0	31.5	2.0倍
	米消費量 (含輸入 kg/年・人)	21.3	24.2	25.7	32.8	39.7	43.0	46.8	47.0	55.8	55.7	2.6倍
	麦類自給生産量 (kg/年・人)	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3	1.5倍
	麦消費量 (含輸入 kg/年・人)	3.6	5.3	7.2	12.2	13.2	9.1	10.8	13.2	17.2	21.2	5.9倍
	メイズ自給生産量 (kg/年人)	24.4	24.7	21.4	17.1	20.3	40.0	46.4	40.0	40.0	48.3	2.0倍
	ミレット自給生産量 (同上)	53.7	48.9	47.9	38.9	38.5	45.2	43.7	43.8	44.4	45.4	0.8倍
	ソルガム自給生産量 (同上)	63.4	51.3	42.8	37.0	39.0	43.6	46.1	46.0	46.3	44.4	0.7倍
	ヤム自給生産量 (同上)	14.9	15.7	14.9	15.3	13.7	15.8	24.1	24.4	25.2	25.7	1.7倍
	キャッサバ (同上)	16.0	22.6	18.7	14.0	12.2	15.0	26.5	28.0	29.9	29.5	1.8倍
全自給生産量 (同上)	189	182	166	143	147	188	216	212	213	225	1.2倍	
アジ ア 途 上 国	全自給生産量 (kg/年・人)	206	221	228	243	265	271	279	283	265	289	1.4倍
	籾収量(t/ha)	1.9	2.1	2.3	2.7	3.1	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	2.3倍

筆者は1986年3月から2年間、ナイジェリアのイバダン市に本拠を置く国際熱帯農業研究所 (IITA) に水田土壌学専門家として国際協力機構 (JICA) から派遣された。アジアで実現した緑の革命が西アフリカで何故実現しないのか。IITAのような研究機関では5-8t/haという高収量が持続するのに、農民の収量は1t程度なのは何故か。このギャップを埋めるにはどうしたらよいか?というのが赴任時の問題意識であり、それへの解答が「水田は西アフリカを救う」であった⁴⁾。

以来27年間、文科省・学術振興会の科研費 (1992-2011) や国際協力機構の研究協力⁵⁾等、ナイジェリアとガーナを中心に、西アフリカの水田稲作振興のための調査研究とアクションリサーチを継続してきた。試行錯誤の失敗続きであったが、当初は日本人がリードし、この間に多数の博士留学生が育成できたので、最近ではアフリカ人研究者がリードする形で継続している^{6), 7), 8)}。当初は水田帝国主義という批判や水田稲作についての誤解から、ネリカ稲のような陸稲が重視されることもあったが、ここ10年は農民圃場の現場では西でも東アフリカでも低湿地稲作は急速に、水田的稲作も着実に拡大しつつある^{9), 10), 11), 12), 13)}。

表3に示すように我々はアフリカでは水田を英語表記する場合、インドネシア語のSawahを使っている。Sawah project, Sawah technologyあるいはSawah ecotechnologyという専門用語を使って、水田開発プロジェクト、水田稲作技術、水田生態工学技術を国際発信している。水田をpaddyと英語表記すると、アフリカでは籾あるいは稲植物と理解され、稲作における水田の意義が全く理解されない (表3)。

2008年のTICAD-IVで打ち出された国際協力機構の「アフリカの稲作振興のための共同体 (CARD)」政策では水田稲作、とりわけ本稿で述べるような「農民自身で建設・維持管理ができる小低地での水田稲作が重視されるようになった¹²⁾。ただし、CARDでは陸稲はいまだ重視されている。

アフリカにおける水田稲作の理解が進むにつれ、国際農林業研究センター (JIRCAS) の低コスト水田開発研究グループ^{14), 15)}やアフリカ稲センターのSMARTプログラム (Sawah, Market Access and Rice Technology)¹⁶⁾等との連携も進展し、私達の長期アクションリサーチも、ここ数年、ようやくゴールへの道が見えてきた^{8), 11), 17)}。

2. エコテクノロジー、水田仮説1と2、アフリカ型里山創造

アジアやラテンアメリカの緑の革命は品種改良により実現した。それ故に、アフリカの緑の革命を実現する中核技術もバイオテクノロジーであるとの仮定の下で、世界の主流は過去40年研究活動を行っ

てきた。しかし、IITA, AfricaRice, IRRI等で生まれた技術は農民圃場にスケールアップできず、研究所内の収量5-8t/ha、農民圃場では1-2t/haというギャップは過去40年埋まらず、緑の革命実現への道筋は、不透明である。

農学は生物と環境により成り立つ。稲作振興は(1)育種研究 (Breeding) による「品種改良」バイオテクノロジーと(2)水田研究 (sawah) による「生態環境の改良」エコテクノロジーの両者の応用が車の両輪である (表4と図1)。しかし、過去40年のアフリカの稲作振興は、バイオサイエンスの急速な進歩とアジア等における高収量品種の成功体験故に、品種改良研究に偏重してきたように思える。

しかしながら、農民圃場と研究所圃場とのギャップが埋まらない状態が過去40年以上継続してきたことから、アフリカの農業開発研究は基本戦略の部分で誤解があるのではないと思われる。その誤解を解く鍵が水田仮説1である (Google衛星写真1、写真2、図2、図3)。我々は、アフリカに緑の革命を実現する中核技術はアジアとは異なり生態環境を改良する水田 (sawah サワ) エコテクノロジーであるという水田仮説1、集水域の低地に適地適田開発した水田は適切に管理すれば畑地の10倍以上の持続可能な集約的生産性があるという水田仮説2 (図4) を、農民圃場において十分な規模で実証することをこれまでのアクションリサーチの中心課題としてきた。

とりわけ、水田仮説1は科学技術の適用には前提となる作動条件 (基本インフラ) があること、農民圃場の「場の特性が科学技術の適用の可否を決める」ことを意味する。福島原子力発電所が地震と津波で技術の作動条件が破壊され、制御不能になった場合と対比が可能である。稲に限らずトウモロコシやソルガム等他の作物でも同様であり、緑の革命の3要素技術 (品種、土壌肥料、灌漑排水) の適用には、農地基盤は地形や水文や土壌に応じて分類区画整備される必要があることを意味する。ヤブ状の栽培環境では科学技術は適切に作動しない (Google衛星写真1、写真2、図2)。

このような科学技術の適用基盤 (インフラ) 整備はアジア諸国や日本では農民による水田開発として、数百年から千年という歴史的時間をかけて行われてきた (図3)。この基盤の上に近代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。欧米では農業革命と産業革命の基盤を作ったエンクロージャーがこれに対比できる。アフリカの農地のみが何故このような混沌としたヤブ状態にあるかについては、以下の図3と図4に示すように、15世紀に始まる欧米のグローバリゼーションと奴隷貿易と植民地支配の500年の歴史が絡んでいるものと思われる。日本の水田開発や国土基盤は15世紀以降に整備されたが、アフリカでは不可能な状態に置かれた。

表2. 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) のうちの灌漑水田面積の推定は著者による(Wakatsuki 2002, Wakatsuki et al. 2012)

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%)
内陸大低地 Inland basins	1.1億ha	1-5 百万 ha (1-5%)
氾濫原 Flood plains	3000万ha	8-15 百万 ha(25-50%)
内陸小低地 Inland valleys	8500万ha	9-20 百万 ha(10-25%)

Sawah技術のターゲットは農民レベルで水制御が可能な内陸小低地である。ナイジェリア北部ギニアサバンナ帯のKebbiからBorno州の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100万ha規模の水田開発が可能である(ナイジェリア全体で3-5百万ha)。サブサハラアフリカ全体では水循環量が主要な制限因子となる。アジア(1.3億haの灌漑水田)モンスーンとの比較から約2000万haのポテンシャルが推定される。技術革新によっては5000万ha規模も可能かもしれない。

表3. 水田(Suiden)概念は存在しないので、水田を適切に表す言葉が、アフリカの現地語はもとより英語や仏語に存在しない

水田 (suiden) =SAWAH(インドネシア語)			
	English/ French	Indonesian	Chinese(漢字)
Plant	Rice	Nasi	米, 飯, 稻
Biology	Paddy	Padi	稻, 粳
Environment Ecology	(Paddy Padi)?	Sawah	水田

- ①アフリカでは水田(Suiden)という概念と言葉の不在が、生態環境としては適地は広いのだが、食糧増産、環境保全、景観と文化創造を含む、持続可能な水田稲作の展開を妨げている。
- ②英単語のPaddyは水田を適切に表現する言葉ではない。稲植物や粳を意味するのが本来の意味。Paddyはインドネシア語起源なので水田としては同じくインドネシア語のSawahを使うことを提案。
- ③インドネシアは1955年に最初のアジア・アフリカ会議を主催(Bandung Sprit)。2005年にも2回目を開催。アジア、アフリカ協力をシンボライズできる。日本と中国はアフリカ協力の方針は異なるが、インドネシア、タイ、ベトナム等とは連携しやすい。

表4. バイオテクノロジー(生物工学)とエコテクノロジー(生態工学) 生物と生態環境の統合的改良は農業と農学の原点。

Bio-technology 生物工学:
 遺伝子の改良により良い品種を作り出す。
 ターゲットはDNAであり
 その作動基盤は細胞と生物体

Eco-technology 生態工学:
 水(循環)と土壌の改良により良い生育のための生態環境を創出。ターゲットは水土で、とりわけ水循環の制御。
 作動基盤は区画された農地と集水域

アフリカの緑の革命実現のためのこの視点からの研究、開発、イノベーション、普及活動は我々の水田生態工学的研究Sawah Ecotechnology Research 以外、大変少ない。

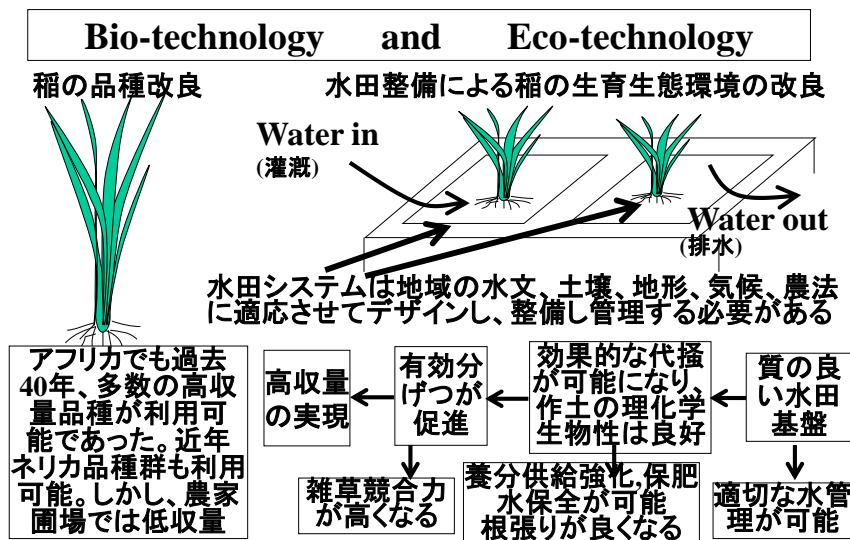


図1. 稲植物の改良を行う育種研究と稲の生育生態環境の改良を行う水田研究はバランスよく実施する必要がある。バイオとエコテクノロジーは適切なバランスで研究開発され利用される必要がある。

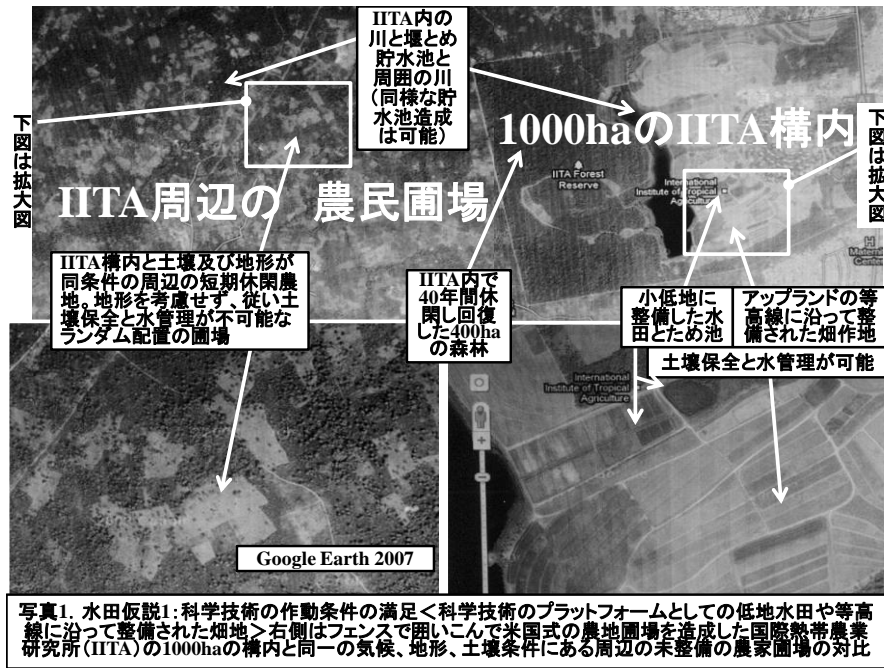


写真1. 水田仮説1: 科学技術の作動条件の満足<科学技術のプラットフォームとしての低地水田や等高線に沿って整備された畑>右側はフェンスで囲いこんで米国式の農地圃場を造成した国際熱帯農業研究所(IITA)の1000haの構内と同一の気候、地形、土壌条件にある周辺の未整備の農家圃場の対比



混沌とした農家圃場: 不均質で多様な生態環境が混在し、区画がない。多種多様な作物と品種、多様な混作体系で多種の雑草も存在。

- 圃場環境の改良は困難。
- 農民圃場の所有権は重層的で多様な人々とコミュニティによる共有型である。
- 市場価値のあるポストハーベスト技術は適用不可能。

生態工学的に整備した水田区画: 個々の水田は多様だが、似た地形面の環境毎に区画される。各圃場は比較的均質で、水文条件も似ており、水管理が可能である。

- 各圃場は改善の継続で改良が可能。
- 土地の測量と登記も可能になり、私的な所有権と管理権が促進される。
- 規格化された市場競争力のある稲生産。

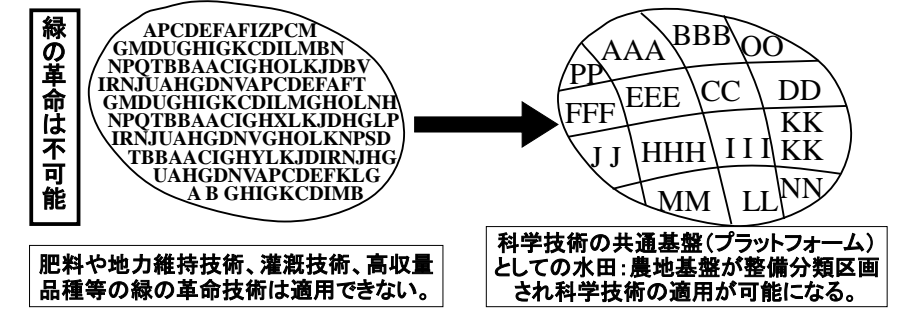


図2 水田仮説1: 水田的な地形と水及び土壌という生態環境で区画された圃場が必要: 緑の革命の3要素技術を適用するための前提条件は、生態環境が区画され分類され、品種改良のように、生態環境も改良できる水田的な圃場が存在すること。アフリカ独特の生態環境と社会経済条件及び過去500年の歴史的経過(奴隷・植民地)に由来すると考えられる。

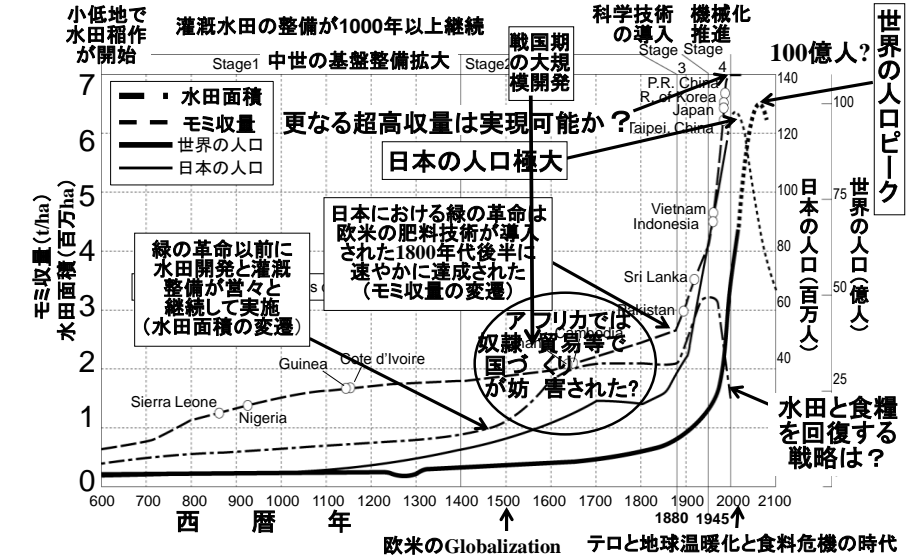
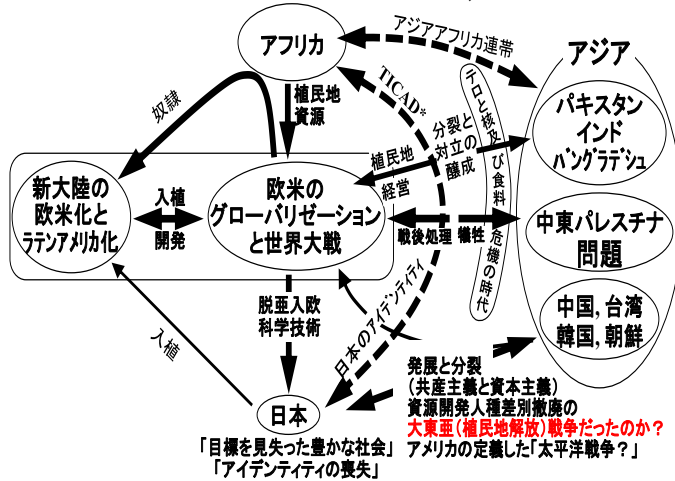


図3. 大化の改新以来の日本の水田面積と収量及び人口の変遷(高瀬, 2003; Wakatsuki, 2008; 鬼頭, 2007; 本間, 1998)。日本の人口は2007年がピーク。今後は減少。その前に水田が減少。1900-2000年は日本や欧米の人口ピークの100年、2000-2100年の100年が途上国を含む世界の人口ピークの時代。地球環境問題と南北問題のピークもこれから。今後の50年は世界的な大変動が予想される。世界の動態を50-60年先取りしている日本社会は今後50年の世界の危機を救う貢献が可能。

何故アフリカ？ 緑の革命今だならず人口増加：食料・環境危機、脆弱な経済
 発展の基盤：ナイジェリア：世界3～5位の人口大国、そしてSSA (2050年)



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

図4. 1500年頃からの欧米グローバリゼーションの犠牲になった「世界の故郷」アフリカの再生、欧米の科学技術の恩恵を受けた日本、21世紀に入って立ちすくむ日本。新しい地球社会創造への貢献による日本の新しい「国創り」の必要性 (過去500年の清算に関連する欧米のODAではない日本的なODAが必要)

3、Sawah 技術の開発と緑の革命への道筋

最優先の目標は、西アフリカ特有の多様な生態環境と社会経済条件に適応し、農民圃場の現場で進化が可能な低地水田生態工学技術 sawah ecotechnology (以下 Sawah 技術) をアフリカ農民との共同作業の試行錯誤の中で完成し、自力展開が可能な普及の道筋を、十分な規模の現地アクションリサーチにより、実証的に明らかにし、アフリカに緑の革命を実現する確かなロードマップを提示することを目標とした。中長期的目標は、水田仮説2 (図5) に示すように、低地水田の集約的持続性の高さを背景に、アップランドにおける持続可能な森林再生と利用技術を sawah 技術と融合させ、アフリカ型里山システムを創造する。緑の革命により食糧増産が実現すれば、広大なアフリカは温暖化防止に貢献でき、アフリカは 30-50 年後の地球社会を救うポテンシャルがある。

これまでの現地研究のほとんどは、ガーナのクマシ周辺の森林移行帯とナイジェリアのナイジャー州の Bida 市付近のギニアサバンナ帯で選定したベンチマーク内陸小低地集水域における sawah 技術パッケージの開発のための実証研究であった。この長期にわたるベンチマーク集水域での成果として水田仮説1と2を実証する武器、農民圃場で適応進化が可能な Sawah 技術パッケージを作り上げることに成功したのが 2008-9 年にかけてで、技術内容は継続的に改善しており本原稿を書いている 2012 年 12 月時点での内容を表5に示した。

2009 年以降は、技術開発から普及に軸足を移し、目標を緑の革命実現に焦点を合わせ、サブサハラ・アフリカの全気候帯でのスケールアップを目的に、ア

クションリサーチをベンチマーク集水域に留まらず、ナイジェリアでは、北のスーダンサバンナ帯、中部のギニアサバンナ帯、南部の森林移行帯及び赤道森林帯、ガーナでも森林移行帯の北のギニアサバンナ帯に拡大し、又、小低地集水域のみならず、氾濫原もターゲットとした。

Sawah 技術は水田仮説1と2の実証を可能にする戦略的な武器となることがあきらかになりつつある。1986-2002 年段階 (JICA 研究協力⁵⁾) では、1 台の耕運機で年間 1ha の水田開発と水田稲作が限界であったが、技術の適応進化により 2010-11 年では 1-2 年で 10ha の新規開田、50 トンの籾生産も可能になった。この結果 1ha の灌漑水田開発コストは技術の訓練費用も入れて 1000-3000 ドル程度になった。これまでのアフリカ農業研究と全く異なり、アフリカ農民の Sawah 技術が従来型の農業研究を有効にすることも明らかになった。水田 (sawah) により生態環境を改良し、緑の革命の 3 要素科学技術 (品種、肥料、灌漑技術) の作動条件が満足されるようになる。

5、Sawah 技術の社会実装の構想

Sawah 技術は農民の自力による適地適田灌漑水田開発と稲作技術で (表5)、①適地選定と適田システムのデザイン、②重機でなく、耕耘機のような適正な機械力で効率の良い、費用対効果の高い灌漑水田開発技術、③収量 4t/ha 以上の水田稲作技術、④持続性と内発性を担保する社会経済技術の 4 つのパッケージである。

Africa Rice Congress (第1回はダラエスサラーム 2006 年 8 月、第2回がバマコ 2010 年 3 月) でその内容を Sawah チームとして発表し、2011 年 11 月には本特別推進研究チームはガーナ産業科学技術省と食糧農業省、アフリカ稲作センター (AfricaRice)、国際農林水産業研究センター (JIRCAS) と Sawah 技術に関する最初の国際ワークショップをクマシで共催し、ナイジェリアの Fadama III、トーゴ、ベナン等から低地農業開発関係者約 140 名が参加して、技術の内容、問題点その将来を議論するとともに、農民圃場の現場で従来型の ODA 方式の開発と比較しながら検討し、Sawah 技術の戦略的優位性を確認した⁸⁾¹⁸⁾。

アクションリサーチと開発と及び訓練が同時進行するので、加速度的に開発が可能である。従い、この技術がアフリカの全水田ポテンシャルの数%、100 万 ha 規模まで普及すれば、緑の革命は実現する。当面はこれまでのアクションリサーチの 300ha の規模を約 10 倍、5000ha にスケールアップして、農民レベルでイノベーションを蓄積し、①開発の持続性を担保する土地利用システムの整備、②開発コストダウン、③開発スピードの短縮、④Sawah 水田の籾収量の向上、⑤規格化された水田による市場性の高い籾生産、⑥農民間技術移転の中核となる水田篤農の養成、

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子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又、有機炭素を蓄積する。

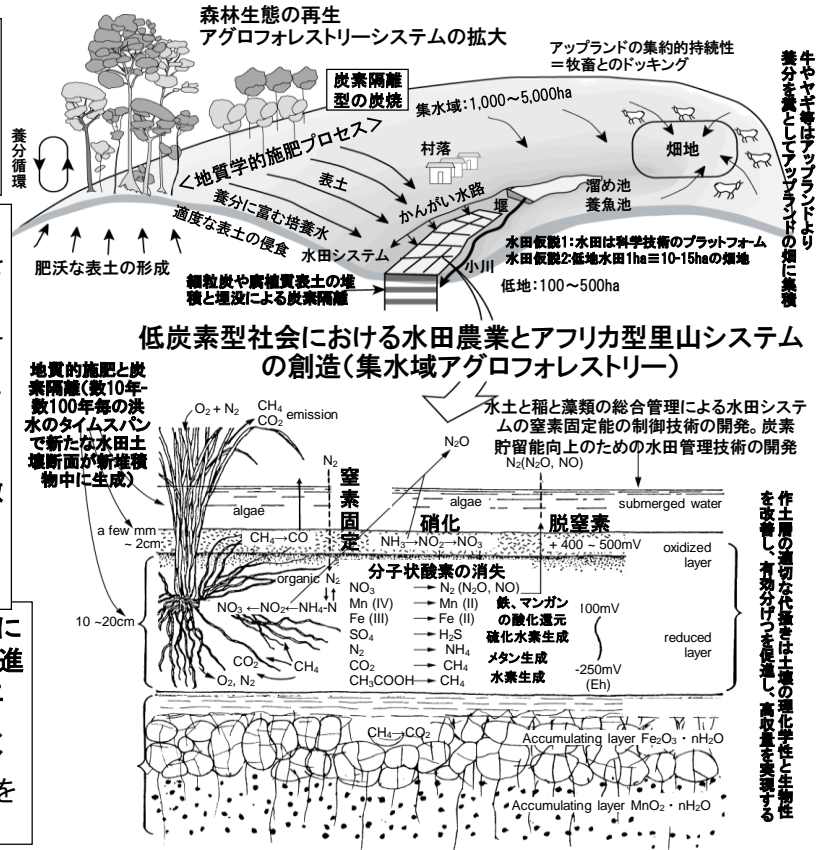


図5.水田仮説2:集約的持続的な生産性の高さを背景にアフリカ型里山集水域を創造して地球温暖化防止

表5、農民の自力適地適田灌漑開発技術Sawah Ecotechnologyの4つの要素技術

(1)適地選定のポイントと適田システムの設計技術の内容

- (a) 稲作農民の存在
 - 全体で10ha以上栽培技術向上に強い意欲
- (b) 水資源
 - 流量>20litre/s
 - 継続期間>5ヶ月/年
 - 氾濫時水量<10t/s
- (c) 地形と土壌
 - 勾配1%前後
 - 極端に砂質でない
- (d) 土地所有者がベスト
 - 借地保障5-10年以上
- (e) 適田システムのデザイン
 - 水田のレイアウト
 - 水田の均平度
 - 畦の質と管理
 - 洪水対策
 - 干ばつ対策
- (f) 取水、分水、貯水、排水システム
 - 簡便な土のう堰
 - 小河川の堰と水路
 - 中河川の堰と水路
 - インターセプト
 - ため池・養魚
 - 小型ポンプ
 - 中・大型ポンプ
 - 中央・中小排水路

適地適田開発と持続可能な管理法のアクションリサーチ。

農民と研究者・技術者との共同作業が重要。農民は現場の水文を熟知しているが水田は未知、技術者は現場を知らない

10ha以上の適地適田灌漑水田を3年以内で1台の耕耘機で開発し、年間40ton以上の粗生産を達成した成功例

- ① 氾濫原のオアシス型ポンプ灌漑システム(スーダンサバンナ帯)
- ② 泉灌漑システム(全気候帯)
- ③ 小河川の堰灌漑(ギニヤサバンナ帯, 森林移行帯, 森林帯)

(2)効率的低コストの開田技能

- (a) ヤブの伐開、抜根
 - 自力+補助的雇用労働費
 - (b) 畔作り、水路切削、地面凹凸処理
 - 自力+補助的雇用労働費
 - (c) 開墾と稲作農具
 - (d) 耕耘機購入と維持管理費用
 - 1台で3-5年で10ha以上開田
 - 購入費用\$3000-5000/10ha,
 - 燃料と修理代 \$2000-3000/10ha
 - 農具と資材費 \$1000/10ha
 - 耕耘機利用と管理技能の熟練度
 - (e) On-the-Job訓練コスト
 - 研究/技術者\$1000/ha,
 - 普及員\$500/ha、篤農\$250/ha
- 目標コスト:1000-3000ドル/ha
開田速度:>3ha/年/耕耘機1台

(3)社会経済技術:稲作農民のエンパワーメント法

- (a) グループの組織化、篤農の養成
 - (b) 耕耘機利用の開田・稲作技術訓練
 - (d) 25ha以上の水田は5万ドルの年間粗生産となり、1万ドルの小型ハーベスターが利用でき、米の市場性向上
 - (e) 機械や土地購入システムサポート
- 耕耘機他の農業機械購入ローン等

(4)水田稲作技術

- (a) 取水、分水、貯水、排水システム管理
- (b) 畔と田面管理
- (c) 水田の水管理
 - 湛水(深、浅)
 - 排水、間断灌漑
- (d) 代掻き技術
- (e) 育苗、移植技術
- (f) 雑草病虫害管理
- (g) 鳥獣害対策
- (h) 施肥と養分及び土壌有機物管理
- (i) 品種選択と管理
- (j) 目標収量の実現

- (1) 基準目標:
 - 1台の耕耘機で収量>4t/ha,
 - 粗生産>20t/年
- (2) 新規開田スタート
 - 3年以内に1台の耕耘機で年間50t以上の粗生産は開発を加速化する
- (3) 収量>10t/haを目指す研究も意味を持つようになる

- (1) 自力開田から新規開田を指導できる篤農と認定Sawah農家の育成が重要
- (2) 水田作りは国づくりと人創り富を増加させた人に報いる借地/土地所有制度が重要
- (3) 逆説的であるが、適地選定が適切ならアフリカの水田開発はアジアに比べ大変容易

自力を基本にODA依存を脱却するイノベーション技術
持続的内発的発展性=農民間技術移転>普及員>研究者>ODA方式

⑦農民組合の強化拡大の施策等を実証的に明らかにし、Sawah 技術の社会実装を実現し、当面はナイジェリア等の西アフリカをターゲットに 100 万 ha の普及への道を明確にすることを目的とする (図 6)。表 6 に示すようにこれまでや現在実施中の ODA 方式の費用対効果を 10 倍以上改善し、かつ加速度的な内発的開発が可能であり、現行 ODA 方式の破壊的イノベーションとなる。(イースタリー 2009¹⁹⁾)。

今後 50 年はアフリカの人口増加率が最も高くなるので、アジアで 1000 年の歴史的時間を要した科学技術適応のための条件整備を、sawah 技術により、アフリカでは今後 50 年以内に完了させる必要がある。この裏付けとなるのが sawah 技術の社会実装である。これにより数百万人単位でアフリカ農民が水田造りと国づくりに主体的に参加することが可能になる。

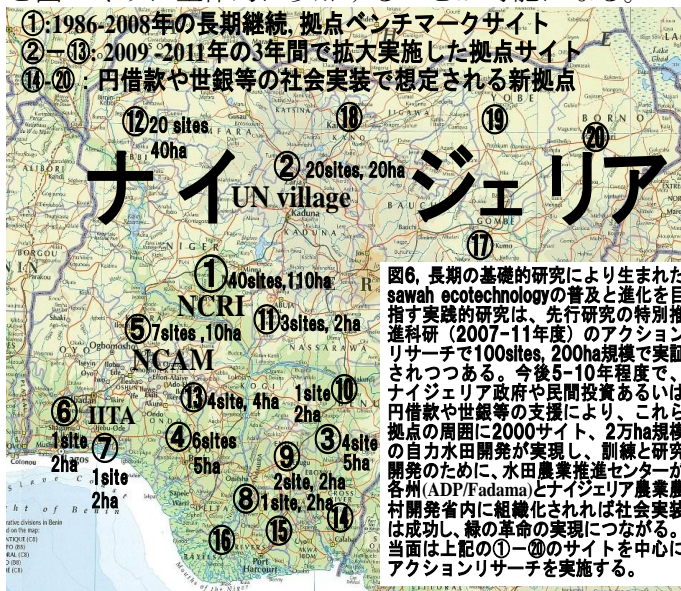


図6. 長期の基礎的研究により生まれた sawah ecotechnology の普及と進化を目指す実践的研究は、先行研究の特別推進研究 (2007-11年度) のアクションリサーチで 100sites, 200ha 規模で実証されつつある。今後 5-10 年程度で、ナイジェリア政府や民間投資あるいは円借款や世銀等の支援により、これら拠点の周囲に 2000 サイト、270ha 規模の自力水田開発が実現し、訓練と研究開発のために、水田農業推進センターが各州 (ADP/Fadama) とナイジェリア農業農村開発省内に組織化されれば社会実装は成功し、緑の革命の実現につながる。当面は上記の①-②⑩のサイトを中心にアクションリサーチを実施する。

表6. 日本のODAで現在及び過去の灌漑水田開発プロジェクトとSawah Ecotechnology (農民の自力適地適田開発と水田稲作技術)の比較

1. ナイジェリア, ローア・アナンプラ: 1981-1989年, 3,850haの水田開発。約220億円の円借款。1989-1993年, 技プロを実施 (約10億円)。2011年の現状: 灌漑施設は機能していない。開発コスト: 3-4万ドル/ha: コスト高、持続不可能な管理、債務帳消し、自力発展性なし
2. ケニア, ムエヤ: 2011-2016年で3,000haの新規開田と5,860haの改修実施中。132億円の円借款。1989-1998年, 既開発灌漑水田5,860haに無償資金協力と技プロを実施 (約40億円)。1993-1996年, 円借款5.7億円で3,000haの新規開田の詳細設計調査を実施。開発コスト: 2.5万ドル/ha: リハビリティを含めて8856haとして (最初の開発費は除く) 依然としてコスト高、持続的な管理も自力発展も困難。

↑ 先行研究の成果を更に展開しODA依存を脱却し自力灌漑水田開発を社会実装

3. Sawah Ecotechnology方式の灌漑水田開発: 5年間で両国各々500ヶ所, 1ヶ所10ha, 各々5,000ha, 計1万haの新規灌漑水田。訓練費用を入れても、各々10-15億円, 計30億円規模で可能。訓練費用込みで、開発コストは1,000-3,000ドル/ha (これまでのODAの10分の1以下)。水田を農民の自力で開発、年間4万トンの粗生産が可能 (年間売上約2000万ドル)。同時に農民、普及員、技術者も訓練し、5000haの開田が次期の1.5-2.5万haの自力展開の準備となる。この過程でイノベーションが加わり、開発コストは下がり、開発スピードはさらに加速可能である。500ヶ所は拠点となり、その周囲に3-5ヶ所の開田が進めば1500-2500ヶ所と、順次加速度をつけて、内発的に開発が進行し、緑の革命が実現。

謝辞

本研究の主要成果は科研特別推進研究「水田エコテクノロジーによる西アフリカの緑の革命実現とアフ

リカ型里山集水域の創造、2007-2011年、課題番号19002001」による。

参考文献

- 1) FAOSTAT, <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>, 2012
- 2) 若月利之: アフリカで求められる「緑の革命」農業と経済 12月号: 77-86, 昭和堂, 2008
- 3) 三輪睿太郎: ケンブリッジ世界の食物史大百科事典 2, 石毛直道・小林彰夫・鈴木健夫・三輪睿太郎監訳, 朝倉書店 (Kiple KF and Ornelas KC, 2000, The Cambridge World History of Food, Cambridge University Press), 2004
- 4) 若月利之: 「水田は西アフリカを救えるか」 JICA EXPERT, No. 80: 8-16, 1989
- 5) Wakatsuki T, Otoo E, Andah WEI, Cobbina J, Buri MM, and Kubota D: Final Report JICA/CRI Joint Study Project on “Integrated Watershed Management of Inland Valleys in Ghana and West Africa, Ecotechnology Approach, JICA, Accra, Ghana/Shimane University, Matsue, Japan, p1-337, <http://www.kinki-ecotech.jp/>
- 6) 広瀬昌平・若月利之: 「西アフリカサバンナの生態環境の修復と農村の再生」, p1-484, 農林統計協会, 1997
- 7) Hirose S and Wakatsuki: Restoration of Inland Valley Ecosystems in West Africa, 農林統計協会, 2002
- 8) Buri MM, Wakatsuki T, Issaka RN, and Abe S.: Proceedings of the First International Workshop on “Sawah” Eco-Technology and Rice Farming in Sub-Saharan Africa, 22nd-24th, Nov. 2011, Kumasi, Ghana, NII Nai Creations, p1-222, 2012
- 9) WARDA: WARAD Strategic plan 1990-2000, Bouake, Cote d’Ivoire, p1-66, 1988
- 10) 若月利之: 西アフリカにおける自立的展開が可能な小規模谷地田開発、農業土木学会誌、70(11): 999-1004, 2002
- 11) 若月利之: 「第4章、西アフリカにおける水田エコテクノロジーによる緑の革命の実現を目指して—ナイジェリア、ヌペ、ガーナ、アシャンティにおける経験から」松園・縄田・石田編「アフリカの人間開発、実践と文化人類学」みんぱく実践人類学シリーズ所収、明石書店, pp173-219, 2008
- 12) 若月利之: 水田農業の普及によるアフリカの緑の革命実現と土壌物理学的問題点、土壌の物理性、112号: 13-25, 2009
- 13) 掛谷誠・伊谷樹一: 「アフリカ地域研究と農村開発」京都大学学術出版, p1-520, 2011
- 14) 藤井秀人, Gumma M, Thenkabail P, Namara R: 西アフリカ内陸小低地における水田稲作適正の評価、農業農村工学会論文集、268(78-4): 281-289, 2010
- 15) JIRCAS: アフリカ内陸低湿地における水田整備及び栽培技術マニュアル, 2012
- 16) Africa rice: Sawah, market access and rice technology for inland valley, SMART-IV, <http://smartiv.wordpress.com/about>, 2012
- 17) 若月利之: Sawah (灌漑水田) 稲作技術普及の展望、熱帯農業学会誌、印刷中、2013
- 18) Wakatsuki T, Buri MM, Bam R, Ademiluyi SY, and Azogu II: Sawah Ecotechnology: Farmers’ personal irrigation sawah systems to realize the green revolution and Africa’s rice potential, Buri MM et al eds, 文献番号 8), p96-111, 2012,
- 19) イースタリー W 2009 「傲慢な援助」小浜裕久・織井啓介・富田陽子訳、東洋経済新報社 (Easterly W 2006 The White Man’s Burden: Why the West’s Efforts to Aid the Rest Have Done So Much Ill and So Little Good, The Wylie Agency)