

Sawah（灌漑水田）稲作技術普及の展望

若月利之

近畿大学農学部 〒631-8505 奈良県奈良市中町 3327-204

キーワード エコテクノロジー、水田仮説1と2、適地適田開発、農民の自力水田開発、Sawah 技術

Road Map of the Dissemination of Irrigated Sawah Development and Rice Cultivation Technology by African Farmers' Self-support Efforts Toshiyuki WAKATSUKI *Faculty of Agriculture, Kinki University, 3327-204 Nakamachi, Nara 631-8505, Japan*

Key words Ecotechnology, Sawah development by farmers, Sawah hypothesis 1 and 2, Sawah technology, Site specific sawah development

はじめに

熱帯アジアやラテンアメリカで1970年代に実現した緑の革命は40年以上経過した現在、サブサハラアフリカで実現していない。サブサハラアフリカでは食糧危機と環境悪化が進行し、社会・政治経済不安の背景になっている。一方、30年前に持続可能な食糧増産を実現したアジアは、今や世界経済の成長センターとなった。しかし日本と同様、アジアでは経済成長に伴い、若者の農業離れと優良農地の減少が急速に進行し、近未来の食糧危機が危惧される。このような中で、欧米に加えて中国・韓国・インド・中東諸国は、近年、アフリカで大規模農地取得を加速させており Land grab（土地の収奪や新植民地主義）と批判される一方、これらの農業ビジネスはODA方式（例えばCARD, 2008等）とは別の方法で、農業開発を成功させる可能性も指摘されている（Cotula *et al.*, 2009）。ナイジェリア新政権は2011年にATA（Agricultural Transformation Agenda）政策を打ち出し、ODA等による開発よりは外国を含む民間資本による農業ビジネスとして農業発展をはかる方向に舵を切った（2012年10月30日に東京で開催された Nigeria Agricultural Business Forum 等）。

アフリカの緑の革命実現は、アフリカのみならず国際社会の重要な課題であると同時に、表1に示すように、広大な未開拓の土地（とりわけ低湿地）を有するアフリカは、将来の食糧基地になり得る可能性もあり、アジア後を展望すれば未来の地球社会の希望ともなる。全体で2000万ha、今後の技術革新によっては5000万ha規模の灌漑水田ポテンシャルが推定される。

表1に示すように、その半分以上は農民レベルでの水田開発が可能な内陸小低地や数百ドル程度の簡易なポンプで1haの灌漑が可能な地下水位数m程度の広範に分布する氾濫原である。今後10年程度は、そのような低湿地を第一のターゲットとして、本稿で述べる Sawah Ecotechnology（以下 Sawah 技術）に種々のイノベーションを加えながら、農民の自力による灌漑水田開発に適用し、同時に農民や普及員、技術者や研究者に水田技術を訓練し、幅広い人材養成が重要である。

これまでサブサハラアフリカでは大規模でも小規模でも灌漑水田開発プロジェクトはコスト高で、開発の自立的発展はもちろん、管理の持続性も低く、開発コストをカバーすることは困難であった（Fujiie *et al.*, 2011; Inocencio *et al.*, 2007; Otsuka and Kalirajan, 2006; 若月, 2002）。アジアとアフリカの灌漑プロジェクトのコストパフォーマンスの違いの大部分は、過去数百年から1000年という歴史的時間をかけて農民が低地水田開発を継続してきたアジア（図1）、従って農民に Sawah 技術が普及しているアジアと、低地が未開発でかつ未経験のアフリカの差であると考えられる。水田と水田技術が既に存在しているアジアでは、灌漑プロジェクトが成功しやすいのは当然であった。従い、人材養成と Sawah 技術がある程度の規模でサブサハラアフリカに普及した段階で、ようやく大規模灌漑水田開発もアジアと同様の費用対効果水準に達すると期待できる。Sawah 技術の普及が順調に進めば、2020年以降はアジアと同様な規模のメリットが生かせる灌漑水田開発も、加速度をつけて可能になると思われる。

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、アフリカに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50年研究活動を行ってきた。

現住所：島根大学名誉教授
〒631-0821 奈良県奈良市西大寺東町 1-1-23-128
Emeritus Professor, Shimane University, 1-1-23-128
Saidaji Higashimachi, Nara 631-0821, Japan

表1 サブサハラアフリカの各種低地の分布面積

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 Sawamps)	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%)

注1: 全低地面積 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).

注2: 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 のポテンシャルを推定。技術革新によって 5000 万 ha 規模も可能かもしれない。

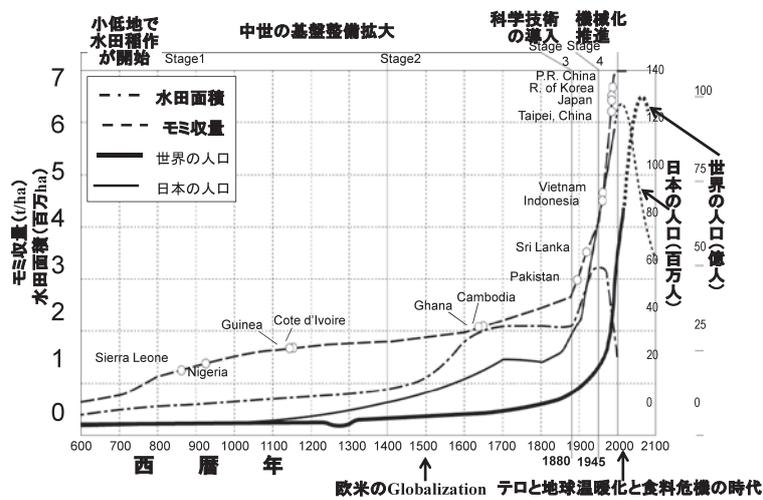


図1 大化の改新以来の日本の水田面積とモミ収量 (2000年時点の世界各国のモミ収量と比較) 及び人口の変遷 (高瀬, 2003; Wakatsuki, 2008; 鬼頭, 2007; 本間, 1998).

しかし 1960-70 年代に、CG センターの CYMMET や IRRI が育成した高収量品種が急速に普及したアジアやラテンアメリカと異なり、国際熱帯農業研究所 (IITA)、アフリカ稲センター (AfricaRice)、国際稲研究所 (IRRI) 等の研究所で生まれた技術は、農民圃場にスケールアップできず、依然として緑の革命実現への道筋は明確ではない。

水田仮説 1

アフリカでは過去 40 年、農業研究の成果、とりわけ緑の革命の 3 要素技術 (改良品種、肥料、灌漑排水) が農民圃場にスケールアップできず、緑の革命を実現できなかった理由は、写真 1 (Google, 2007) と写真 2 及び図 2 と 3 により理解できる。アフリカに緑の革命を実現する中核技術は、現時点では、アジアで成果を上げた品種改良ではなくて、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 (水田仮説 1, Wakatsuki *et al.*, 1998; Wakatsuki and Masunaga,

2005; Abe and Wakatsuki, 2011)。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」ことも意味する。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) を適用するには、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。図 2 に示すようにヤブ状の栽培環境では科学技術は適切に作動しない。規格化された籾生産もできないので、市場価値の高い籾生産もできないことも意味する。最近アフリカで強調されている市場を重視する Value chain approach は理解できるが、それを即、ポストハーベストに短絡化したアプローチも Sawah 技術や水田仮説 1 を無視しては、持続可能な成果となりにくいと思われる。

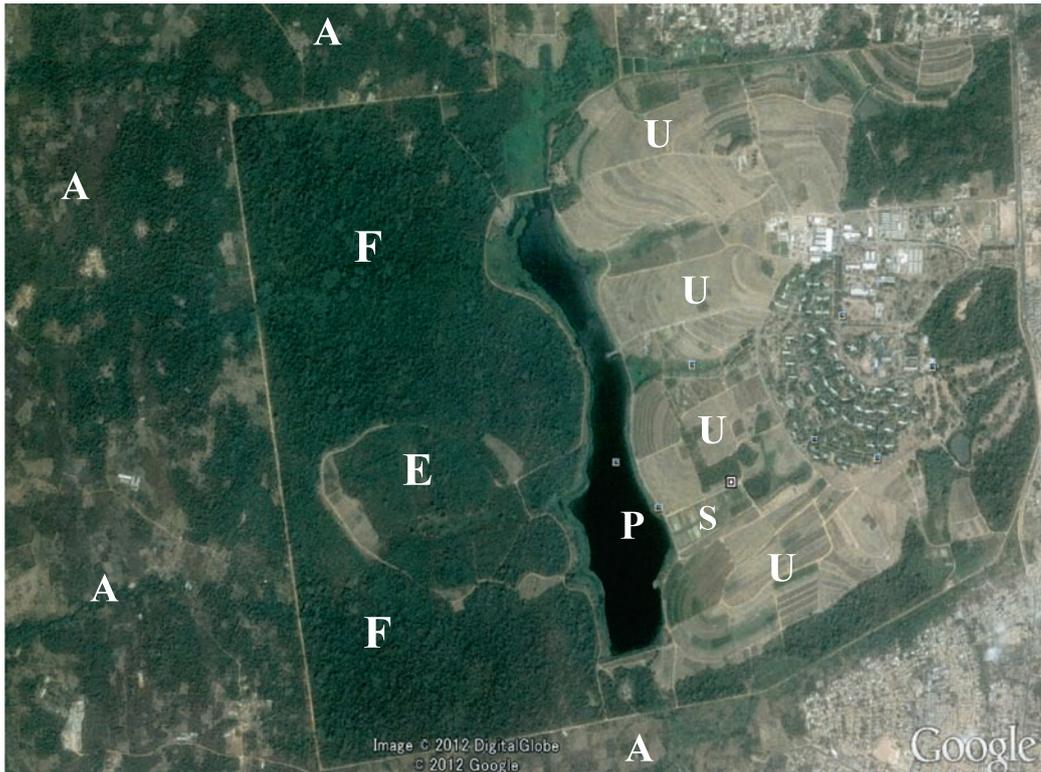


写真1 フェンスで囲われた国際熱帯農業研究所 (IITA) と周辺農家圃場 (A) のグーグル衛星写真。
E: 土壌侵食実験実施箇所, F: IITA 構内の森林 (休閑 40 年で回復), S: 灌漑水田, U: 畑圃場。

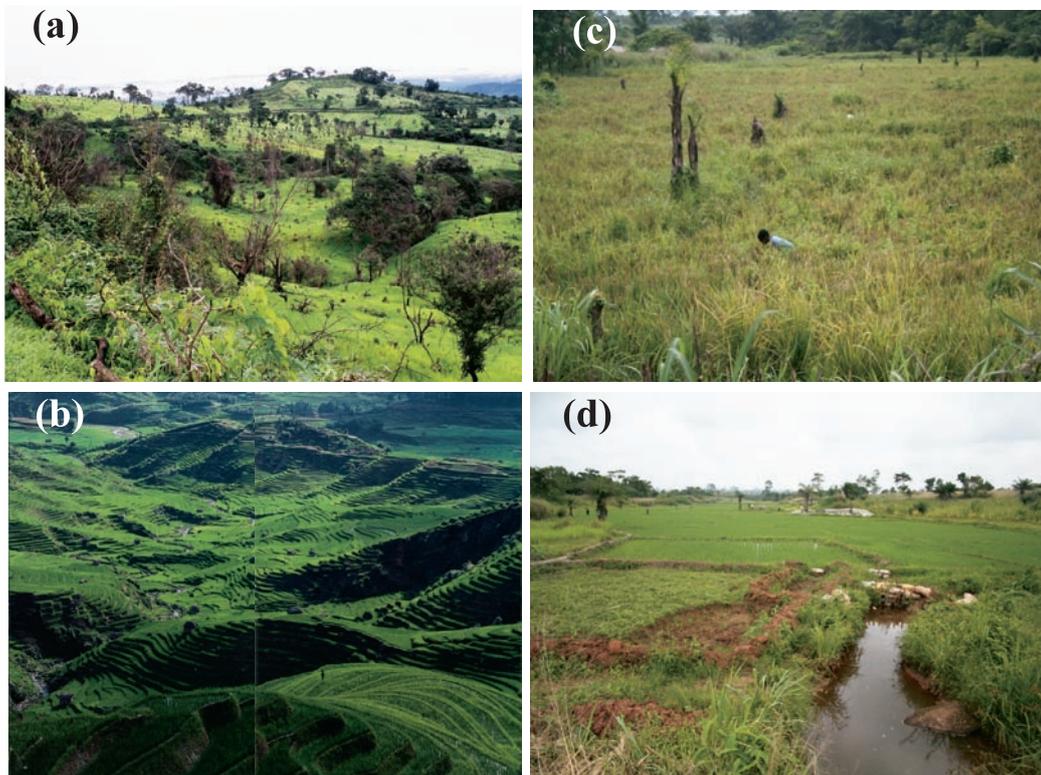


写真2 世界の稲作条件の違い。

- (a) ギニア高原の森林破壊地帯での焼畑による陸稲栽培
- (b) 中国雲南の棚田 (大塚, 2004), 数百年以上の歴史的時間をかけて農民が自力整備
- (c) ガーナのヤブ状態の内陸小低地稲作地 (Sokwae 村付近, 2008 年)
- (d) (c) の道路を挟んだ反対側で農民が Sawah Ecotechnology で開発した水田 (2008 年)

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。
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。
 1. 各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。
 2. 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。
 3. 規格化された市場競争力のある初生産。

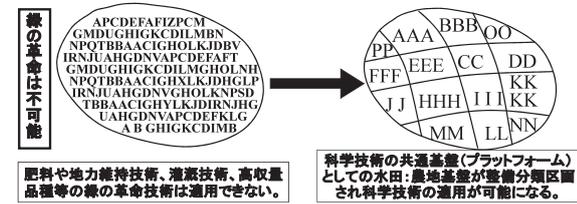


図2 水田仮説 I: 水田的な地形と水及び土壌という生態環境で区画された圃場が必要: 緑の革命の3要素技術を適用するための前提条件は、生態環境が区画され分類され、品種改良のように、生態環境も改良できる水田的な圃場が存在すること。アフリカ独特の生態環境と社会経済条件及び過去500年の歴史的経過(奴隷・植民地)に由来すると考えられる。

エコテクノロジー, 水田仮説2, アフリカ型里山創造

稲作振興は(1)育種<Breeding>研究による「品種改良」と(2)水田<sawah>研究による「生態環境の改良」の両者が車の両輪である。過去40年の品種改良研究は緑の革命を実現できなかった。一方、水田による「生態環境の改良」研究は種々の誤解(水田開発

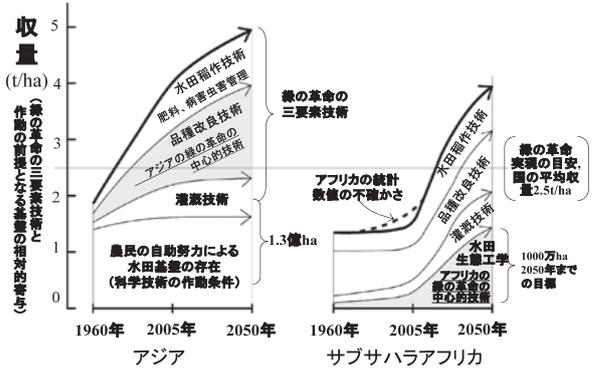


図3 アジアにおける1960-2005年の収量向上に貢献した技術の相対的寄与の推定とサブサハラアフリカと比較した今後50年の変化の予測

は研究対象ではなくて業務としての開発対象にすぎない、農民が主体になる水田開発と政府が主体になる灌漑開発の混同、水田Sawahと粳Paddyの混同、等)により、我々のsawah ecotechnology研究以外ほとんどやられていない。図4に示すように、低地に適地適田開発し適切に管理すれば、集水域のマクロの地質学的施肥作用とミクロの養分供給性が強化され、畑作地

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。

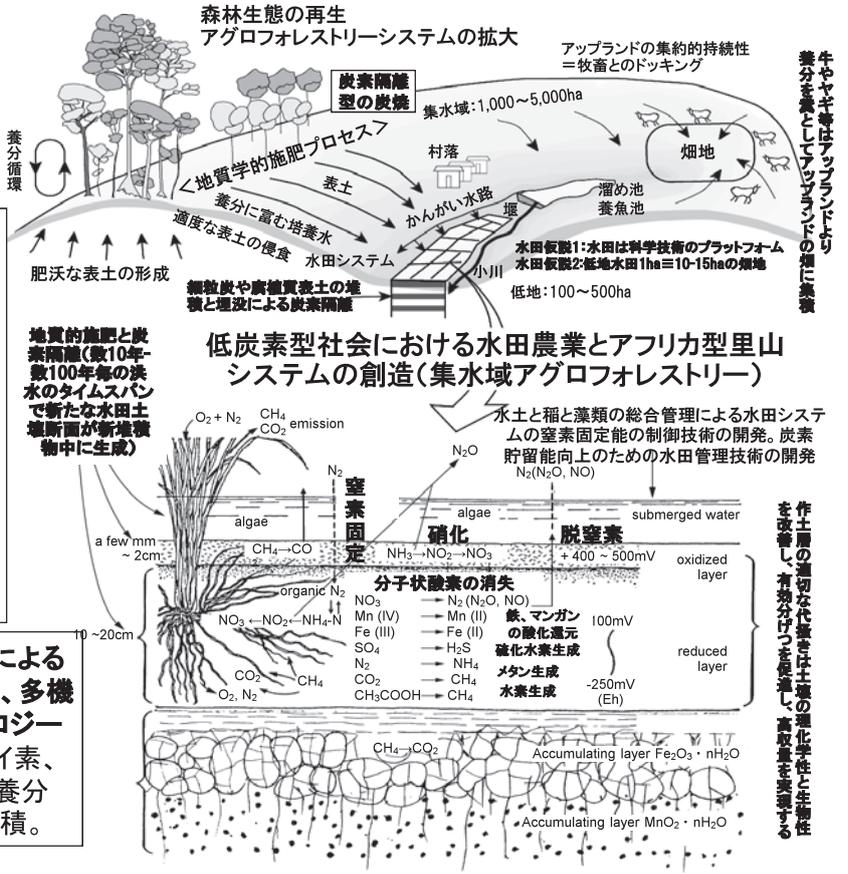


図4 水田仮説2: 集約的持続的な生産性の高さを背景にアフリカ型里山集水域を創造して地球温暖化防止

の10倍以上の持続可能な生産性をもたらす。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地球温暖化防止や生物多様性保全にも貢献でき、未来の地球社会を救うポテンシャルがある。

農民による Sawah 技術普及の展望

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」により緑の革命の実現に有効な新規技術 Sawah Ecotechnology (Sawah 技術) が生まれ、ガーナとナイジェリアの全気候帯 (図5) の150サイト、300haの規模でその有効性が実証されつつある (日本学術振興会 2012年)。Sawah 技術は表2に

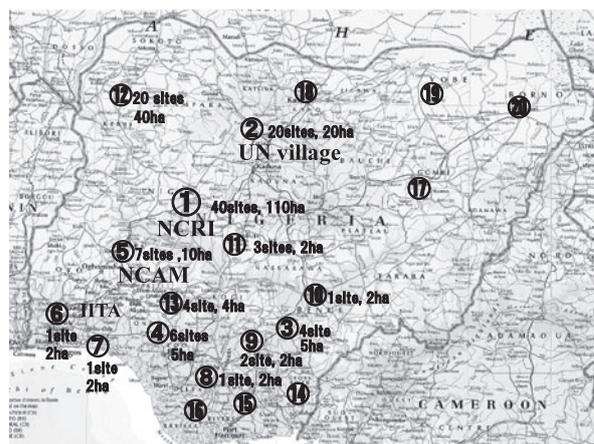


図5 長期の基礎的研究と科研特別推進研究(2007-11年度)のアクションリサーチで試行錯誤により造成されたナイジェリアの100サイト、200ha規模の水田分布。面積表示のないサイトは2013年以降の計画サイト。

表2 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

- | | |
|--|---|
| <p>(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</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 稲作農民の存在：全体で10ha以上稲を栽培。稲作技術向上に強い意欲。 (b) 水文と水資源：流量>20リットル/秒，流下継続期間>5ヶ月/年，氾濫時水量<10トン/秒。 (c) 地形と土壌：勾配1%前後，極端に砂質でない。 (d) 安定した土地利用権：自己所有がベスト，5-10年以上の借地契約でも可。 (e) 適田システムのデザイン：地形と土壌の観察に基づく個々の水田と水田集団のレイアウト，水田の畔の質と水田の均平化度の指定，洪水と干ばつ対策の考慮。 (f) 取水，分水，貯水，排水システム：簡便な土のう堰，小中河川の堰，泉や浸出水の集水や分水路，ため池や養魚池，小中大のポンプ利用，大中小の排水路 (g) 荷物運搬や耕運機用，あるいは洪水対策用の道路兼堤防等 <p>注1)：農民と研究者が連携して，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，技術者は現場を知らない。</p> <p>注2)：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</p> | <p>(2) 開田速度>3ha/年/耕運機1台，及び，開発コスト<1000-3000ドル/haの開田技能</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) ヤブの伐開，伐根：自力+補助的な雇用労賃 (b) 畔作り，水路作り，耕運機利用のための地表面の凸凹処理：自力+補助的な雇用労賃。 (c) 開墾，開田，稲作用具や資材の購入費用：\$1000/10ha。 (d) 耕運機購入と利用及び維持管理費用：1台で3-5年以内に10ha以上開田が前提条件。購入費用\$3000-\$5000/1台，燃料と修理代\$2000-\$3000/10ha (e) On-the-Job 訓練費用：研究者・技術者謝金等\$1000/ha，普及員\$500/ha，篤農\$250/ha <p>注1)：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</p> |
| <p>(3) 水田稲作技術：基準目標は1台の耕運機で>20t/年の籾生産と>4t/haの収量の達成</p> <ul style="list-style-type: none"> (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：湛水深管理，間断灌漑，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掻き技術。 (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，病虫害，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 <p>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。</p> <p>過去の成功例：①スーダンサバンナ帯の大氾濫原のオアシス型ポンプ灌漑，②泉灌漑は全気候帯で成功，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漑。</p> <p>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。</p> | <p>(4) 稲作農民をエンパワーメントする社会経済技術</p> <ul style="list-style-type: none"> (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開田を指導できる篤農の養成 (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漑水田の，ローン等による農民の土地購入システムの整備 (f) 25ha以上の灌漑水田は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つく。 |

注：4つの要素技術にイノベーションを蓄積して，ODA依存を脱却する内発的な技術として成熟可能。

示すように農民の自力による適地適田灌漑水田開発と稲作技術で、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的で費用対効果の高い灌漑水田開発技能、③収量 4t/ha 以上の稲作技術、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 (Wakatsuki *et al.*, 2009, 2010, 2012a, 2012b). 表 2 の Sawah 技術は水田仮説 1 と 2 を実証する戦略的な武器となることが明らかになりつつある (Buri *et al.*, 2012; Nigeria Fadama III, 2012; Ghana Government, 2011; Africa Rice SMART, 2012). 本技術は多様な地域に適応進化し、農民の自力で実施可能な内発的発展性を有し、ガーナ、ナイジェリア全体、西アフリカ全体、アフリカ全体にス

ケールアップする道筋が容易に描ける。開発と農民の訓練が同時並行するので、加速度的開発が可能となる。Sawah 技術は 1986 年以來、試行錯誤を繰り返しながら長期のアクションリサーチとして実施してきた (表 3) が、2010-11 年になって 4t/ha 以上の高収量を 5-10ha という実用的な面積と開発速度で実施可能なレベルまで進化し、農民の現場の評価は高まりつつある。国際農業研究機関 CG センターの AfricaRice, IWMI, IITA のみならず、開発業務を担当する世銀、FAO、ガーナとナイジェリア政府内の理解が進みつつある。AfricaRice は本技術を伝語圏に展開させるため SMART-IV (Sawah, Market & Rice Technology) を 2010 年に開始した。ガーナ環境技術省大臣は 2011 年

表 3 Sawah Ecotechnology (農民の自力による灌漑水田開発と水田稲作) のイノベーションと普及によるアフリカの緑の革命実現のロードマップ

(1) 1986-2002 : (10 sites, 6ha, 17 年の試行錯誤と基礎研究) : IITA 派遣 JICA 専門家, 国際学術科研 (Hirose Project), JICA/CRI 研究協力 Sawah Project 西と中央アフリカ全体の稲作生態の調査. 農民の自力開田のため要素技術の基礎的検討と研究者の育成 (ガーナとナイジェリアで 20 人の博士・ポストドク訓練).
(2) 2003-2007 : (20 sites, 30ha ベンチマークサイトで適地適田開発) : 科研基盤 S アフリカの多様な小低地環境に適する多様な水田オプション等, 試行錯誤で参加農民の自力開田 Sawah 方式の基本型の有効性を実証. 集水域生態工学的研究で水田開発の限界も確認 (2.5 億 ha の低地の 10%, 2000 万 ha の水田開発ポテンシャルを推定).
(3) 2007-2011: (>100 sites, >300ha の適地適田開発の大規模アクションリサーチ) : 科研特別推進 : 4 要素技術 (表 2) からなる Sawah Ecotechnology のイノベーション ガーナとナイジェリアで内発的な発展が可能な戦略的技術として十分な規模で実証. AfricaRice, JIRCAS, Millennium Village との連携と訓練を開始. 水田開発と土地制度.
(4) 2013-2018 : (ガーナ, ナイジェリア >300sites, >3000ha, 内発的な発展を誘導し十分な推進力で緑の革命実現にインパクトある戦略的な技術であることを実証) 当画の目標 : 社会実装と人材育成の平行実施. ガーナ全国, ナイジェリアの 25 州. で実施. ナイジェリアは FadamaIII/ADP/NCAM, ガーナは SRI/CRI/MOFA の体制で実施. 従来型 ODA 方式による灌漑水田開発と水田稲作技術協力方式の改革の実現.
(5) 2018-2022 : (>100,000 ha Sawah) : 水田開発と人材育成が同時進行する サブサハラアフリカ全体で農民の自力適地適田開発が進行, 大規模灌漑も実施可能.
(6) 2022-2036 : (>100 万 ha of Sawah Ecotechnology 普及) : 自力展開と緑の革命実現

表 4 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・アナンブラ : 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. ケニヤ, ムエヤ : 2011-2016 年, 132 億円の円借款で 3,000ha の新規開田と 5,860ha の改修実施中. 1989-1998 年, 既開発灌漑水田 5,860ha に無償資金協力で技プロを実施 (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 : リハビリ分を含めて 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.
3. Sawah Ecotechnology 方式の灌漑水田開発 : 5 年間で両国各々 500 ケ所, 1 ケ所 10ha, 各 5,000ha, 計 1 万 ha の新規灌漑水田. 訓練費用を入れても, 各 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 万トンの米生産が可能 (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. 各 500 ケ所は拠点となり, その周囲に 3-5 ケ所の開田が進めば各 1500-2500 ケ所と, 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.

注 : Sawah ecotechnology の実証規模は 2012 年現在, 300ha に過ぎないが, 実証規模を 5000ha まで展開できれば, ODA 依存を脱却する新規の自力灌漑水田開発方式として社会実装できる.

11月の第1回国際Sawah技術workshopの基調講演で期待を表明した (Buri *et al.*, 2012)。

逆説的であるが、Sawah技術(表2)を応用すれば、「アフリカの水田開発はアジアに比べ大変容易」である。ブルドーザー等、重機ではなく耕運機で簡単に10ha程度の開田ができる。アジアで1000年を要した水田開発を半世紀以内に短縮できる可能性がある。Sawah技術は表2に示すような4つの要素技術の総合パッケージであるが、これまでの300ha規模のアクションリサーチを10倍、3000ha規模にスケールアップすることにより、次節、社会実装の構想の項で述べた7項目のようなイノベーションをさらに積み重ね、これまでの基礎研究成果の社会実装の死の谷を乗り越えたい。アクションリサーチと開発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(表4)。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ものと思われる。表4に示すように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、現行方式の破壊的イノベーションとなる(イースタリー, 2009)。また、ODAの変革とともに、アジアにおける緑の革命の成功体験と近年のバイオサイエンスの発展をバックにするのであ

るが、ややもすると品種研究に偏重したアフリカの農業研究も正常化でき、念願の緑の革命への道を切り開くことができる。

Sawah 技術の社会実装の構想

当面先行研究のガーナとナイジェリアの全気候帯の150サイト、300haの実証規模を10倍、3000ha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、⑦水田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、100万haの普及への道を明確にすることが次のステップとなる。近未来に予想される大規模な食糧危機をSawah技術で回避するため、図6にその基本構想を示したが、以下の4課題を実現したい。

①アフリカの水田開発ポテンシャルの半分、1000万haの水田開発と4000万トンの籾増産(2億人の食糧)を今後50年以内に実現するため、Sawah技術による緑の革命実現の研究開発のロードマップの最終段階(表3の(4)段階)、政治家を確信させる規模とレベ

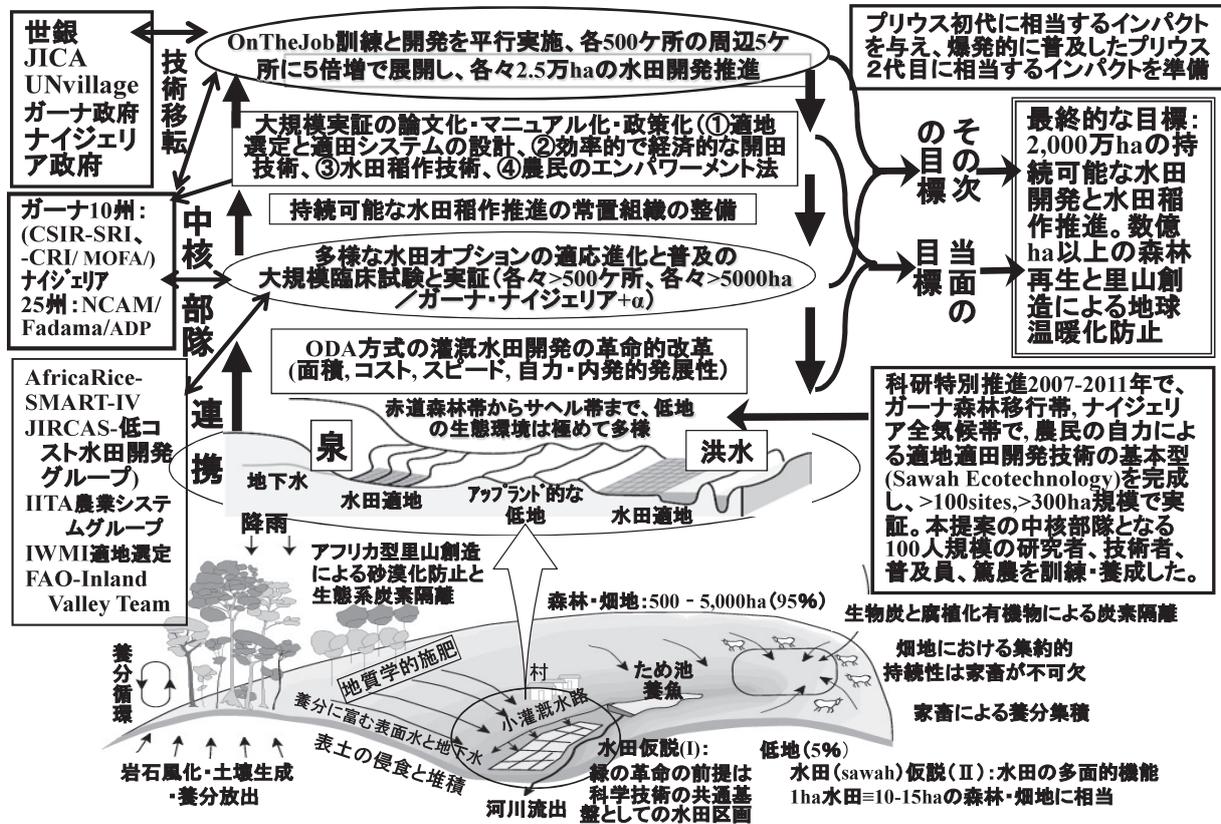


図6 全体総括：アフリカ適応型の水田生態工学技術の普及と進化による内発的な緑の革命実現：基礎研究成果をガーナとナイジェリア国全体にスケールアップするための普及と組織体制の整備

ルと質で実証的に提示する。

②我々の側の当面の具体的な方法として、ガーナで1000ha、ナイジェリアで2000ha（これまでの実績の10倍の規模）で上に述べた7項目のイノベーションを誘発しながらアクションリサーチと開発実証と普及・訓練を一体化して実践し、社会実装につなげたい。我々と強固な連携関係にあるナイジェリア国立農業機械化センター（NCAM）チームは、この構想をさらに10倍スケールアップした極めて野心的な構想（今後5年程度で、耕運機5000台を投入して、6万haの灌漑水田sawahを農民の自力により開発し、同時に数万人規模の農民を訓練する）を立案中で、ナイジェリア新政権の英断、JICA、あるいは世銀/IFAD等の支援、ODAを卒業するためのODA支援を期待している。

③他のアフリカ諸国での社会実装を促進するため、アフリカ稲作センター（AfricaRice）と国際農林水産業研究センター（JIRCAS）と連携して、Sawah技術を世界銀行や国際協力機構等の業務に適用し、これまでのODA方式を革命的に変革し、サブサハラアフリカ全体にスケールアップする道筋をつける。

④中長期的目標としてのアフリカ型里山創造モデルの実証：図4に示したように、低地水田の集約的持続性の高さを背景に、アップランドの森林技術をSawah技術と融合させ、スーダン及びギニアサバンナ帯、森林移行帯、及び赤道森林帯の代表的ベンチマーク集水域を選び、アフリカ型里山モデルを創造し、地球温暖化防止と生物多様性保全に貢献する。

引用文献

Abe, S. S. and T. Wakatsuki 2011. *Sawah* ecotechnology – a triggers for a rice green revolution in Sub-Saharan Africa: basic concept and policy implications. *Outlook Agric.* **40**: 221-227.

Africa Rice SAMRT 2012. <http://smartiv.wordpress.com/about/> (2013年1月17日)

Buri, M. M., T. Wakatsuki, R. N. Issaka and S. Abe 2012. Proceedings of the first international workshop on “Sawah ecotechnology and rice farming in Sub-Saharan Africa”, 22nd-24th, November, 2011, Kumasi, Ghana. NII NAI Creations, Kumasi. p.222.

CARD 2008. Coalition for African Rice Development. JICA (Tokyo). http://www.jica.go.jp/english/operations/thematicissues/agricultural/pdf/card_02_en.pdf (browsed in December 10, 2009).

Cotula, L., S. Vermeulen, R. Leonard and J. Keele 2009. Land Grab or Development Opportunity? Agricultural Investment and

International Land Deals in Africa, IIED/FAO/IFAD (London/Rome) p.120.

イースタリー・ウイリアム 2009. 傲慢な援助. 東洋経済新報社 (東京) p.449.

Fujiie, H., A. Maruyama, M. Fujiie, M. Takagaki, D. J. Merry and M. Kikuchi 2011. Why invest in minor project in sub-Saharan Africa? An exploration of the scale economy and diseconomy of irrigation project. *Irrig. Drainage Syst.* **25**: 39-60. (DOI 10.1007/s10795-011-9111-4)

Ghana Government 2011. <http://www.ghana.gov.gh/index.php/news/general-news/9240-african-leaders-asked-to-support-production-of-local-rice-> (browsed in 17 January, 2013).

Inocencio, A., M. Kikuchi, M. Tonosaki, A. Maruyama, D. Merry, H. Sally and I. De Jong 2007. Cost and Performance of Irrigation Projects: A Comparison of Sub-Saharan Africa and Other Developing Regions, IWMI Research Report 109. International Water Management Institute (Colombo) p.81.

Nigeria Fadama III 2012. <http://www.fadama.net/HTML/components1.php> (browsed in 17 January, 2013).

日本学術振興会 2012. 平成22年度科研進捗状況評価及び平成24年同科研検証評価. http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/25_tokusui/shinchoku_kekka22.html (browsed in 17 January, 2013).

Otsuka, K. and K. P. Kaliraja 2006. Rice green revolution in Asia and its transferability to Africa: An introduction. *Developing Economies* **44**(2): 107-122

Wakatsuki, T. 2002. Sustainable agricultura development of West Africa during global environmental crises. Pages 1-82, *In: Restoration of Inland Valley Ecosystems in West Africa.* (Hirose, S. and T. Wakatsuki eds.) Nourin Tokei Kyoukai (Tokyo).

Wakatsuki, T., Y. Shinmura, E. Otoo and Olaniyan. 1998. Sawah system for integrated watershed management of small inland valleys in West Africa. Pages 45-60, *In: FAO Water Report No.17, Institutional and Technical Options in the Development and Management of Small Scale Irrigation.* FAO (Rome).

Wakatsuki, T. and T. Masuanga 2005. Ecological Engineering for Sustainable Food Production and the Restoration of Degraded Waterheds in Tropics of low pH Soils: Focus on West Africa. *Soil Sci. Plant Nutr.* **51**: 629-636

Wakatsuki, T., M. M. Buri, R. Bam, S. Y. Ademiluyi and I. I. Azogu 2012b. Sawah Ecotechnology: Farmers' personal irrigation sawah systems to realize the green revolution and Africa's rice potential. Pages 96-111, *In: Proceedings of the first international workshop on Sawah ecotechnology and rice farming in Sub Saharan Africam 22nd-24th, 2011, Kumasi, Ghana.* (Buri, M. M., T. Wakatsuki, R.N. Issaka and S. Abe eds.) NII NAI Creations, Kumasi .

Windmeijer, P. M. and W. Andriess eds. 1993. Inland Valleys in West Africa: An Agro-Ecological Characterization of Rice-Growing Environments, ILRI publication 52. International Institute for Land Reclamation and Improvemnt (Wageningen) p.160.