

更新(2018年6月18日)

アフリカ水田農法(Sawah Technology) (IV) : 持続可能な稲作革命の実現とアジア・アフリカ連携による平和構築

若月利之(島根大学名誉教授)

目次

- 1、アジアの水田は農民が数百－1000年かけて整備しそれが科学技術適用の基盤となった。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。
- 2、アフリカの緑の革命実現を超えて:水田仮説1の理論的考察と近未来に実現可能な超高収量レベル
- 3、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
- 4、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
- 5、広大な湿地フロンティアの残るアフリカは近未来2050年ころの地球社会の希望の地
- 6、アジアと比較したアフリカの各種湿地の特徴とアフリカ水田農法の可能性
- 7、アジア、アフリカ連携による世界平和の構築
- 8、参考文献

1、アジアの水田は農民が数百－1000年かけて整備しそれが科学技術適用の基盤となった。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、すでに説明したように、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1と(I)の図27、28)。しかしすでに見てきたように、SSAの中で例外的にアジア型の灌漑水田稲作の伝統のあるマダガスカル、乾燥地で灌漑水田の割合の多いマリやセネガルでは図2に示したアジア諸国の緑の革命が明確になった1975年ころの2.5t/haという収量水準に達した。ガーナ、象牙海岸、タンザニア等も急ピッチで生産性を伸ばしている。

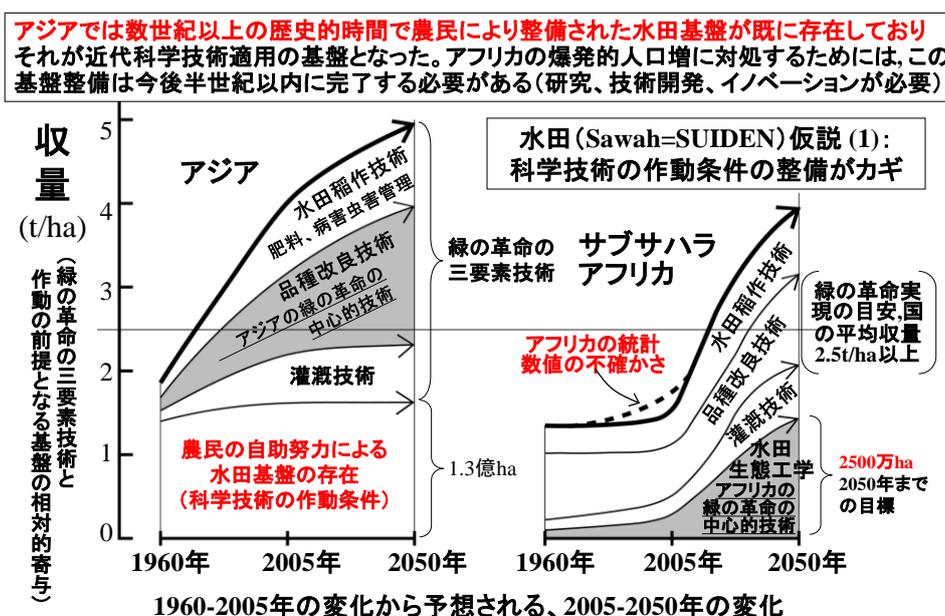


図1. アジアにおける1960-2005年の収量向上に貢献した技術の相対的寄与の推定と今後50年の予測をサブサハラのアフリカと比較

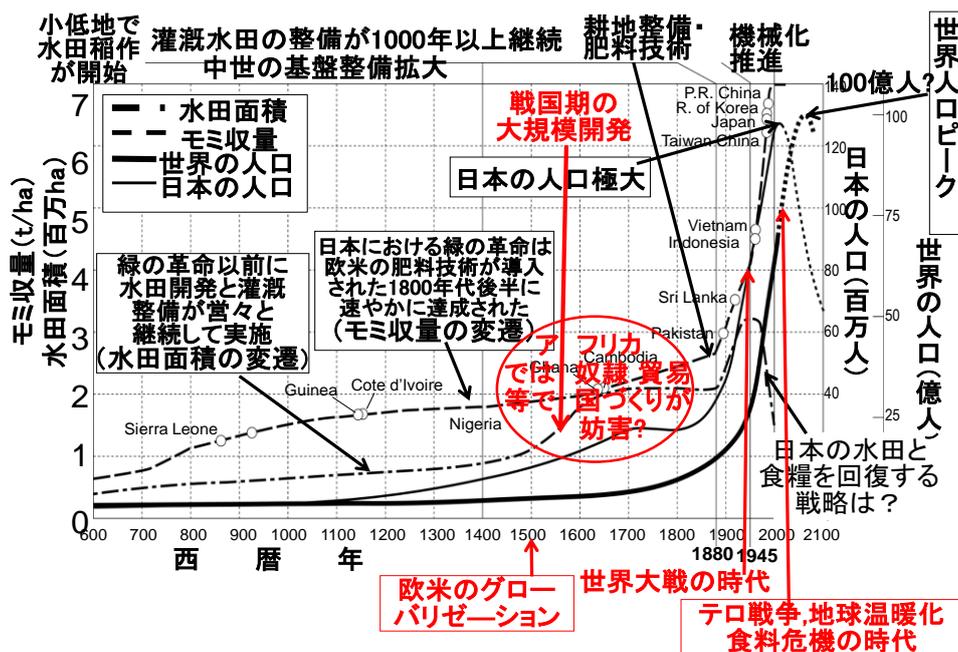


図2. 大化の改新以来の日本の水田面積と収量及び日本と世界の人口の変遷 (高瀬2003, 若月2008, 鬼頭2007, 本間1998)

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 1、2)。現在の世界的なテロ戦争の背景と同根と思われる。日本は第 2 次世界大戦後の植民地解放の流れを確定した 1955 年のバンドンのアジア・アフリカ AA 会議で、唯一招聘された先進国であった。図 1、2 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、問題も多いがパワフルな最近の中国によるビジネスと国益を全面に出すアフリカ開発支援に比べても、存在感を失いつつある(図 3)。最近 10 年のアフリカの変革の最大の外部貢献者はすでに 100 万人規模でアフリカに移住している中国人である(ハワード W フレンチ 2016)。日本が中国、インド、インドネシア、タイ、ベトナム等のアジア諸国と連携してバンドン AA 会議の精神を実現するような ODA を実施すれば過去 500 年の欧米史観から脱却できて、新しい地球社会の創造に貢献できる(図 3)。

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: 2050年の世界3位の人口大国,そしてアフリカ

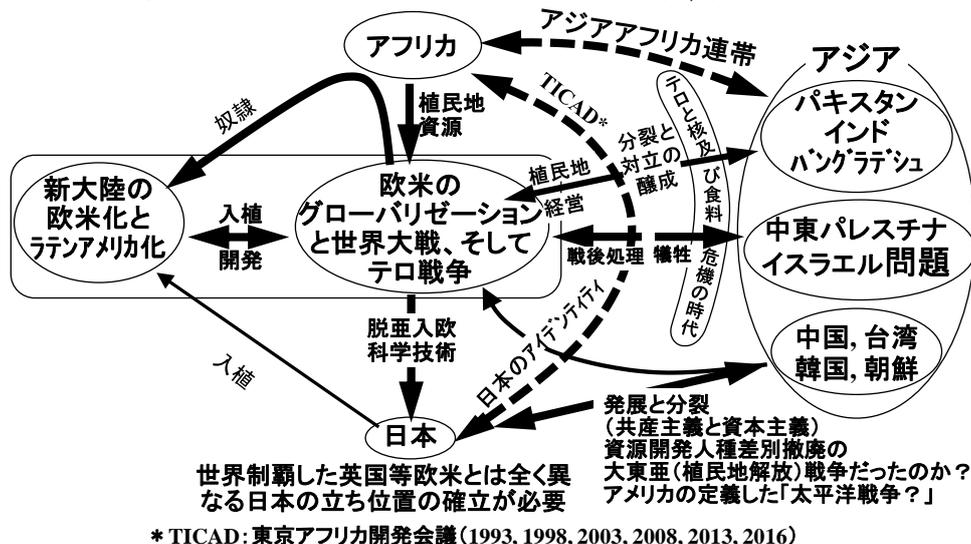


図3. 1500年以降の、欧米グローバリゼーションの犠牲になったアフリカ。欧米の科学技術を吸収したが、21世紀に入って立ちすくむ日本。強大となった中国。過去500年を清算するための欧米型ODAでなく、今後500年の地球社会創造に貢献する(例えば1955年のバンドン、アジア・アフリカ会議の精神を実現する)ような日本型ODAが必要。

2、アフリカの緑の革命実現を超えて:水田仮説 1 の理論的考察と近未来に実現可能な超高収量レベル

Kalaitzandonakes 等 (1994) は農業の全要素生産性の向上要因を 3 つに整理した (図 4)。即ち、①非効率の排除、②適正規模の農地や経営規模に拡大、③技術の進歩である。この 3 つの要因のうち、アフリカの緑の革命実現については、アジアの緑の革命が IRRI (国際稲研究所) や CYMMET (国際小麦トウモロコシセンター) 等の国際農業研究機関の開発した高収量品種のあまりにもドラマチックな成功の故に、バイオテクノロジーによる品種改良等の技術の進歩にあまりにも偏重しすぎたと思われる。図の F1 と F2 で示されている 2 つの曲線は生産関数である。生産関数は農民が一定の可耕地 (R) に労働や資材 (L) を投入して米を生産する場合の生産性 P、あるいは収量 Y、あるいは産出量 O と種々の投入 Input との関係を一般化して示したものである。F1 は現行の農業システムによるものを、F2 は技術進歩により高位のレベルの生産関数に達した場合を示す (関根・梅本 2015、荒畑 2014、渡辺 2010)。

第一の非効率の排除は、生産関数のフロンティアまで達していないことによる非効率を排除していくことである (荒畑 2014)。イギリスの農業革命の基盤を作ったエンクロージャーは共有の開放耕地制を排除し、ノーフォーク式 4 圃制輪作 (小麦—カブ—大麦—クローバー) 農法を発展普及させ、放牧地としての利用価値しかなかった農地を優良な穀物農地に転換させた。翻って SSA の現状をみると、重層的な共有の土地利用制度のもとでは、氾濫原の灌漑水路や水田の畔が、乾季に遊牧民の牛による破壊、漁民の捕獲の仕掛け作成による破壊等は頻発しており、灌漑水田開発を阻害している。本論文で述べた水田仮説 1 とはまさに、この非効率の排除に当たる。水管理のできない区画のない均平化されていない現状のヤブ状の SSA の稲作地や (I) の図 6 で示したナイジェリアのカノ州の大規模灌漑稲作地の圃場は、水田 Sawah 概念がなく日本の弥生前期の小区画水田と同質であるため、緑の革命の 3 要素技術 (高収量品種、肥料農薬、灌漑排水) が有効に利用できないことが、SSA の緑の革命の基本的な阻害要因であることは明らかである。

この第一の非効率の排除としては、現状の SSA の場合は、上述のエンクロージャーや水田仮説 1 のような農地の質に関する対策が主要課題である。しかし、緑の革命のような農業革命を経験済みの世界の大部分の他の地域では、貿易保護政策を停止して自由貿易を促すといった制度的な非効率の排除が主要課題となる。高度成長期以降の日本や現在のアジア諸国のように農業振興よりは工業振興 (産業革命) が優先されている国では高齢化や担い手不足により、生産関数フロンティア (F1 曲線の B 点) まで到達できないという非効率が一般的である。SSA の独立 1960 年以降の歴史を振り返ると、農業革命を「すっ飛ばして」産業革命を目指すという文字通り「地に足のついていない」、誤った政策が取られた。この悪影響は若者や社会全般に見られる、農業軽視として、現在でも社会全般に残っている。

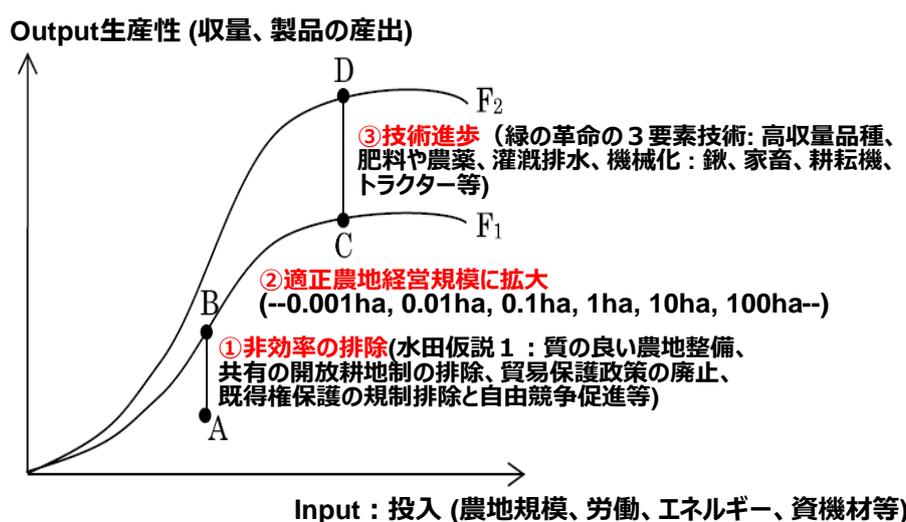


図4. 生産関数 (F1, F2等) を持った生産性の向上要因の分解。全生産性は 3 つの要因に分解できる。即ち、**全生産性=①非効率の排除 + ②適切な規模拡大 + ③技術進歩**

Productivity Growth and Competitiveness, In Maurey E Bredahl, Philip C Abbott, and Michael C Reed, edited "Competitiveness in International Food Markets", p169-187, Westview Press, 1994
Application of this theory was done by T. Wakatsuki to fit for rice production
関根久子・梅本雅, 2015, 小麦収量水準格差の形成要因—日本とドイツの比較分析, 中央農研研究報告, 24号: 31-54, Bull.NARO.Agric.Res.Cent

第二は適正規模の農地に拡大すれば適正規模の農業経営が可能になりコストダウンが可能となる。生産関数 F1 のフロントラインの B 点に到達すれば適正規模の農場による稲作により、生産性を B 点から C 点まで高めることができる。日本の弥生期や現在の SSA でなお一般的な 1 筆 10–25m² の小区画水田では 1ha の農地の数が 1000–400 筆になり、水管理も土壌管理もできないので、生産関数の原点に限りなく近い位置での農業となるので、生産性、従って収量は低いままに留まる。規模を拡大しても水田の質が低い(灌漑と排水が容易ではない、畔の漏水、均平化が不十分、砂質で地下浸透による漏水等)状態では、コストダウンは実現しない。又、大きすぎれば湛水や排水に時間がかかり過ぎ、きめ細かな水田管理はできにくくなる。現在の日本では規模拡大と 1 筆の水田面積の拡大が進行中であるが、欧米の畑作農業のように 1 筆 10–数 10ha で 1 農家数 100–1000ha が適正規模ではなくて、恐らく 1 筆 0.5–数 ha で 1 農家 10–数 10ha 規模と思われる。今後 10 年程度で明らかになるとと思われる。日本ではこの適正規模の農地整備・改良と水田農家の経営規模拡大が 1970 年以降の減反政策により 50 年間停滞した。これにより、生産性も停滞した。

水田は水田仮説 2 として後述するように集水域の低地に集まる水と養分と肥沃な表土を有効利用し、適切な湛水と排水の水管理により雑草も制御でき、養分供給量が畑作地に比べ格段大きいので、化学肥料が一般的になる 1850 年以前の近代農業技術が普及する前は、陸稲や麦作にくらべ持続可能な収量が高かった。図 5 に日本の籾収量と英仏両国の小麦の歴史的収量の変遷を 1700–2014 年の間で比較して示した。英国の収量データは(I)の図 26 データの単年度のバラつきを平準化して示したものである。図 5 は(I)の表 1-9 までに示したデータに加えアジアとアフリカの主要稲作国の 1950 年以降の各国の平均収量の変遷も示した。

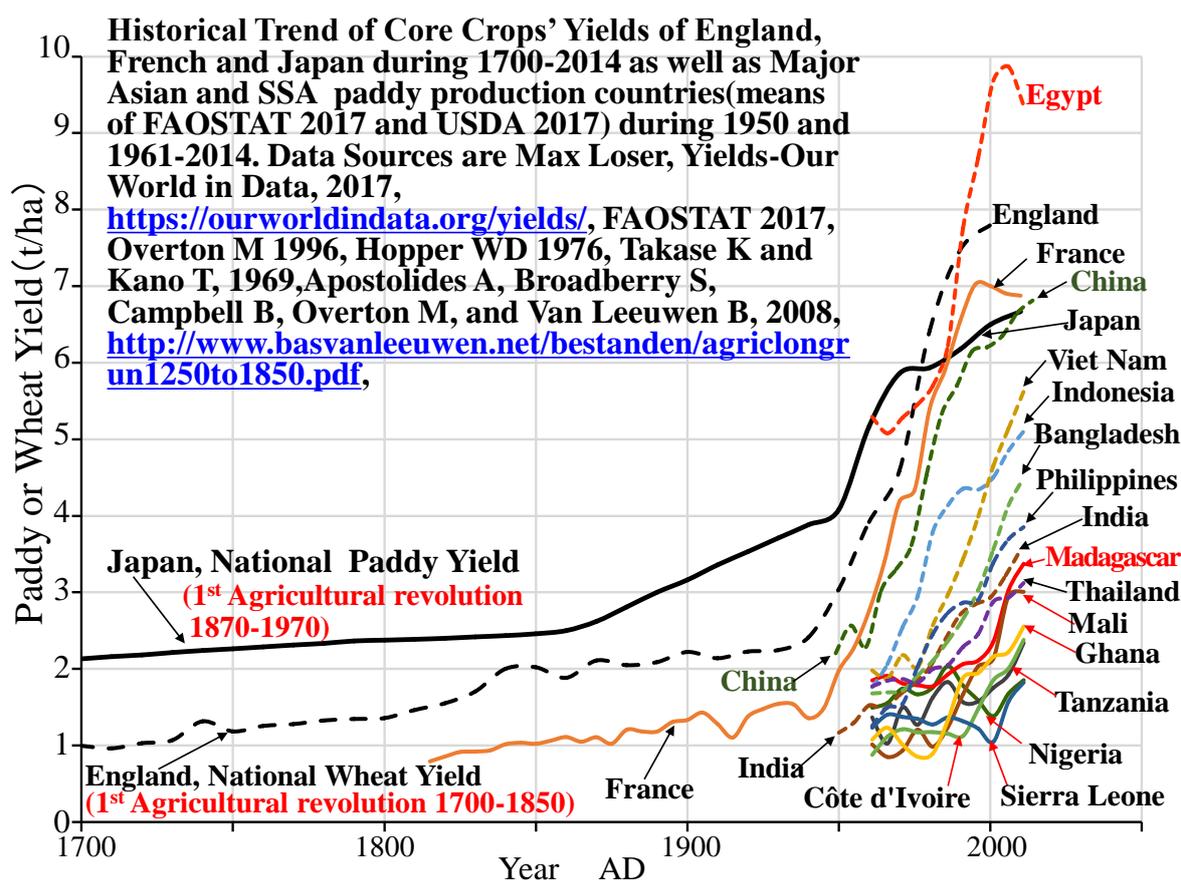


図 5. 1700-2014 年間の日本の籾収量と英国の小麦収量の歴史的変遷 1830-2014 年の仏の小麦収量の変遷に 1950-2014 年間の中国とインド、1961-2014 年のアジアとサブサハラアフリカの主要稲作国の籾収量の変遷を示す。

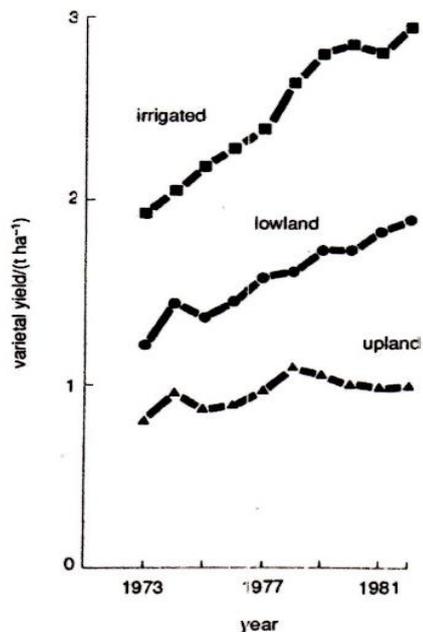


図6. 1973-1982年までのフィリピンの灌漑水田、天水田、陸稲の各々の平均収量の変遷(L.T.Evans 1993)

図7. 英国、日本、シエラレオーネの農地基盤の整備状況の比較

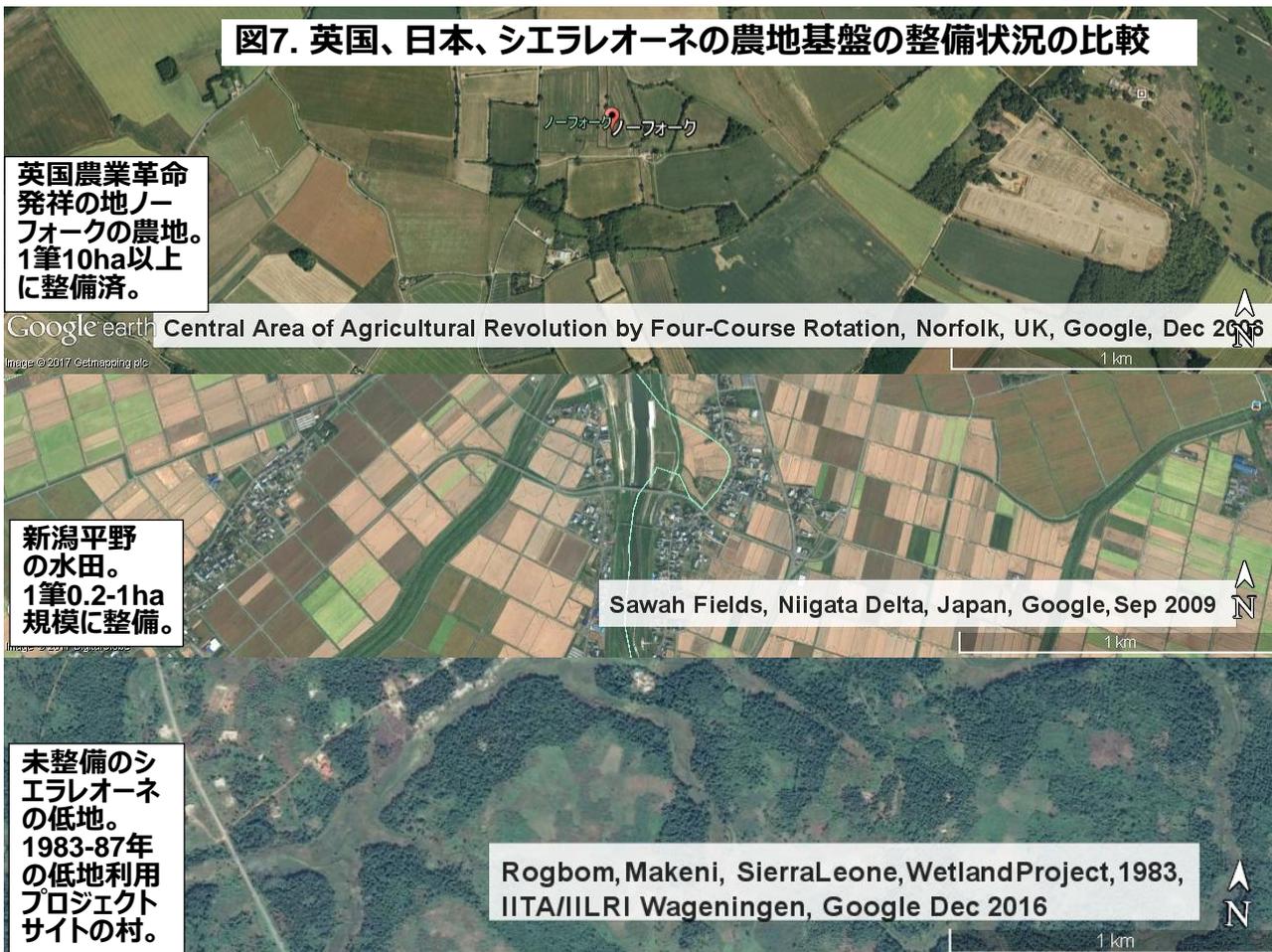




図 8. 上は図 7 の Google 写真の拡大。下の写真は 1987 年時点の Rogbom 村の非水田稲作と稲作後の落花生やキャッサバ等のマウンド栽培。

図 9. 上は図 7 の Rogbom 村付近の他村の 2016 年の Google 写真。水管理のための水田区画の整備が始まったことが分かる。下の写真は 1987 年撮影。下左は IITA が設置し水量測定装置。

図 5 は、すでに述べてきたように、日本について、アジア諸国の籾収量が 1961 年以降、緑の革命技術により、急速に向上したこと、2000 年以降、マダガスカルやマリ等、国全体の水田整備が進んでいる国を先頭に、ついでガーナ、タンザニア、象牙海岸等、国平均収量が増加していることを示す。国全体としての水田整備が遅れている、ナイジェリアやシエラレオーネ等の収量増加が遅れていることを示している。このことは水田進化の 6 段階の写真((I)の図 3、4)や上の Google Earth 写真等の図 7-9 により理解できる。農地基盤の質が重要である水田仮説 1 とエンクロージャーの対比、近代農業技術成立以前、とりわけハーバーボッシュ法による化学合成窒素肥料の導入以前の、1900 年以前の水田稲作の籾収量は英国等欧米諸国の小麦収量の 2 倍(水田仮説 2、次項で説明)であったが、1975 年以降の日本の籾収量は英国等欧米の収量をかなり下回るようになった(図 5)。このことは農業技術の進歩(収量向上)は品種改良・進化のためのバイオテクノロジーと生育環境改良・水田進化のためのエコテクノロジーとの協同作業によって実現することを示す(図 4 に示す非効率の排除のうちの水田仮説 1)。農業技術の本質は生物と環境の統合的利用技術であるから、当然のことであるが。

図 5 は 1975 年以降の日本の籾収量の停滞、英国の小麦収量の増加、以下の水田システムの集約的持続性の高さを総合的に判断すれば、日本の籾収量は 1960-70 年代の米作日本一農家と日本一都府県の水準 10t/ha と 9t/ha(精米ベース、本谷 1989)あるいは 13t/ha と 12t/ha(籾ベース、玄米/籾比 0.75 で計算)が可能であることを確信させる。アジア諸国も同様であろう。このためには育種研究に偏重している現在の農業研究をよりバランスのとれた水田基盤研究、FOEAS(藤森・小野寺 2012)等を含めて、バイオテクーエコテクのバランスの取れた農業研究に正常化する必要もあろう。又、かつての米作日本一の農家は水田基盤整備を自力で研究改良し、地域の環境に合った水田稲作を工夫し改良した。我々のアフリカ水田農法も農民の自助努力と工夫を極めて重視している。農民の創意工夫を生かす農業研究が重要である。

この収量レベルが実現できれば、100 億人の地球人口でも食糧危機は起こらない。アフリカの場合は現在のエジプトでも 9t/ha の籾収量が実現できていることから分かるように、アフリカに適した灌漑水田基盤が整備されれば、日照はアジアより恵まれているので、土壌の肥沃度の低さのハンデは十分カバーできる。

3、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 2 や表 1 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。図 6 には 1973-82 年におけるフィリピンでの水稲と陸稲の収量の変遷を示した。施肥が一般的でない 1973 時点でも水稲の収量は陸稲の収量の約 2 倍であった。図 5 に示す英国の小麦と日本の水稲籾の 1700-1900 年ころまでの近代農業成立以前の収量差も約 2 倍の差が認められる。陸稲は休閑により地力の回復を図るの必要があり、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。しかし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以上の畑地や森林保全を可能にする。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可能性もある。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、「畔で囲み均平化し適度な代掻き水田の機能」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 AfricaRice でも理解されつつあるかもしれないし、誤解や曲解もしばらくは続く可能性も高い(Mophapatra 2016, Daily Mail 2016, AfricaRice 2016 a, 2016b, 2017)。2017年6月2日に AfricaRice が出版した Smart-valleys Trainer-facilitator's manual (Defoer et al. 2017) では SMART の中核概念である水田技術 Sawah Technology と水田概念は削除されてしまい、アフリカ水田稲作の中核となる低地生態系、氾濫原や内陸デルタの灌漑水田稲作地の整備に支障をきたす心配がある。(I)の図6で見られるような大規模灌漑設備は整備されているが、水田概念の不在の故に収量が増加しない状態が放置される心配がある。水田技術 Sawah Technology を Smart-valleys approach と矮小化することの問題は大きい。

表1. 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	水稻(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、水稻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

4、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10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、人為的施設としての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やアジアでは1年間に1haあたりでは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(Wakatsuki et al. 1992, 1993, 木村 2003)。

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。その際に川や土壌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、又は、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、1000 年でも 20-50cm である。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 の厚さ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、森林や畑作地の土壌生成速度の 3.2-12.5 倍となる。

図 10 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人工的な施設でもある。適切な深度と強度の代掻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、各種の土壌菌類の相互作用により年間 1ha 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効化する。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壌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、土壌 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。

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。

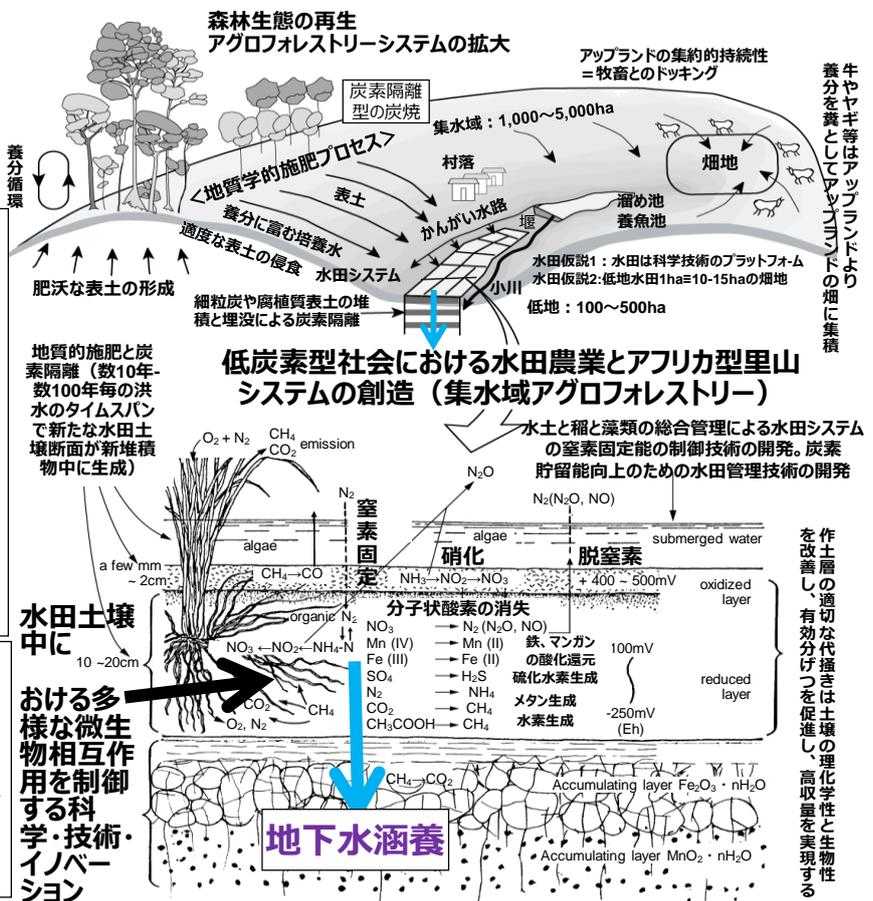


図10. 水田仮説2：集約的持続的な生産性の高さを背景にアフリカ型里山集水域を創造して地球温暖化防止

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がっていない。今後強化すべき研究分野である。これにより図 5 のように 1975 年以降英国の小麦収量に抜き去られた日本の粳収量も 10t/ha 以上に再上昇可能と思われる。

5、広大な湿地フロンティアの残るアフリカは近未来 2050 年ころの地球社会の希望の地

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。図 2 に示すように、2050 年頃と予想される地球の人口増加率のピークは、1900 年代における先進諸国の人口増加率のピーク時に経験した二度にわたる世界大戦の発展途上国版、「世界的なテロ戦争・地球温暖化・食糧危機」が大変危惧される状態にある。このような地球社会の危機回避にアフリカは貢献できる可能性がある。表 2 に示すように、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 5000 万 ha 規模の灌漑水田稲作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 11 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 12 と 13 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。

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も貢献できる。

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 2016, 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。

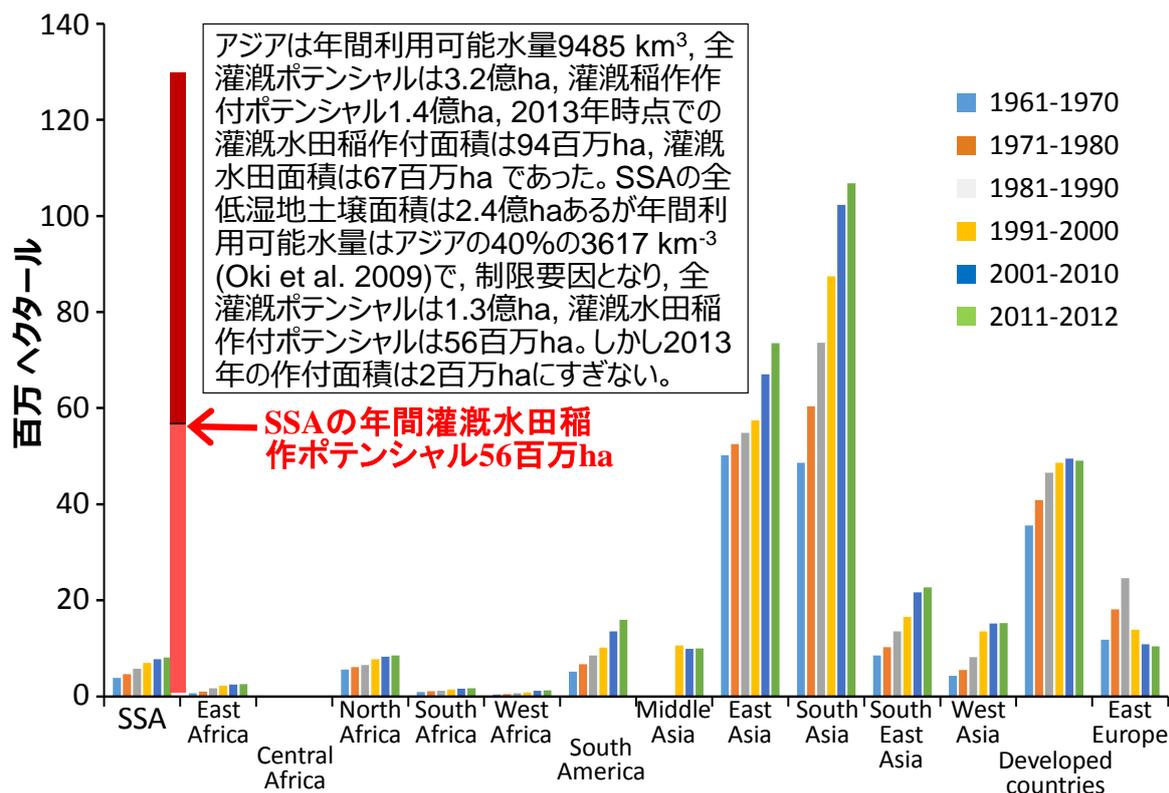


図11. サブサハラアフリカの農地と灌漑水田ポテンシャル (Aquastat 2016)

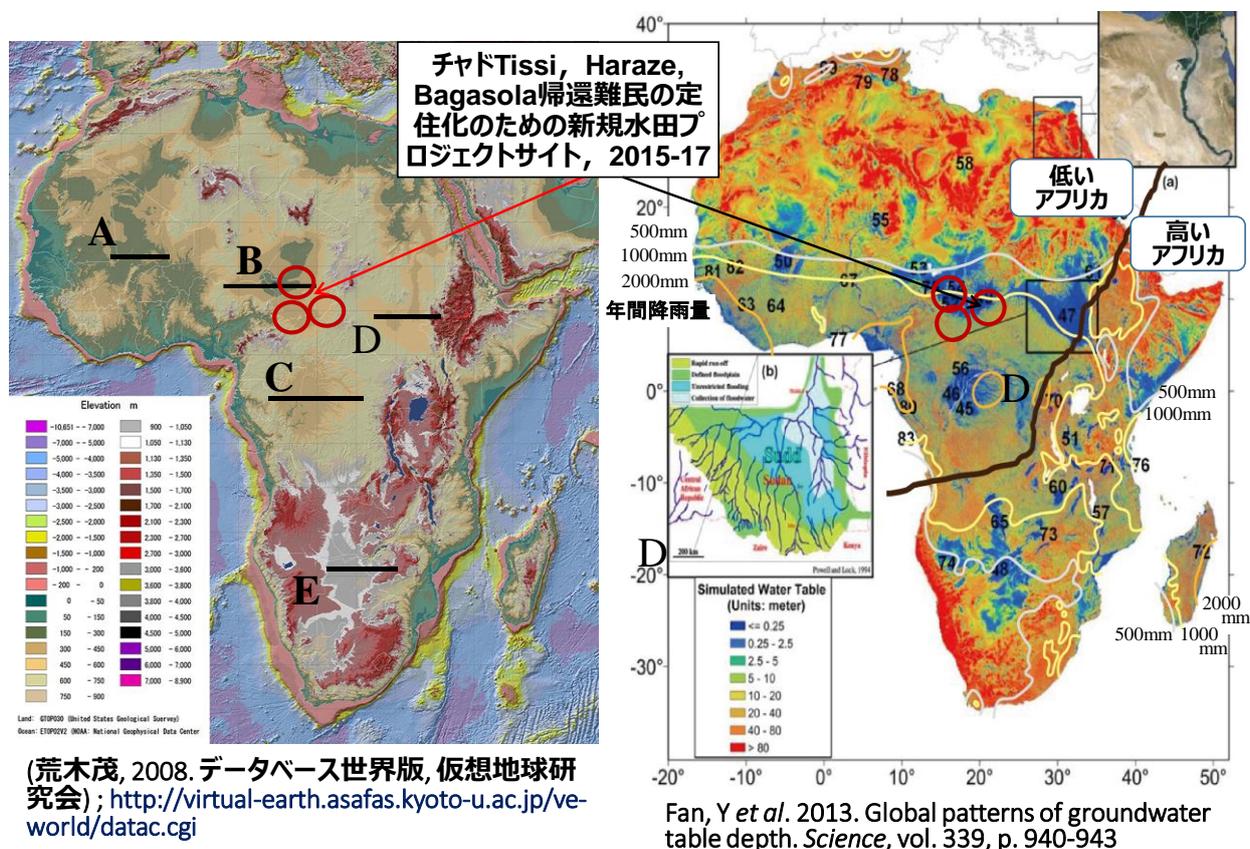


図12. サブサハラアフリカの水田稲作のポテンシャルの高い様々な標高に分布する内陸デルタ

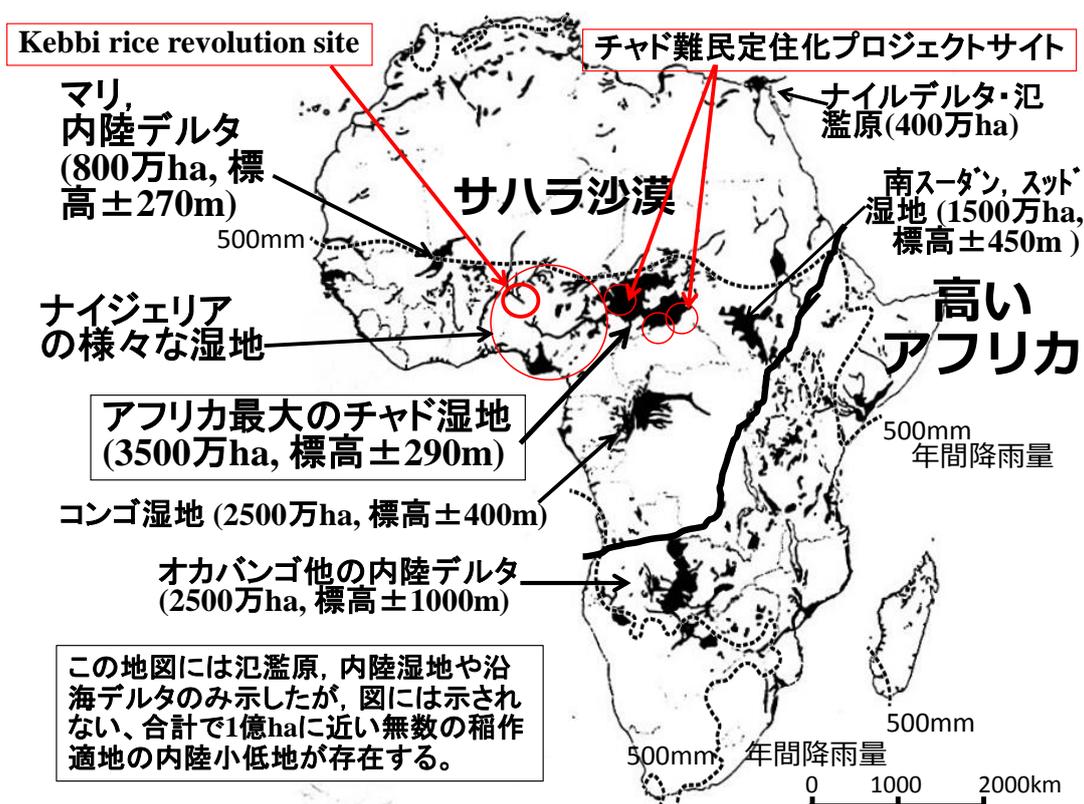


図13. 内陸部の種々の標高に分布するアフリカの湿地 (Van Dam and Van Diepen 1982)

6、アジアと比較したアフリカの各種湿地の特徴とアフリカ水田農法の可能性

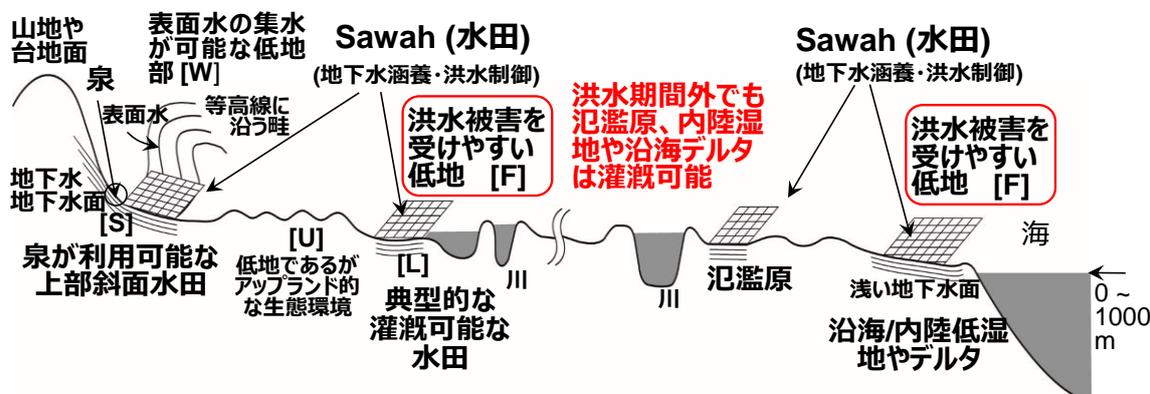
図 14 に示すようにアフリカ水田農法による農民主体の水田システムの開発適地は主として水文と地形により決まる。100%に近い砂質土壌でなければ、土性は決定的因子ではない。すでに述べたように、当初1986–2010年までは主としてギニヤサバンナ以南の降雨に恵まれた内陸小低地や氾濫リスクの小さい氾濫原をターゲットとしてきた。これらの生態系では農民が自力で主として小流量の重力水を制御することは比較的容易であると考えたからである。しかし今やアフリカ水田農法は稲作適地のあらゆる低地生態系に適用すべきことが明らかになったように思える。AfricaRice も含めて、SSA の稲作振興に水田 Sawah 概念と技術が依然として中心課題であるように見えるからである。(I) の図 6 に示すように、大小規模の灌漑システムの改良やリハビリにも有用である。AfricaRice の Smart valleys approach でもちゃんとして水田が開発されない心配がある (Mophapatra 2016、Defoer et al. 2017)。

図 15 は降雨量分布 (Harper Collins Publishers Ltd. 2008) を、図 16 は低地土壌生成速度を侵食速度 (Walling 1983) から読み替えたものである。畑作において土壌侵食は許容できない悪であるが、低地水田稲作においてはアップランドの森林や畑地における適度な侵食は、土壌の更新と若返りのプロセスであり、低地水田土壌の更新のプロセスであり、100–1000年という長期的な持続性を担保する重要な生態学的プロセスである。

これらの図からわかることは、アジアと比べて水循環量が小さく、低地土壌生成作用が小さいため、アフリカの低地や氾濫原は種々の多様な微地形が混在していることである。図 14 に示すように泉や小河川水を簡便な堰等で取水可能な低湿地は農民の自力開発が容易でアフリカ水田農法 (当初はアフリカ谷地田農法、AfricaRice の Smart-valley approach と同じ) の最優先の開発適地であった。緩斜面のすそ野でのウォーターハーベストやコンターバンドシステムが開発可能であるが、アフリカの低地は一般にアップランド的地形条件も多いため、水田適地の選定が極めて重要となる ((I) の表 12 アフリカ水田農法 (Sawah Technology) : 農民の自力灌漑水田開発と稲作の 4 つの要素技術の (1) 適地と適期選定と適田システムの設計のポイント、(I) の図 3)。

アフリカの諸地域の水文、地形、土壌、気候、植性、および地質、さらには社会経済、文化、および歴史条件の多様性故に、アフリカ水田農法はこれら諸地域の多様性に対処し適応する必要がある。表 2 に示す

ようにアフリカの湿地面積は約 2.4 億 ha と巨大である (Andriessse 1986) が、水循環量の少なさ (図 14) 故にこれらの湿地すべてが持続可能な灌漑水田開発適地ではない、これらはアフリカにおける水田開発の生態環境から見た制限因子である。



多様な灌漑オプション :

天水田、田から田への掛け流し、等高線に沿う畦による集水、泉利用、堰利用、河川利用、簡易ポンプと浅管井戸利用、インターセプト水路利用、ため池利用等

低地水田開発の優先順位 : [S] [L] [F]*] [D]* > [W] > [U]

*氾濫原やデルタでは、1-3ヶ月の洪水期間外に農民は簡易ポンプと浅管井戸を利用して水田稲作が可能。大部分のアフリカの大川の洪水破壊力は小さいので、Kebbi州のように農民により開発された水田システムは氾濫下でも維持管理できる。水田システムは地下水涵養と洪水制御機能もある。ナイルの伝統的氾濫原農法と温故知新の統合システムの開発も重要。

図14. アフリカの多様な低湿地環境と水田適地。アフリカ水田農法 (Sawah Technology) の継続的な改善と進化のためにはアフリカの多様な低湿地での広範な普及・社会実装活動が必要であり、多様な土地の特性を考慮した水田開発と水田稲作のオンザジョブ訓練を同時並行で実施することが重要である。

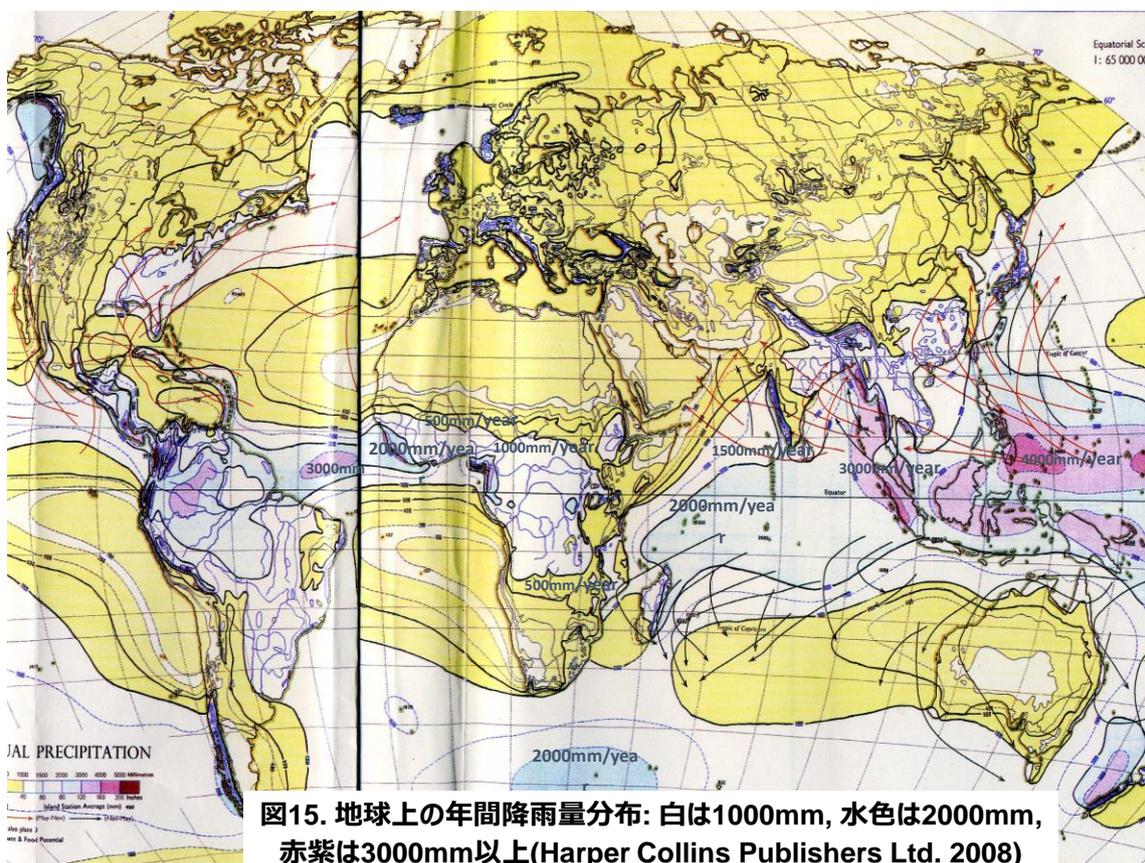


図15. 地球上の年間降雨量分布: 白は1000mm, 水色は2000mm, 赤紫は3000mm以上 (Harper Collins Publishers Ltd. 2008)

サブサハラアフリカの水田は持続可能か？ 活発な造山運動とアジアモンスーンは活発な土壌生成と侵食と低地土壌生成をもたらし1.4億haの持続可能な水田稲作を支えている。サブサハラのアフリカではそのような低地土壌生成作用はアジアの5分の1から10分の1程度しかなく見える。図12-13、17-19に示すようにサブサハラアフリカにはマリ、チャド、スッド、コンゴ、オカバンゴ大湿地のような内陸の種々の比高に分布し無数の内陸小低地を合わせて数億haが分布する。沿海低湿地が大部分のアジアと異なる。水循環量の少なから最大ポテンシャルは5000万ha程度と推定される。このため水田適地の湿地の見極めが重要。

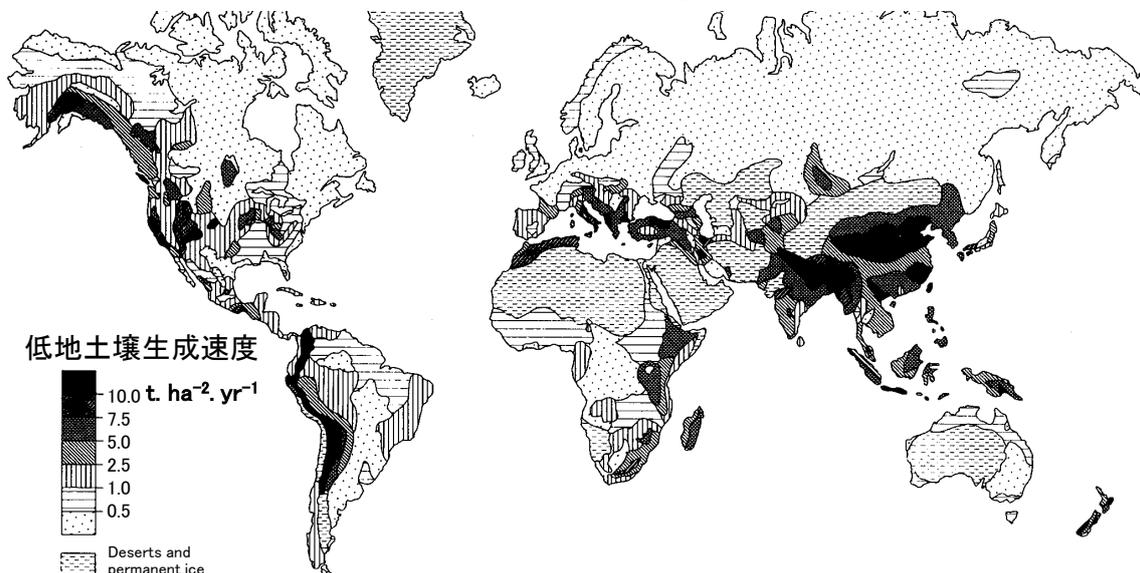


図16. 世界における土壌侵食速度の分布 (Walling 1983; quotation in Lal 1988)。侵食速度は主として河川中の懸濁土壌粒子重で測定。これはアジアの場合は低地土壌の生成速度に近似できる。

図 17 はアフリカとアジア大陸の高度別頻度分布を示した (荒木 2008)。アフリカは安定した大陸で 200–1000m の様々な高度に c、d、e、f、g 等、十数段の準平原面があり、図 12 の左図からわかるように 600–700m の高度の f 面 (準平原窪地を囲む裾野面) のを除いたこれらの平面は広大な内陸低湿地やデルタとなっている (図 13)。図 18 と 19 は図 12-13 の代表的な内陸湿地やデルタのトランセクト面の地形を示すもので、極めて広大な内陸湿地があること、これらの湿地の地下水面は浅いことを示している。一方アジア大陸にはこの種の内陸低湿地の分布は限られており、大部分は 200m より低い、沿海デルタとなっている。

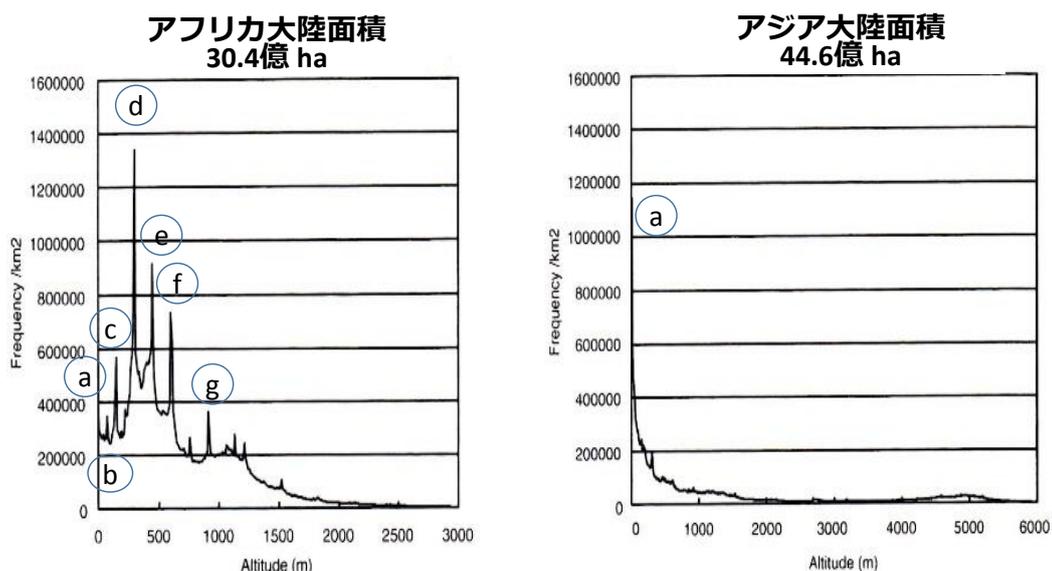


図17. アフリカ大陸とアジア大陸の高度別頻度分布 (荒木, 2008)。アフリカは安定した大陸で、200-1000mの様々な標高にc、d、e、f、gなどの十数段の準平原地形面がある。fを除いたこれらには、広大な内陸低地や湿地、デルタがある。一方、アジア大陸は広大な低地があるが、主に沿岸地域の標高200m以下 (右図a) に存在し、主に稲作を行う水田に利用されている湿地である。

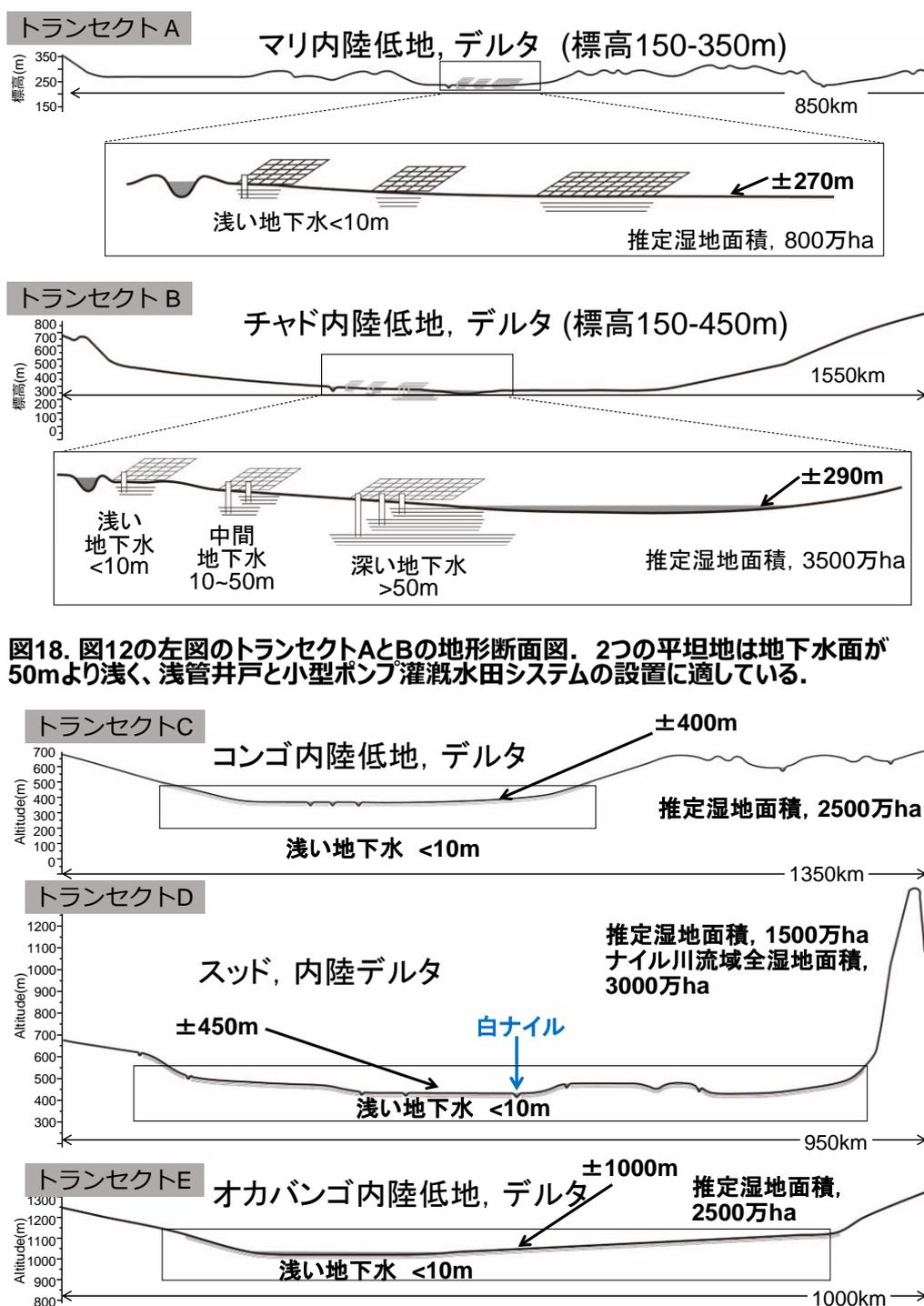


図18. 図12の左図のトランセクトAとBの地形断面図。2つの平坦地は地下水面が50mより浅く、浅管井戸と小型ポンプ灌漑水田システムの設置に適している。

図19. 図12のトランセクトC, D, Eの地形断面図。コンゴとスッドの平坦地は地下水面が50mより浅く、浅管井戸と小型ポンプ灌漑水田システムの設置に適している。しかし、オカバンゴの低地は入念な環境調査が必要。

図12-13に示すように、チャドという国がアフリカ最大の低湿地、500-1000万ヘクタール規模の水田開発ポテンシャルを有していることを認識したのは2015年6月チャドの国際移住機関IOMと共同調査を実施したことに始まる(以下図20、21、22aと22bの写真)。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(図23)。地下ダム機能を強化する、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、ナイルデルタで行われていた、アフリカ氾濫原農法とアフリカ水田農法の融合により集約性の高い持続可能な21世紀型の新農法へと発展する可能性もある(図24)。



図20. Chadに広く分布する黒色粘土質のバーテソルは持続可能な水田開発が可能か。7-10月の雨季は泥の海。乾季はひび割れた大地となるが、地下水は浅い。

- 図21. 浅管井戸掘り。インド製の安価な井戸掘り機の利用が急速に普及し始めた。
- (1) 20-30m深度の浅管井戸の切削コストは300ドル程度。
 - (2) 地下水位が10m以浅なら300ドル程度のポンプ1-2台で1haの灌漑が可能。しかも間断灌漑になるので収量が6-7t/ha以上が可能
 - (3) 地下水位が20-30m程度でも小型発電機1000ドル程度により小型水中ポンプで1ha程度の灌漑が可能。
 - (4) 10m以浅なら手掘りも簡単。切削業者も増加中。エンジン、切削ドリル、鉄の支柱等のパーツから構成可能であり、3000-5000ドル程度で切削機の自作も可能。



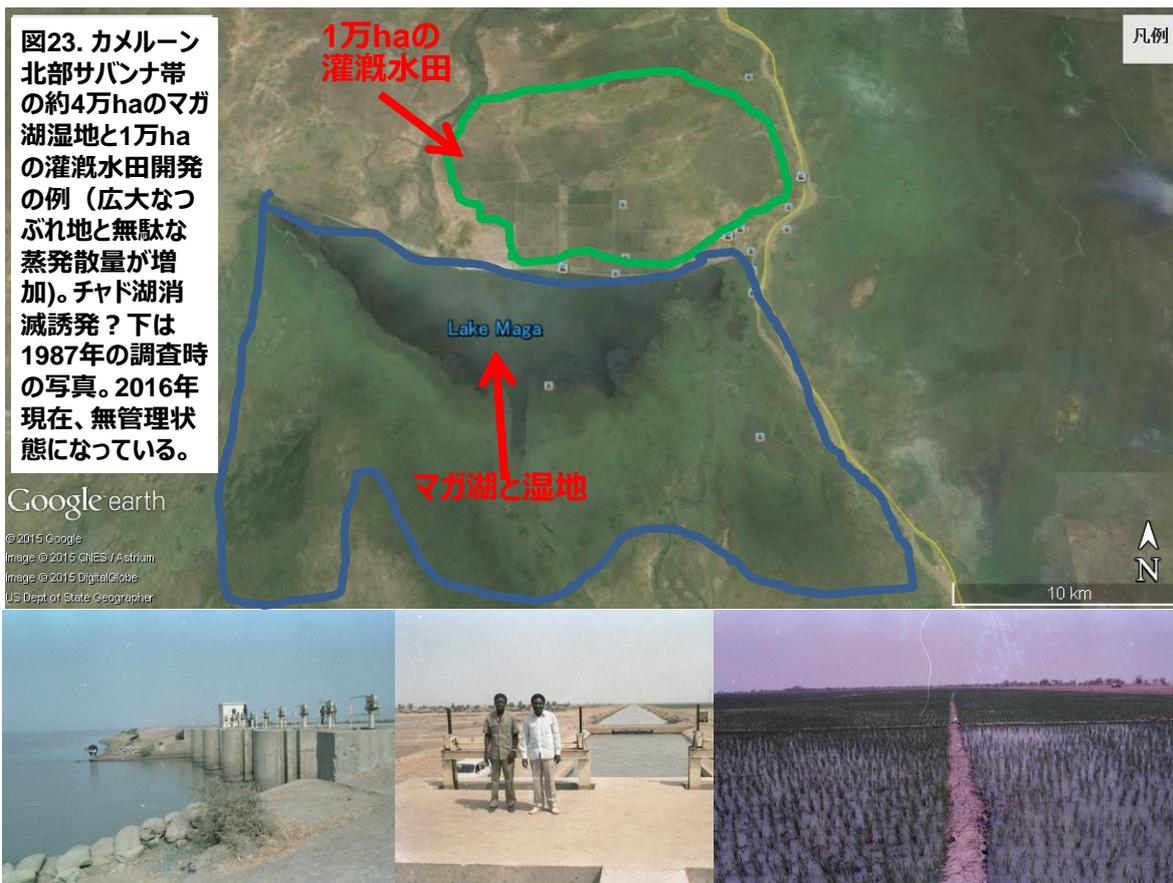


図22a. Chadの帰還難民の定住化のためのアフリカ水田農法の訓練とデモンストレーションサイト, Haraze, Tissi, 2015年11月-17年4月 (場所は図12-13参照)



図22b. 下左はチャド湖東岸Bolの干拓地。上左はBagasola (Bol西方70km チャド湖東岸) の難民村。右上はHaraze, 右下はスーダン・中ア国境のTissi





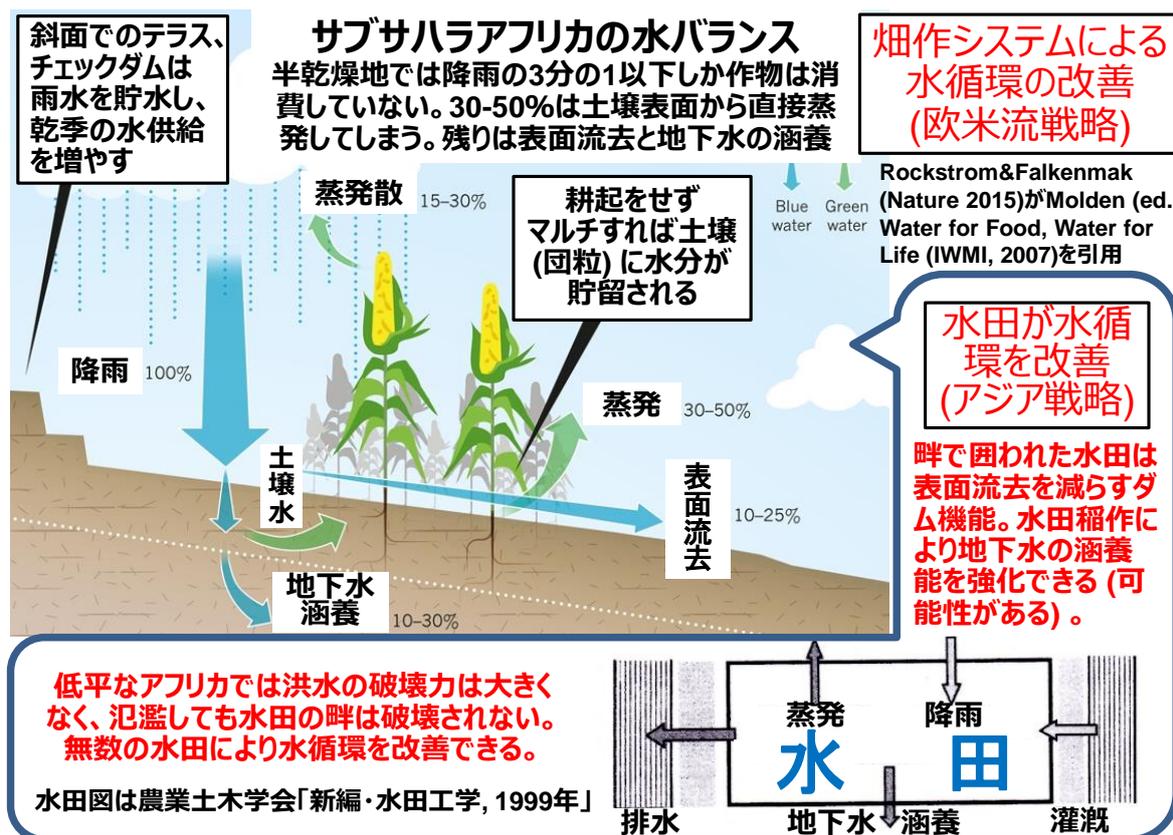


図25. アフリカの水循環を改善するための畑作ベースの戦略と水田ベースの戦略

上の図 25 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壤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。

7、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英国等、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、地球温暖化防止や生物多様性保全、貧困撲滅や平和構築に貢献できる。

8、参考文献

- AfricaRice 2017. Smart-valleys for rehabilitation of the rice sector in post-conflict countries of Liberia and Sierra Leone, http://www.kinki-ecotech.jp/download/AfricaRice-AnnualReport-2015_p16,20.pdf, In AfricaRice 2015 Annual Report (<http://www.africarice.org/publications/AR2015/AfricaRice-AnnualReport-2015.pdf>)
- AfricaRice 2016a. Scaling up of Smart-valleys in Benin and Togo (http://www.kinki-ecotech.jp/download/AfricaRice-AnnualReport-2014_p11-12,32-34.pdf), In AfricaRice 2014 Annual Report (<http://www.africarice.org/publications/AR2014/AfricaRice-AnnualReport-2014.pdf>)
- Africa Rice 2016b. 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/>
- Andriess W 1986. Wetlands in SubSaharan Africa, Area and Distribution, *In Juo ASR and Low JA edited "The Wetlands and Rice in SubSaharan Africa"*, pp15-30, Proceedings of an international conference on wetland utilization for rice production in sub-Saharan Africa, p1-318, 4-8 November 1985, Ibadan Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture.
- Apostolides A, Broadberry S, Campbell B, Overton M, and Van Leeuwen B, 2008, English Agricultural Output and Labour Productivity, 1250-1850: Some Preliminary Estimates, pp.1-61, <http://www.basvanleeuwen.net/bestanden/agriclongrun1250to1850.pdf>
- AQUASTAT 2017. <http://www.fao.org/nr/aquastat>
- 荒幡克己 2014. 減反 40 年と日本の水田農業, 農林統計出版, 東京, 817pp.
- 荒木茂, 2008. データベース世界版, 仮想地球研究会, <http://virtual-earth.asafas.kyoto-u.ac.jp/ve-world/data.cgi>
- Daily Mail 2016. In Benin, 'Smart-Valleys' bring rice bounty, 18 December 2016, <http://www.dailymail.co.uk/wires/afp/article-4044984/In-Benin-Smart-Valleys-bring-rice-bounty.html>
- Defoer T, Dugue MI, Loosvelt M, and Worou S, 2017, Smart-valleys Tainer-facilitator's manual, AfrcaRice, 130pp, Printed at Pragati Offset Pvt Ltd, Hyderabad, India, <https://www.africarice.org/publications/smart-valleys/ENsmart09H-02O.pdf>
- Evans LT 1993, Chap.7: Inputs and the efficient use of resources. In "Crop Evolution, Adaptation and Yield", pp.317-364, Cambridge University Press.
- Fan Y, Li H, and Miguez-Macho G. 2013. Global patterns of groundwater table depth, *Science*, 22 February 2013, Vol 339: 940-943
- FAOSTAT. 2016. <http://www.fao.org/statistics/en/>
- 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, 115pp.
- Harper Collins Publishers Ltd. 2008. Times Comprehensive Atlas of the World, Twelfth Edition, 544pp., Collins Reference.
- ハワード W フレンチ 2016. 中国第二の大陸 アフリカ 100 万人の移民が築く新たな帝国, China's Second Continent, 2014, Pengu Random House, 栗原泉訳, 白水社, 334pp.
- 本間俊朗 1998. 日本の国造りの仕組み—水田開発と人口増加の関連, 167pp., 山海堂.
- 本谷耕一 1989. 多収穫稲作の解明—転機に立つ稲作経営のために—, 148pp., 頁博友社.
- Hopper WD 1976, The Development of Agriculture in Developing Countries. *Scientific American*, 235(3), 196-205.
- Kalaitzandonakes NG, Gehrke B and Bredahl ME, 1994, Productivity Growth and Competitiveness, In Bredahl ME, Abbott PC, and Reed MR, edited "Competitiveness in International Food Markets", pp.169-187, Westview Press.
- 木村 愛 2003. 熱帯・温帯集水域におけるマスバランス重回帰計算法による土壌生成速度測定法の検討, 島根大学生物資源科学部, 修士論文.
- 鬼頭 宏 2007. [図説]人口で見る日本史—縄文時代から近未来社会まで, 208pp., PHP 研究所, 東京.
- Lal R 1988. Monitoring soil erosion's impact. In Lal R ed., "Soil Erosion Research Methods", pp.187-200, Soil and Water Conservation Society, U.S.
- Max Loser 2017. Yields-Our World in Data, <https://ourworldindata.org/yields/>
- Molden D(ed.) (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture) 2007. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. 624pp., London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute.
- 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/>
- 農業土木学会編 1999. 新編・水田工学 (Advanced Paddy Field Engineering), 信山社サイテック, 388pp.
- Oki T, Agata Y, Kanae S, Saruhashi T, Yang D, and Musiak K 2009. Global assessment of current water resources using total runoff integrating pathways, *Hydrological Sciences Journal*, 46(6), 983-995, DOI:10.1080/02626660109492890
- Overton M 1996. Agricultural Revolution in England, The transformation of the agrarian economy 1500-1850, Cambridge Studies in Historical Geography, Cambridge UP, pp.1-258
- Rockstrom J and Falkenmark. 2015. Increasing water harvesting in Africa, *Nature*, Vol.516: 283-285
- 関根久子・梅本雅 2015. 小麦収量格差の形成要因—日本とドイツの比較分析, 中央農研研究報告, 24: 31-54, https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/narchokoku-24-3.pdf
- SMART 2016. Sawah, market access and rice technology in African Inland valley ecology (<https://smartiv.wordpress.com/>)
- 高瀬 国雄, 2003. 21 世紀アフリカ農村開発の展望, 農業土木学会誌, 70 (11), 969-973.
- Takase K and Kano T 1969. Development Strategy on Irrigation and Drainage : Asian, Agricultural Survey, Asian Development Bank, pp.520.

- USDA PS&D Online, 2017. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>
- 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 Museum, http://www.isric.org/isric/webdocs/docs/ISRIC_TechPap05.pdf
- Wakatsuki T 2002. Sustainable Agricultural Development of West Africa during Global Environmental Crises. In Hirose and Wakatsuki eds., "Restoration of Inland Valley Ecosystems in West Africa", Association of Agriculture & Forestry Statistics, Tokyo, 572pp.
- 若月利之 2008. 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. In 松菌万亀雄・縄田浩志・石田慎一郎編著「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 2, 第 4 章, pp.171-219, 明石書店.
- 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, 222pp.
- Wakatsuki T, Buri MM, Ofori J 2016. Summary Report of Meetings on Sawah Technology Transfer and Up Scaling at Ghana, [http://www.kinki-ecotech.jp/download/\(Ghana\)5-8Aug2016Summary.pdf](http://www.kinki-ecotech.jp/download/(Ghana)5-8Aug2016Summary.pdf)
- Wakatsuki T and Rasydin A 1992. Rates of weathering soil formation. Geoderma, 52: 251-263, <http://www.kinki-ecotech.jp/download/WakatsukiRasydin1992Geoderma.pdf>
- Wakatsuki T, Rasydin A and Naganawa T 1993. Multiple regression method for estimating rates of weathering and soil formation in watershed, Soil Science and Plant Nutrition, 39: 153-159, http://www.kinki-ecotech.jp/download/Wakatsuki_etal.1993SSPN.pdf
- 渡辺利夫 2010. 緑の革命—農業の技術進歩はいかにしておこるか. In 開発経済学入門 第 3 版, 第 4 章, pp.67-86, 東洋経済新報社.
- Windmeijer P. M. and Andriessse W. eds. 1993. Inland Valleys in West Africa: An Agro-Ecological Characterization of Rice Growing Environments, ILRI publication 52, 160pp.