

西アフリカにおける持続可能な水田農業開発に関する研究

若月利之*

1. 何故アフリカか？

熱帯アフリカに持続的な農業や林業システムが展開できなかったのは、数百年間継続した欧米の奴隷貿易と、それによる社会の崩壊、その後1960年のアフリカ独立まで100年以上続いた植民地支配にある。欧米との長期にわたる「交流」は生態環境のみならず、「民族間対立の激化、リーダー層の腐敗」等、社会に大きな歪みを残した。奴隷貿易や植民地支配のような不正が500年間も継続した社会では、正義や大義に生きるリーダー層が生まれる余地は少なかった。このような奴隷貿易や植民地支配に、キリスト教的正義が同時に持ち込まれたことは、歴史の悲劇である。一方、このアフリカの犠牲の時代は、欧米の世界化と欧米への富の蓄積と、それをベースにした欧米科学技術の発展、そしてその恩恵による「豊かな生活」をもたらした(図1)。日本は明治以来、このような由来を持つ欧米の科学技術の恩恵を最大限に受けて、「経済大国」になった。それ故に欧米コンプレックスを抜け出せていない。現在の日本の社会や政治のリーダーシップの欠如問題も原点はここにある。

本研究をベースとして21世紀の新しい地球社会を作るための日本の国際貢献の1つとして「森と水田のエコテクノロジー」による、アフリカと日本及び地球再生計画を提案したい¹⁾。水田と森の環境技術は、アフリカの食料環境危機と地球環境を救うだけでなく、農林業の荒廃と深く関わっている現在の日本社会の精神的文化的危機は、アフリカの人々との交流により救われることも期待したい。

2. アフリカとの交流の中から生まれる日本の国際協力の哲学¹⁻¹²⁾

この500年の欧米による世界制覇と新世界の開発は先進諸国に豊かで便利な生活をもたらしたが、一方でアフリカの人的、自然資源の大規模な消費(奴隷と植民地化)により行われた。これらは、アフリカ社会の破壊、新世界の欧米化、2度にわたる世界大戦、その戦後処理のおしつけとしての中東中南米危機、そして地球環境のますますの劣化をもたらしたのであった。それ故、欧米の犠牲になったアフリカこそが、地球環境問題の「主戦場」である、と捉える発想も必要である。欧米の近代文明や近代科学を乗り越え、地球環境問題と南北問題を克服し、新しい地球社会を築くために、日本はアジアをベースとしながらも、アジア

のみに留まるのではなく、アフリカへの積極的関わりが必要であると考え、図1にはこのようなグローバリゼーションの歴史的展望を総括して示した。

3. 西アフリカの低地土壌の肥沃度^{1,7,13-18)}

1986~88年の2年間、JICA水田土壌学専門家として国際熱帯農業研究所(IITA)へ長期派遣されたのを皮切りに、その後の短期派遣や各種海外学術調査により、1998年までに西アフリカ全域の低地農業を調査した。水田開発ポテンシャルの高い内陸小低地土壌185点と氾濫原土壌62点を採取し、肥沃度について川口・久馬らによる熱帯アジアや日本の水田土壌肥沃度の調査結果と比較した。

その結果、窒素肥沃度は熱帯アジアと大差ないが、リン酸や各種塩基状態は極めて低く、砂質でかつ粘土の活性も低いこと、強度の風化溶脱に加えて人為的な土壌劣化が進んでいること、またイオウや亜鉛など微量元素の欠乏土壌も広範囲に分布していることなどを明らかにした。アフリカ稲の栽培に始まる西アフリカの伝統的稲作は各種雑穀や陸稲栽培の延長として行われており、水田稲作技術は定着していない。森林を破壊する焼畑だけでなく、低地における非水田的稲作も土壌の劣化を促進して、世界的にみても極めて劣悪な土壌の分布することを示した(表1)。

4. Sawah コンセプトの導入とアフリカ型水田農業のオンファーム試験研究^{1,7)}

1986年以来、ナイジェリア中部のギニアサバンナ帯にあるビダ市付近のベンチマーク集水域で、内陸小低地における水田農業のオンファーム実証試験を、農民参加のもとで継続している。この結果、水田を整備して適正に管理すれば、現行の高収量品種によって5~6t ha⁻¹の収量を得ることも困難ではないこと、また、水田の整備によって劣化した西アフリカの低地土壌を含む劣化した集水域の修復も可能であることを示した。

一方、西アフリカでは水田を適切に表現する言葉と概念がない。稲=paddyと水田=paddyが混同されているため誤解が多い。Paddyはマレーインドネシア語起源で、植物としての稲を意味する。もともと水田文化を持たない欧米人は稲を表すpaddyをpadiから拝借するだけで事たれりとしたのは理解できるが、水田農業の重要性をよく認識しているはずの我々が、paddy, paddy field, paddy soilを「水田」、「水田地」、「水田土壌」と思い込んで使っても、西アフリカでは「靱」、「陸稲畑」、「陸稲土壌」として理解されることが多い。英仏語はすでにpadi由来のpaddyを使用しているので、水田を表す世界共通用語と

* わかつきとしゆき；島根大学生物資源科学部(690-8504 松江市西川津町1060)

表 1 西アフリカ内陸小低地および氾らん原土壌表土の平均肥沃度、熱帯アジアと日本の水田土壌と比較して示した。

Location	Total C (%)	Total N (%)	Available** P (ppm)	Exchangeable Cation (cmol/kg)				Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	eCEC /Clay
				Ca	K	Mg	eCEC				
西アフリカ内陸小低地	1.3	0.11	9	1.9	0.3	0.9	4.2	60	23	17	25
西アフリカ氾らん原	1.1	0.10	7	5.6	0.5	2.7	10.3	48	23	29	36
熱帯アジア水田 [†]	1.4	0.13	18	10.4	0.4	5.5	17.8	34	28	38	47
日本の水田 [†]	3.3	0.29	57	9.3	0.4	2.8	12.9	49	30	21	61

[†]Kawaguchi and Kyuma (1977), ** Bray 2.

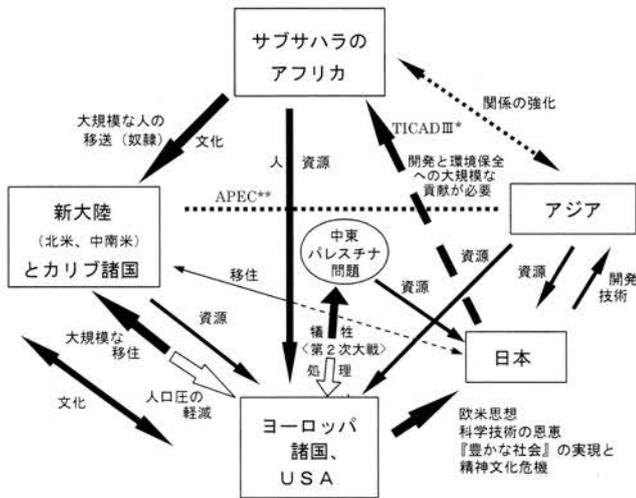


図 1 グローバリゼーションの歴史的展望

* TICAD III: 第 3 回東京アフリカ開発会議 (2003).

** APEC: Asia-Pacific Economic Cooperation.

発費で、かつ 3~5 t ha⁻¹ の米収量を実現できる新しい開発方式と農法が必要となる。

6. 研究協力「農民参加によるアフリカ型谷地田総合開発」: エコテクノロジー型谷地田水田開発方式 (谷地田農法) の提案^{1,8,9,11,18,21)}

1996 年からは、ナイジェリアに加えてガーナのクマン付近の森林移行帯集水域もベンチマークサイトとし、国際協力事業団 (JICA) 支援による研究協力プロジェクトを実施した。植生、土地利用、とりわけ水分動態の基礎データを踏まえ、多様な地形、土壌、水条件に適合する種々の水田 (天水田型、湧水利用型、小型ポンプ利用型、簡易堰利用型) の造成と水稻の栽培を農民参加により試行した。その結果、農民グループへのローンを基本とする 1 ha あたり 3000~4000 ドルの費用で、3~5 t ha⁻¹ の収量を確保し、自立的展開の可能な新しい「エコテクノロジー型水田開発方式」が成立することを実証した (表 2)。ここで使うエコテクノロジーとは、地域の生態環境と社会に適合する生物生産向上と環境修復を兼ねた土と水の管理技術であり、溜め池や堰・水路・水田のレイアウトと造成、均平化等のエンジニアリングを農民自身が農学的な耕種技術とともに実施することを特徴としている。実証した谷地田農法の今後については以下のような展開が可能である。

1) KR2 食料増産援助物資である耕耘機、肥料、農業等の農民グループへの供与と谷地田農法による水田開発方式を結合させれば新しい農業開発方式になる。

2) この谷地田農法の十分な技術移転が実施されれば、アフリカ開発銀行や国際開発銀行等のローン案件として、アフリカにおいては初めての自立的な水田農業開発プログラムとなり得る。

7. 西アフリカの劣化集水域修復のための生態工学的基礎研究^{8,21~26)}

以上の実証的研究を支える基礎的な研究として以下の成果があり、熱帯の劣化集水域を修復するための生態工学的技術開発のバックボーンとなる。

1) 地球化学的マスマバランスを基礎とする集水域での土壌生成速度の新しい測定法の提案: これにより土壌侵食をカウンターバランスする土壌生成速度の大きさが地球平均で 1 t ha⁻¹ y⁻¹ 弱、日本では 0~5 t ha⁻¹ y⁻¹ 程度の範囲にあることを推定した。基礎となる理論式は以下のとおり。

$$DDi + VVi + GGi - PPi = RiR - SiS$$

この式で D は集水域よりの年間の川水の流出量 (m³

しては同じくマレーインドネシア語の sawah を提案したい。

5. アフリカにおける水田農業開発に関するこれまでの国際協力^{1~11,16~21)}

西アフリカでは、過去 30 年間に米は 280% 増産され、トウモロコシ、ソルガム、ミレットの増産率を遙かに凌駕した。米以外では人口増加率の 200% 以上の増産を示したのはキャッサバの 240% だけであった。しかしこの米増産は、主として陸稲の拡大による森林環境破壊型の増産であった。環境の悪化を防止するためには、畑作的な稲栽培に代わる持続可能な水田開発が必要であるが、問題はモンスーンアジアを起源とする水田農業を、生態環境や文化的、歴史的、社会経済的条件の異なる西アフリカの地にかに展開するかにある。西アフリカの伝統農業や在地の知恵を生かした新しい開発方式が必要である。これまで台湾や日本の ODA による水田農業技術移転のための協力は種々実施されてきたが、現在灌漑水田の拡大は頓挫している。技術移転の困難さだけでなく、最大の問題は、かりに 5 t ha⁻¹ の収量を実現したとしても、米の販売価格 1000 ドル ha⁻¹ 程度では 1 ha あたり 2~3 万ドルもする開発費をまかなえないことにある。過去の大規模灌漑方式はもちろんのこと、現在の主流である小規模灌漑方式でもこの問題をクリアできていない。このため、3000 ドル程度の開

表2 西アフリカにおける大規模、小規模、従来の焼畑稲作技術およびエコテクノロジー型水田開発（谷地田農法）に関わる造成費、経済性、維持管理、農民の参加意欲、持続性等の比較

	大規模灌漑方式	小規模灌漑方式	エコテクノロジー型水田開発方式	在来の焼畑稲作技術
ヘクタール当たりの開発費	20,000-30,000 US\$/ha	20,000-30,000 US\$/ha	3,000-4,000 US\$/ha	20-30 US\$/ha
ヘクタール当たりの売上げ	1,000-2,000 US\$/ha	1,000-2,000 US\$/ha	1,000-2,000 US\$/ha	100-300 US\$/ha
(開発費を含む)経済性	赤字	赤字	1,000US\$/ha	100-200US\$/ha
施設維持費	高	中	低	無し
運営費(含む機械)	中～高(300-600US\$/ha)	中～高(300-600US\$/ha)	中(200-300US\$/ha)	低(10-20US\$/ha)
農民参加度	低	中～高	高	高
農民の履歴	新規移住者	旧・新規移住者及び在来農民	旧移住者及び在来農民	旧移住者及び在来農民
開田のオーナーシップ	政府	政府	農民	農民
移転技術の内容	機械を含む高投入の集約的稲作技術	機械を含む高投入の集約的稲作技術	小規模機械を含むエコテクノロジー型の開田と中程度投入による稲作技術	低投入の稲作技術
技術の適応性の難易度	長期間を要す、定着困難	短～中期間で定着し、比較的簡単	短-中期で可能、デモンストレーションとOJT(実地訓練)による技術移転	若干の技術移転のみ
技術の持続性	低	低～中	高	中
環境への影響	高	中	低	中

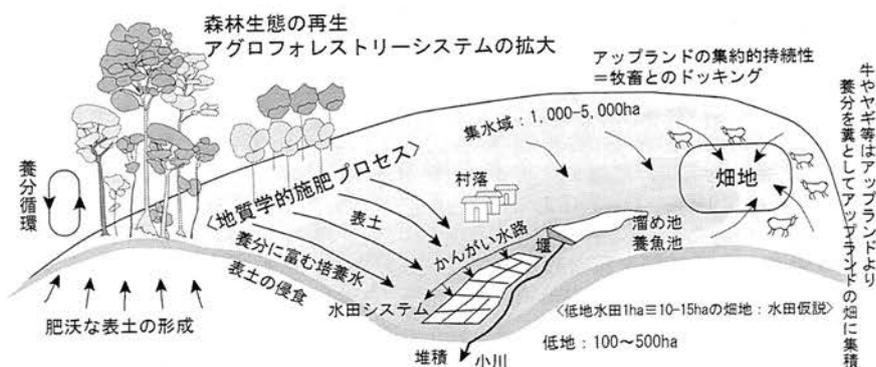


図2 集水域における森林と水田システムの関係を示す概念図

森林での肥沃な表土の生成と侵食、低地水田土壌の堆積は、水環境がもたらす持続的な「集水域アグロフォレストシステム」で、生態工学技術であり、集水域の地質学的施肥プロセスを強化する。その結果、1 ha の水田の持続的な生産力は10～15 ha のアップランドに相当するほど強化される（水田仮説）。

ha⁻¹), Di は平均濃度 (g m⁻³, ここで, i=岩石起源主要7 元素, 即ち, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na 以下同様), V は植生バイオマスの年間成長速度 (t ha⁻¹), Vi は平均元素濃度 (g t⁻¹), G は地下水の年間補給量, Gi はその平均濃度, P は年間降雨量, Pi は平均元素濃度, Ri は母岩中の平均元素濃度 (g t⁻¹), R は母岩の年間風化速 (t ha⁻¹), Si は土壌中の平均元素濃度, S は年間の土壌生成速度 (t ha⁻¹) である。

2) 地質学的施肥の考え方の提示: 土壌の更新を担う4つのプロセス(火山灰, 風成塵, 河川の氾濫堆積, 集水域における侵食と堆積のバランス)を地質学的施肥と命名

し, 集水域のアップランドから低地への物質フローの重要性を指摘して, 低地水田土壌の長期にわたる持続可能性(水田仮説)を説明する新しい視点を提示した。

図2は単位集水域における森林と水田システムの関係を示す概念図である。

3) 水田仮説の提唱: 完全に定量化されてはいないが, 低地水田の持続的生産性は, 集水域からの地質学的施肥作用と灌漑湛水栽培によって, アップランドの畑作的栽培システムの10倍程度に達する。これは, 持続性の高い低地水田1 haの開発がアップランドの森林10 haの再生を可能にすることを意味し, 地球環境保全に果たす水田農業の

役割に、新たな評価の視座を与える。

謝辞 本研究を開始するきっかけを与えていただいた久馬一剛京大名誉教授、廣瀬プロジェクトの代表者として終始御鞭撻いただいた廣瀬昌平日本大学名誉教授および共同研究者のメンバーに感謝します。Texas A and M大、A. S. R. Juo 教授 (当時 IITA 国際熱帯農学研究所部長) および小崎 隆京大教授には研究スタート時にお世話になりました。本研究の実施を支援していただいた島根大学の松井佳久教授、島根大に新設された土壤圏生態工学研究室の留学生を含む学生諸君に感謝します。昨年末 IITA (ナイジェリア) にて事故のため 37 歳の若さで急死した石田 (藤間) 英子博士 (当時 IITA 研究員) には心から哀悼の意を表するとともに、楽しい調査研究を一緒に行えたことを感謝し、本受賞を彼女の霊に捧げたいと思います。

おもな業績

- 1) Hirose, S. and Wakatsuki, T.: Restoration of Inland Valley Ecosystems in West Africa, 600 pp., Norin Tokei Kyokai, Tokyo (2002)
- 2) 若月利之・望月克哉: 焼畑移動耕作による森林の破壊、農地劣化, ナイジェリア編, 地球環境のための農業資源管理計画基礎調査報告書, 高瀬国雄・中島正博編, p. 121~188, 国際開発センター, 東京 (1990)
- 3) 若月利之: サブサハラ熱帯アフリカの再生と水田農業の可能性, 内陸小低地でのアフリカ型水田農業の展開戦略, 熱帯農業, **35**, 306~314 (1991)
- 4) 若月利之: 西アフリカの内陸小低地でのアフリカ型水田農業の展開戦略—今後 20 年で 200 万ヘクタールを目標とする研究, 開発, 普及試案, 国際農林業協力, **15**, 2~13 (1992)
- 5) 若月利之: 熱帯の土と人と持続的農業, 熱帯アフリカの土と農業の再生と水田農業の可能性, *Tropics*, **3**, 3~17 (1994)
- 6) 若月利之: 地域間比較研究から地域間交流をめざして—西アフリカのサバンナ帯への東北タイ農耕の応用, 地域研究論集, **1**, 92~109 (1997)
- 7) 廣瀬昌平・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, 504 pp., 農林統計協会, 東京 (1997)
- 8) 若月利之: 水田と森のエコテクノロジーによるアフリカと日本の再生プラン, 地球環境, **5**, 45~62 (2000)
- 9) Wakatsuki, T., Otto, E., Andah, W. E. I., Cobbina, J., Buri, M. M. and Kubota, D. (ed.): Integrated Watershed Management of Inland Valley in Ghana and West Africa: Ecotechnology Approach, Final Report on JICA/CRI Joint Study Project, 337 pp., CRI, Kumashi, Ghana and JICA, Tokyo (2001)
- 10) Ishida, F., Tian, G. and Wakatsuki, T.: Indigenous knowledge and soil management; in Sustaining Soil Fertility in West Africa, ed. G. Tian, F. Ishida and D. Keatinge, p. 91~109, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Special Publication No. 58, Madison, Wisconsin, USA (2001)
- 11) 若月利之・久馬一剛: 熱帯土壌の持続的管理—アフリカを中心として, 熱帯土壌学, 久馬一剛編, p. 407~428, 名古屋大学出版会, 名古屋 (2001)
- 12) Kyuma, K. and Wakatsuki, T.: Ecological and economic sustainability of paddy rice systems in Asia; in *Agriculture and the Environment: Bridging Food Production and Environmental Protection in Developing Countries*, ed. A. S. R. Juo and R. D. Freed, p. 139~159, American Society of Agronomy, Madison, U.S.A. (1995)
- 13) Issaka, R.N., Masunaga, T., Kosaki, T. and Wakatsuki, T.: Soils of inland valleys of West Africa, general fertility parameters. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **42**, 71~80 (1996)
- 14) Issaka, R. F., Ishida, F., Kubota, D. and Wakatsuki, T.: Geographical distribution of selected soil parameters of inland valleys in West Africa. *Geoderma*, **75**, 99~116 (1997)
- 15) Buri, M. M., Ishida, F., Kubota, D., Masunaga, T. and Wakatsuki, T.: Soils of flood plains of West Africa: General fertility status. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **45**, 37~50 (1999)
- 16) Hayashi, K., Fashola, O. O., Masunaga, T. and Wakatsuki, T.: Indigenous soil knowledge for sustainable agricultural development in the Sahel zone of Niger, West Africa. 1: Soil quality characterization of small inland valley watershed 2: Indigenous soil classification system. *Tropics*, **9**, 245~273 (2000)
- 17) Buri, M. M., Masunaga, T. and Wakatsuki, T.: Sulfur and zinc levels as limiting factors to rice production in West Africa lowlands. *Geoderma*, **94**, 23~42 (2000)
- 18) Asubonteng, K. O., Kubota, D., Hayashi, K., Masunaga, T., Andah, E. I., Otto, E. and Wakatsuki, T.: Characterization and evaluation of inland valley watersheds for sustainable agricultural production: Case study of semi-deciduous forest zone in the Ashanti region of Ghana. Effect of a Sawah-based farming system on rice cultivation in the inland valley bottom of the Ashanti region, Ghana. *Tropics*, **10**, 539~564 (2001)
- 19) 若月利之: 内陸小低地における西アフリカ型稲作, アフリカと熱帯圏の農耕文化, 渡部監修・高村編, p. 95~123, 大明堂, 東京 (1995)
- 20) Ishida, F., Kamidouzono, A. and Wakatsuki, T.: Indigenous rice based lowland farming systems of Nupe, Nigeria. *Jpn. N. Trop. Agr.*, **42**, 18~28 (1998)
- 21) 若月利之: 西アフリカにおける環境保全型総合農村開発の試み, 開発学研究, **9**, 25~37 (1998)
- 22) Wakatsuki, T. and Rasyidin, A.: Rates of weathering and soil formation. *Geoderma*, **52**, 251~263 (1992)
- 23) Wakatsuki, T., Rasyidin, A. and Naganawa, T.: Multiple regression method for estimating rates of weathering and soil formation in watersheds. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **39**, 153~159 (1993)
- 24) 若月利之・三輪睿太郎: 縄文時代の人口密度分布と土壌の肥沃度, 筑波大学先史学・考古学研究, **4**, 31~43 (1993)
- 25) Rasyidin, A. and Wakatsuki, T.: Characterization of precipitation and river water chemistry for measuring rates of weathering and soil formation in watershed. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **40**, 319~332 (1994)
- 26) Wakatsuki, T., Shinmura, Y., Otto, E. and Olanian, G.: African based sawah system for the integrated watershed management of small inland valley in West Africa. Water Reports 17, Institutional and Technical Opinion in the Development and Management of Small-Scale Irrigation, p. 56~79, FAO, Rome (1998)