

# 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

近畿大農 若月利之

Guinea, Aug.02



Sierra Leoneの里山  
低地, Jan.89

Sub Sahara Africaの緑の革命の前提は水田区画など水と土の管理が可能な農民圃場の存在



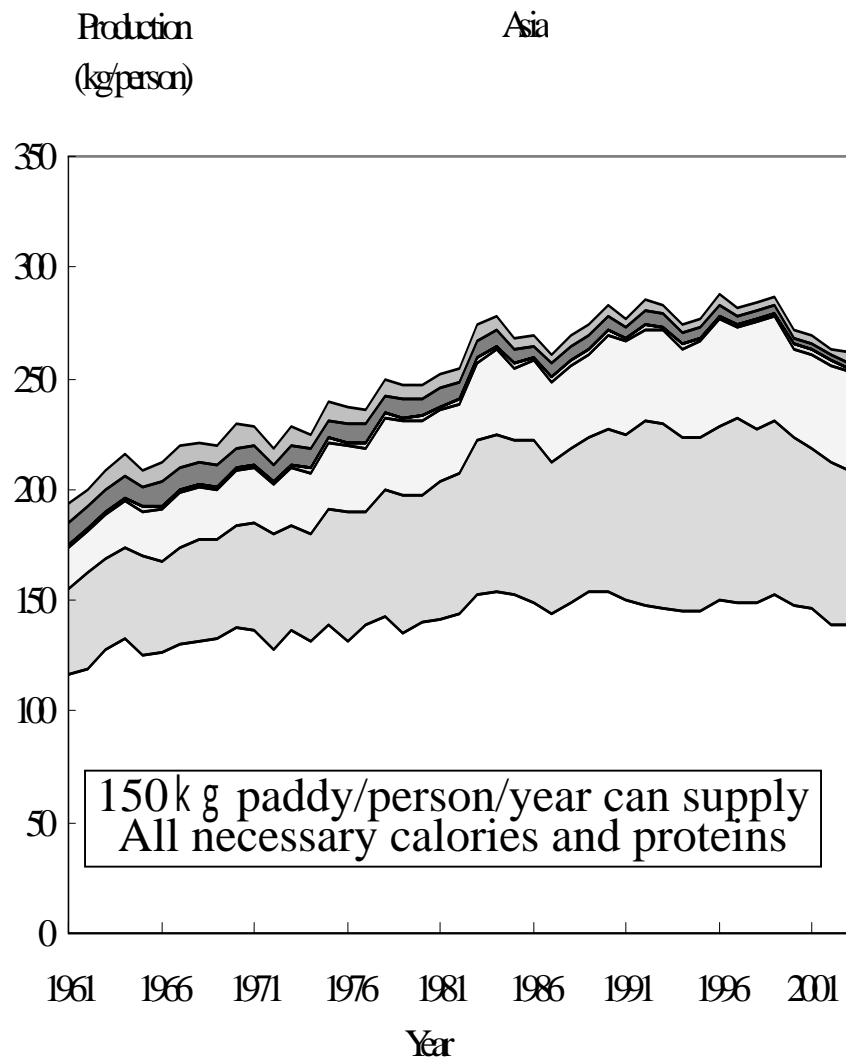
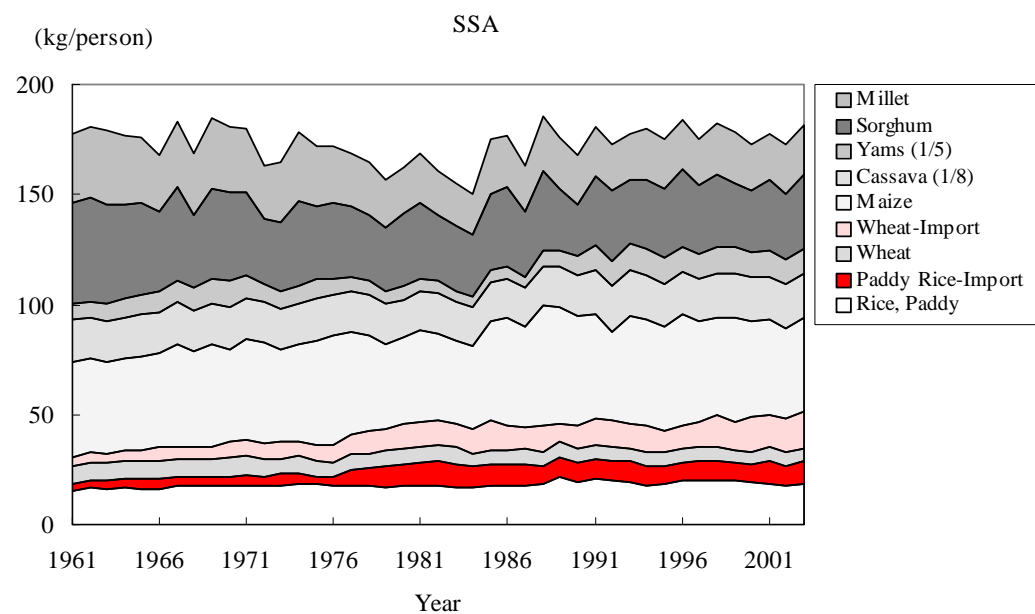
基盤S、ヌペ人伝統の準水田, Nigeria site



水田養魚池

基盤S ガーナ水田 (Sawah) project site

# サブサハラアフリカ(SSA)における過去40年の一人当たりの全穀物生産量(kg/person)をアジアと比較



緑の革命の実現していないサブサハラアフリカの一人当り全穀物生産量はアジアに比べかなり小さい(ヤムとキャッサバは水分と蛋白含量で補正して比較した)。栽培穀物種は極めて多様であるが、伝統的作物のミレット(唐人ピエ)とソルガム(シコクピエ)の生産量は減少し、メイズ、米の生産量は増加した。近年、米と麦の輸入が急増しつつある。麦の生産ポテンシャルは小さいが、生態環境から見た米生産ポテンシャルは極めて大きい。特に、西アフリカのコム生産ポテンシャルはサブサハラアフリカ全体の80%を占める。

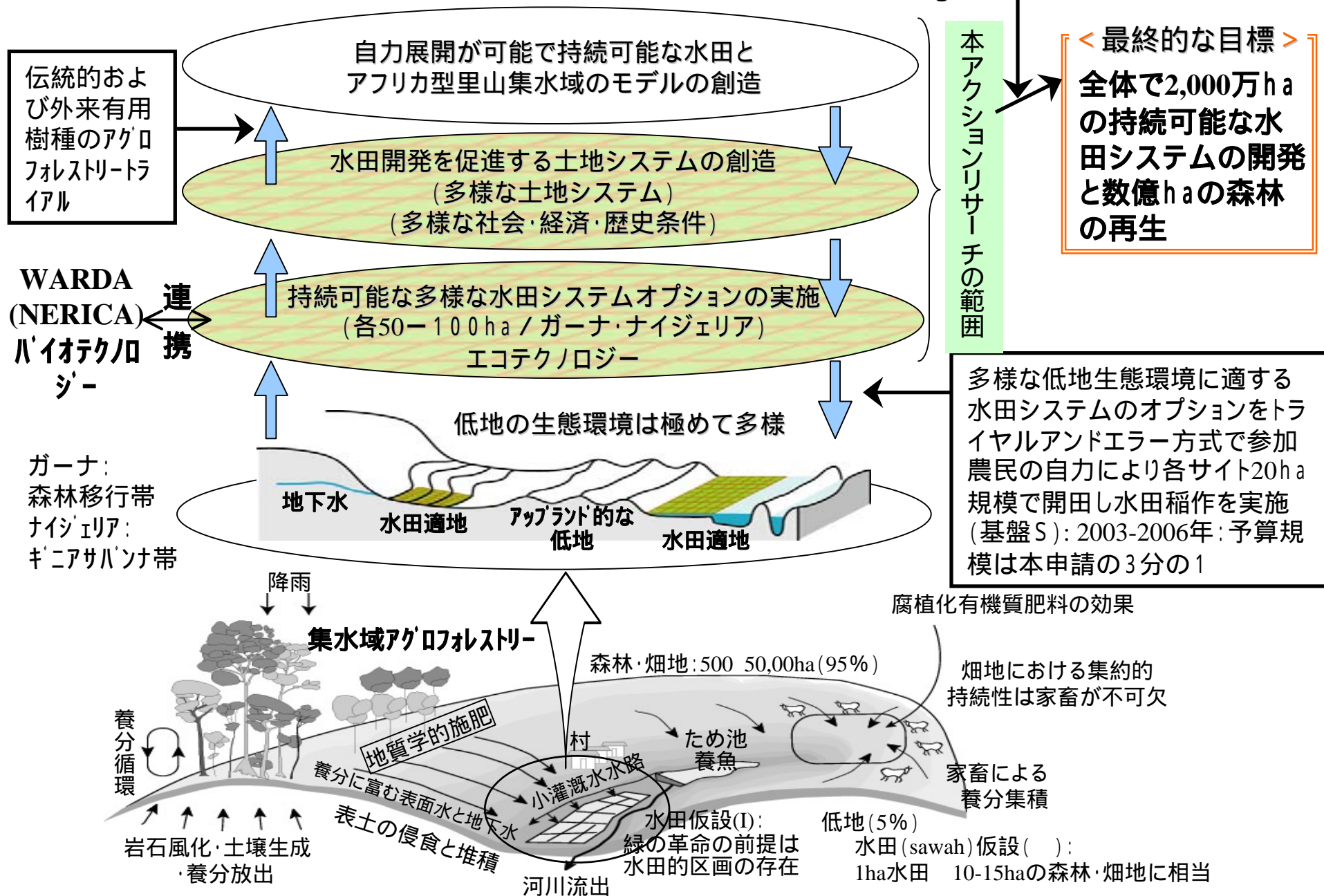
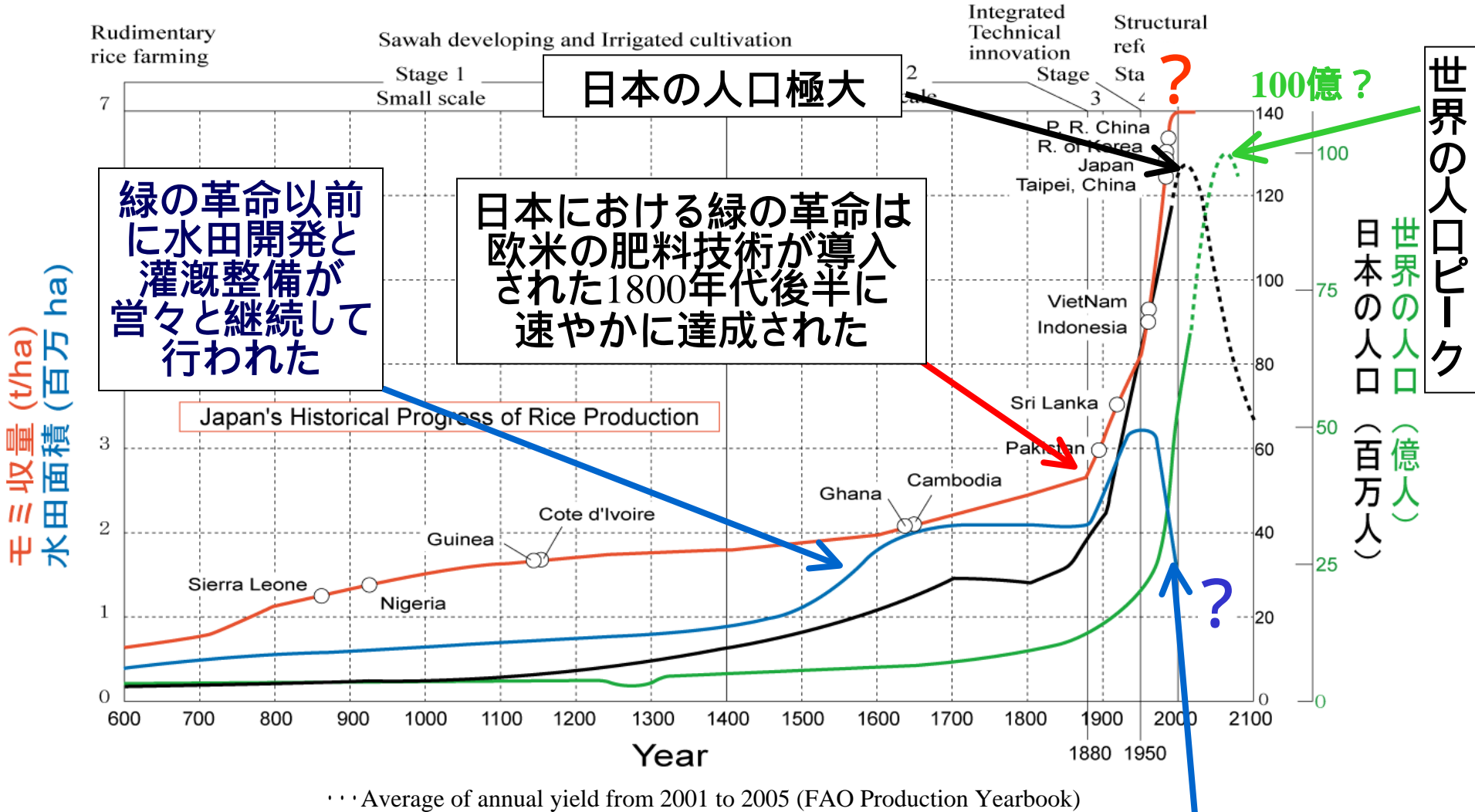


図. 本アクションリサーチの内容: アフリカ型里山集水域の創造

- サブサハラアフリカでの緑の革命の実現を目指して、1970年代初頭よりIITA(国際熱帯農業研究所)やWARDA(アフリカ稲作センター)が設置され、アジアの成功戦略を踏襲し、品種改良を中心に研究してきたが、40年後の今でも実現していない。停滞するアフリカの象徴となっている。2006年8月、ダラエスサラームでの第1回全アフリカ稲作会議でも、又、国連のMDGsでも、緑の革命実現は、悲願、最大のターゲットになっている。
- アジア・ラテンアメリカでの緑の革命の成功: 稲塚権次郎が戦前に育成した農林10号をベースにN.Borlaug等が高収量品種を育成し、1970年ノーベル平和賞を受賞。CIMMYT(国際トウモロコシ・小麦センター)やIRRI(国際稲研究所)の成功は品種改良(バイオテクノロジー)がカギとなった。
- WARDAもバイオテクノロジーにより10年前にNERICA(new rice for Africa: アジア稲とアフリカ稲の雑種)の開発に成功したが、緑の革命への道は見えていない。

大化の改新以来の日本の水田面積と籾収量及び人口の変遷。日本の人口は現在2007年がピーク。今後は減少する。その前に水田が減少。



1900-2000年は日本の人口ピークの時代、2000-2060年ころが世界の人口ピークがくると予想される。地球環境問題と南北問題のピークもこれから。  
**日本の人口動態と社会は世界の動態を60年先取りしている。**

# サブサハラアフリカにおける 緑の革命実現の中心技術は何か？

(1) アジアやラテンアメリカの緑の革命

**バイオテクノロジー：品種改良**：農林10号(矮性遺伝子sd1)が発端 となった高収量品種

(2) 日本の緑の革命：明治期に欧米から入った 化学肥料技術

(3) サブサハラのアフリカの緑の革命：CGセンターやSG2000の誤り：40年前のアジアと同じ成功戦略(品種改良)が有効ではないことは、過去30年の活動で明らか。

(4) **エコテクノロジー：稲栽培地の生態環境の改良**：水田整備が緑の革命を可能にするというのが水田仮説。

**問題はアジアとアフリカの生態環境と社会経済環境の違いと、この分野における研究開発普及活動の少なさ。**

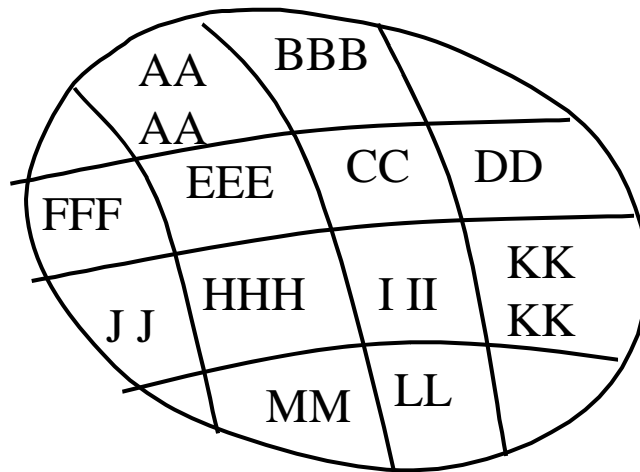
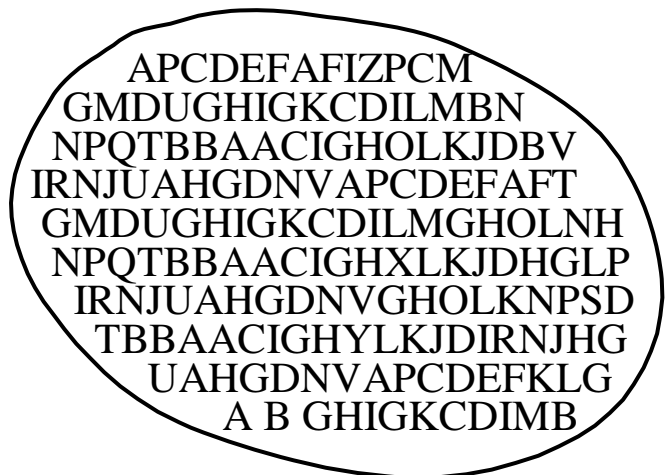
# 緑の革命の3要素技術の統合が不調

- 高収量品種：国際農業研究機関のターゲット：NERICAをはじめ多数の高収量品種は手に入るのに、農家圃場では低収。
- 灌漑：政府開発援助(ODA)のターゲット：開発コストが高く、又、水管理を始め、施設の維持管理が効率的にできない。
- 肥料と農薬：工業化のターゲット：施肥しても十分な収量が得られない。低収なので農薬も無駄。収量4t/haの達成がコストエフェクティブネスの分岐点。

サブサハラのアフリカでは3要素技術を受け入れる前提条件に欠けている。その前提条件を満足させるためのカギは水管理技術(エコテクノロジー)の研究・開発・普及。

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。農民の圃場は極めて不均質で多様な生態環境が混在し、区画がない。圃場環境の改良は困難である。

水田生態工学：個々の水田は多様であるが、似た地形面の環境毎に区画されている。地形面に応じて区画された圃場面は、比較的均質で、水管理が可能である。このように環境が区画されれば、各圃場は毎年の努力の継続で改良が可能となり、持続可能な管理ができる。区画されることにより、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



多様な混作体系である：生態系多様性  
 多様な作物が作付けされる：種多様性  
 多様な品種が混在 ( A B C D )：遺伝的多様性

pure variety A  
 pure variety B  
 pure variety C  
 pure variety D

肥料や地力維持技術、灌漑技術、高収量品種等の緑の革命技術は適用できない：緑の革命は不可能

前提条件が満たされ  
 緑の革命の3要素技術  
 の適用が可能になる

図：科学技術を適用するための前提条件の欠如：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である。道路やダムや灌漑水路等、線としてのインフラ整備以前に、農民圃場の整備が必要。国作りの基盤は農民の圃場作りにある。サブサハラのアフリカ独特の生態環境と社会経済条件及び歴史的経過に由来する。

# 水田という言葉と概念の不在

- 2004年12月末の巨大津波ではTsunamiという概念と言葉の不在が被害を拡大した
- 西アフリカでは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
- 英単語のPaddyは水田を適切に表現する言葉ではない。稲植物や籾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。

# No proper English Technical Term to describe 水田 (suiden)

My Proposal

水田 (suiden) = **SAWAH** (Malay-Indonesian)

	English	Indonesian	Chinese (漢字)
Plant	Rice	Nasi	米, 飯, 稻
	Paddy ←	..... Padi	稻, 粳
Environment	? (Paddy)	← Sawah	水田

Paddy soil science = 稻土壤学 水田土壤学

Paddy yield: 粳収量

# バイオテクノロジーとエコテクノロジーの比較

- (1) **水不足**：深根性、C4性、浸透圧調節遺伝子等  
溜池、堰、井戸、畦、床締、均平化、代掻き、  
土・水管理-----アフリカの生態環境では？
  - (2) **貧栄養**：りん酸、微量元素等吸収促進遺伝子  
湛水や土・水管理、有機物管理で酸化・還元やpH  
調節、施肥、混作----アフリカの生態環境では？
  - (3) **雑草**：早い成長、光競合性遺伝子  
湛水や移植や土・水管理、混作等----アフリカの生態  
環境では？
  - (4) **病害虫**：各種病害虫耐性遺伝子  
施肥や土・水管理、混作----アフリカの生態環境では？
- 問題はBiotechnologyはシンプルで新しく、流行の分野、Ecotechnology  
は伝統技術で、文化に関わる面が強く、研究開発に値するよう見え  
ない。又、現地の生態環境と社会の特徴を**広く深く長く**知る必要がある。

西アフリカで一般的な陸稲は雑草との戦いに負ける, Bida、ナイジェリアサイト



生態工学的農耕文化のない場合



シエラレオーネの里山低地

Nupe's traditional partial water control system



不完全ながら水管理の可能な、ヌペ人の伝統的準水田稲作(ナイジェリアサイト)

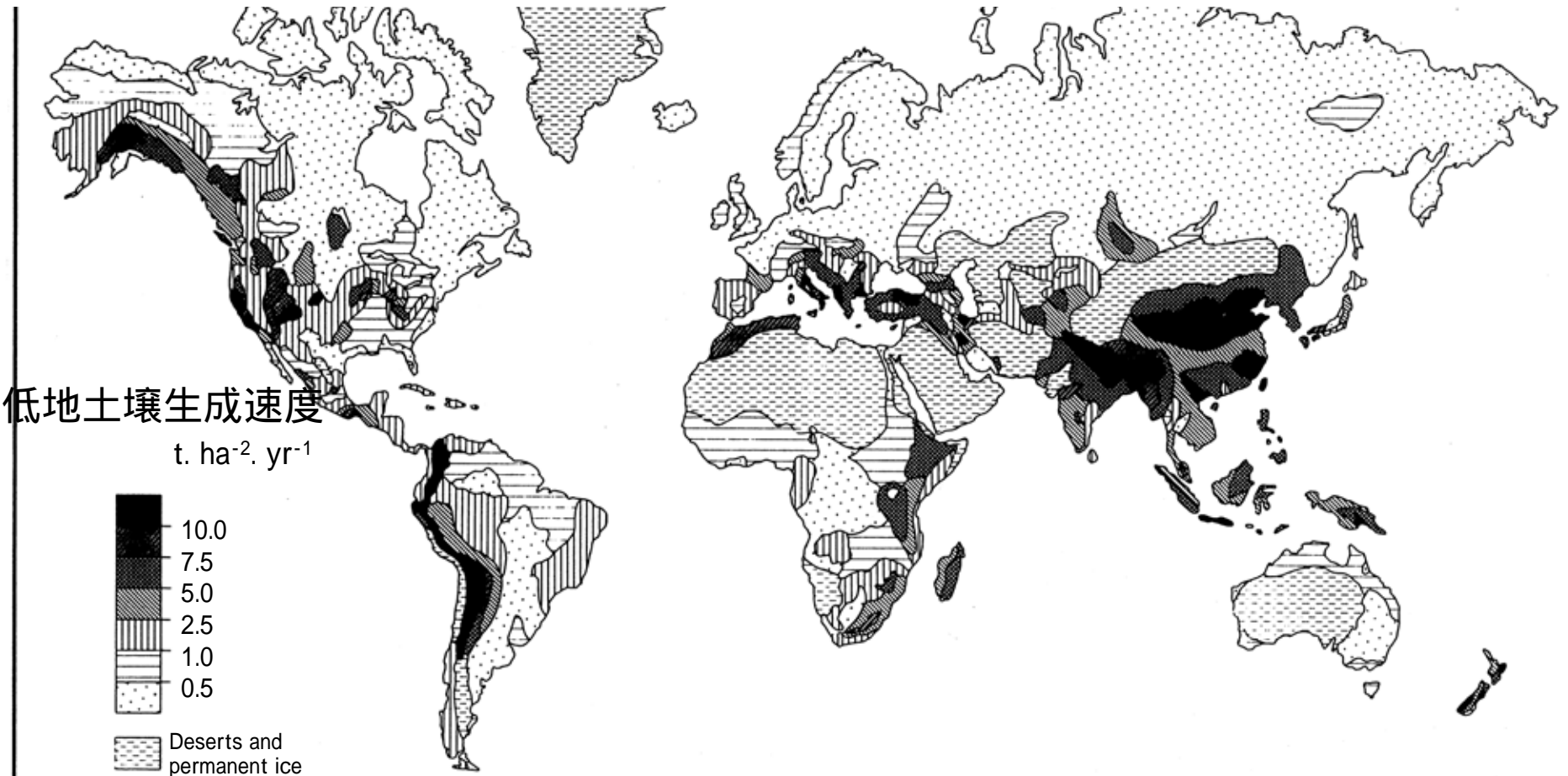


農民のイ稲作地で水田農業さえ可能であれば  
たいていの品種は5t/ha以上の収量は簡単  
(品種ではなくて栽培環境の改良が問題)  
ナイジェリアサイト

# 農家の圃場の環境改良(エコテクノロジー)の効果(ガーナで試験)

品 種 の 効 果 バ イ オ テ ク ノ ロ ジ ー	Entry NO.	Cultivar	灌漑水田		天水田		陸稻的栽培	
			高投入	低投入	高投入	低投入	高投入	低投入
			(t/ha)		(t/ha)		(t/ha)	
	1	WAB(NERICA)	4.6	2.9	2.8	1.6	2.1	0.6
	2	EMOK	4.0	2.8	2.9	1.3	1.4	0.5
	3	PSBRC34	7.7	3.5	3.0	2.1	2.0	0.4
	4	PSBRC54	8.0	3.7	3.8	2.1	1.7	0.4
	5	PSBRC66	5.7	3.3	3.8	2.0	1.8	0.4
	6	BOAK189	7.0	3.8	3.7	2.0	1.4	0.3
	7	WITA8	7.8	4.2	4.4	2.1	1.8	0.5
	8	Tox3108	7.1	4.1	4.0	2.3	2.3	0.6
	9	IR5558	7.9	4.0	3.8	2.0	1.8	0.5
	10	IR58088	7.7	4.0	3.7	1.8	1.4	0.3
	11	IR54742	7.7	4.3	4.0	2.2	1.9	0.4
	12	C123CU	6.9	4.1	4.2	1.9	2.0	0.4
	13	CT9737	6.5	4.0	4.0	1.7	1.9	0.6
	14	CT8003	7.3	3.8	3.8	1.7	2.0	0.5
	15	CT9737-P	8.2	4.0	4.3	1.8	1.2	0.5
	16	WITA1	7.6	3.6	3.3	1.8	0.9	0.3
	17	WITA3	7.6	3.5	4.1	2.0	1.3	0.5
	18	WITA4	8.0	4.1	3.7	2.1	1.5	0.3
	19	WITA6	8.0	3.5	4.0	2.3	1.4	0.3
	20	WITA7	7.3	3.7	3.8	2.2	2.0	0.4
	21	WITA9	7.6	4.4	4.5	2.8	2.0	0.6
	22	WITA12	7.6	4.0	3.8	1.9	1.8	0.4
	23	GK88	7.5	3.8	3.5	2.0	1.8	0.5
		Mean(n=23)	7.2	3.8	3.8	2.0	1.7	0.4
		収量の範囲	(4.0-8.2)	(2.8-4.4)	(2.8-4.5)	(1.3-2.8)	(0.9-2.3)	(0.3-0.6)
		SD	1.51	0.81	0.81	0.45	0.44	0.12

サブサハラのアフリカの水田は持続可能か？ アジアモンスーンがアジアにあおける活発な土壌生成と侵食と低地へ堆積をもたらし1億ヘクタールの水田を支えているが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程度である(基盤S)。一方、サブサハラのアフリカには数億haの低地が分布している。水田適地の低地の見極めが重要。



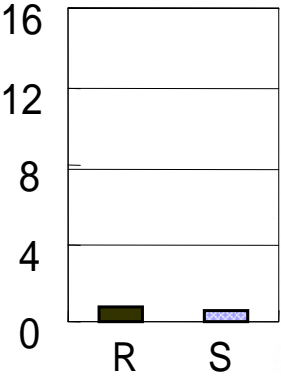
世界における土壌侵食速度の分布 (Walling1983)

# 年間、ヘクタール当たりトンで表した、土壌の生成速度と岩石の風化速度の測定例(日本、インドネシア、アフリカ、北米での例:基盤S)

島根県 日本 意宇川

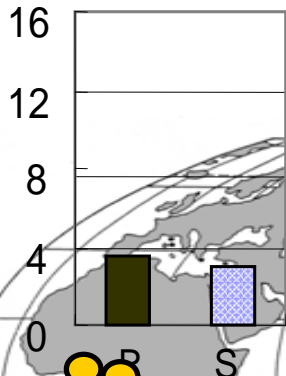
(花崗岩)

R=0.83 (t/ha/y)  
S=0.60 (t/ha/y)  
Z=0.40 (t/ha/y)



凝灰岩

R=3.5 (t/ha/y)  
S=2.9 (t/ha/y)  
Z=1.20 (t/ha/y)

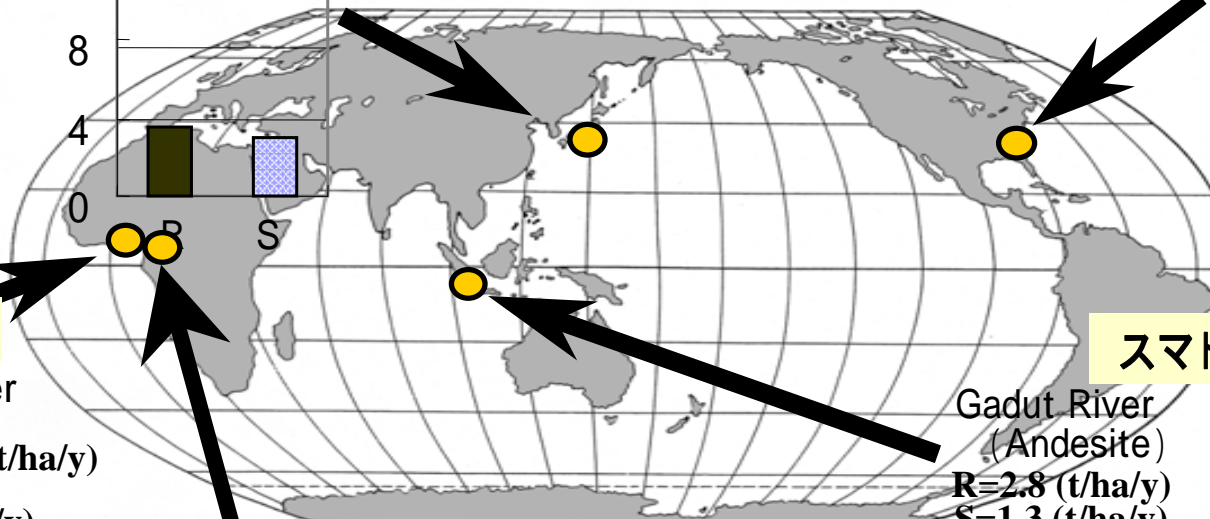
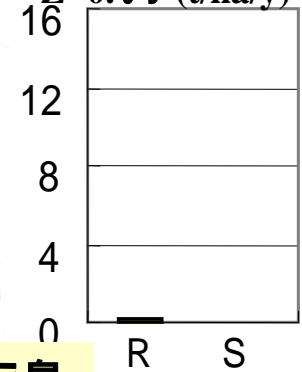


ニューハンプシャー州

Hurbbardbrook

(Acid Base Mix)

R=0.31 (t/ha/y)  
S=0.16 (t/ha/y)  
Z=0.09 (t/ha/y)

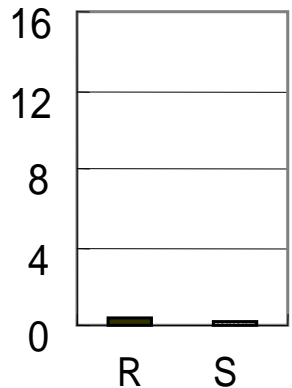


Ghanaサイト

Biem River  
(Gneiss)

R=0.25, S=0.12 (t/ha/y)

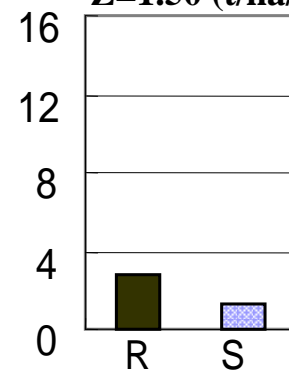
Z=0.18 (t/ha/y)



スマトラ島

Gadut River  
(Andesite)

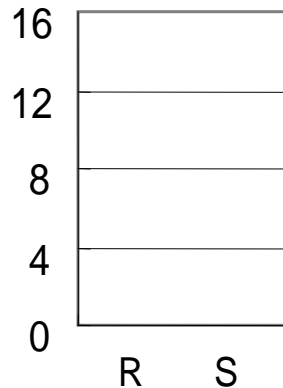
R=2.8 (t/ha/y)  
S=1.3 (t/ha/y)  
Z=1.50 (t/ha/y)



Nigeriaサイト

Emikpta River  
(Sandstone)

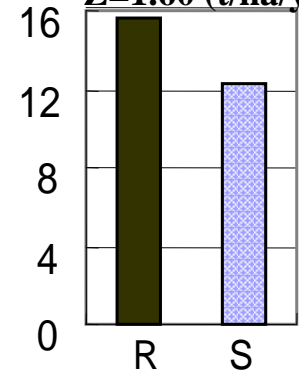
R=0.07 (t/ha/y)  
S=0.0 (t/ha/y)  
Z=0.16 (t/ha/y)



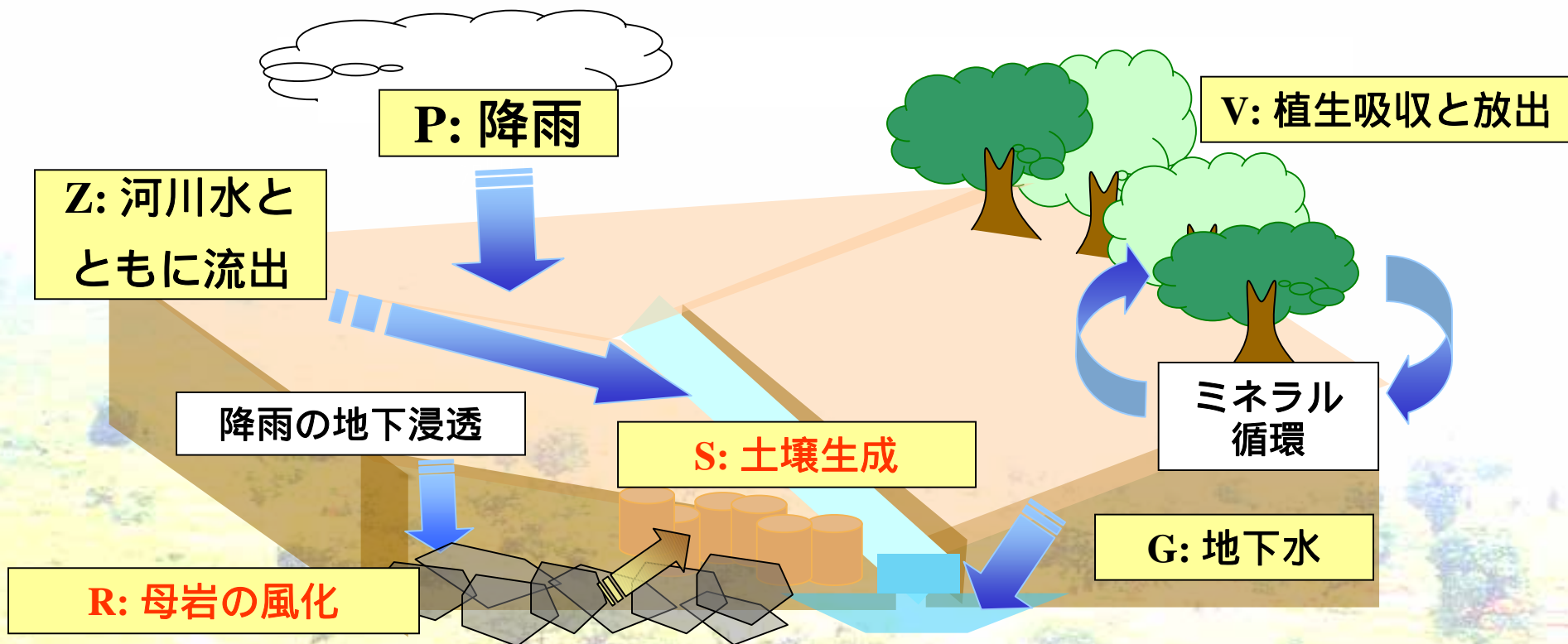
Casrian River

(Vol. Ash)

R=15.6 (t/ha/y)  
S=12.3 (t/ha/y)  
Z=1.60 (t/ha/y)



# 集水域におけるミネラル（無機元素）の動態



無機元素の集水域における地球化学的マスバランス:

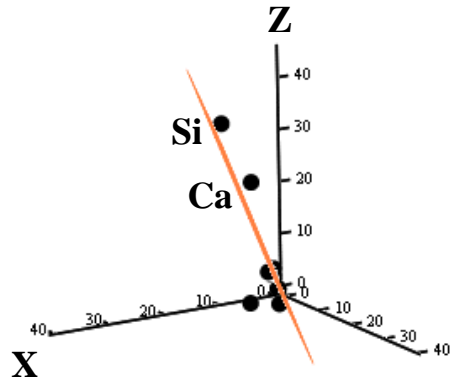
$$\text{降雨} + \text{母岩} = \text{土壌} + \text{河川水} + \text{地下水} + \text{植生}$$

山地の成熟林集水域では地下水への寄与と植生への新規の吸収は無視できるので

$$\text{河川よりの流出量} - \text{降雨の寄与} = \text{岩石の風化による放出量} - \text{土壌への残留量}$$

# 集水域平面方程式：岩石風化、土壤生成、河川の水質形成の統合

R: 岩石風化速度 (t / ha / y)  
 S: 土壤生成速度 (t / ha / y)



$$D Di - P Pi = Ri \times R - Si \times S$$

河川 降雨 岩石 土壤

G.Gadut(インドネシア)

$R=2.8 \quad S=1.3 \text{ (t/ha/y)}$

平面からのずれが  
誤差の大きさを示す

$$Z(x,y) = 2.8x - 1.3y$$

R 速度  
(傾き=2.8)

Ri: 岩石 (g / t)

S 速度  
(傾き= - 1.3)

Si: 土壤 (g / t)

流出量 - 降雨  
DDi - P Pi  
( $10^4\text{g / ha}$ )

$$Rw = \begin{pmatrix} Si \\ Na \\ K \\ Ca \\ Mg \\ Al \\ Fe \\ Si \\ Mn \\ Ti \\ Zn \\ Sr \\ P \end{pmatrix} \times S + \begin{pmatrix} DDi - P Pi \\ Na \\ K \\ Ca \\ Mg \\ Al \\ Fe \\ Si \\ Mn \\ Ti \\ Zn \\ Sr \\ P \end{pmatrix}$$

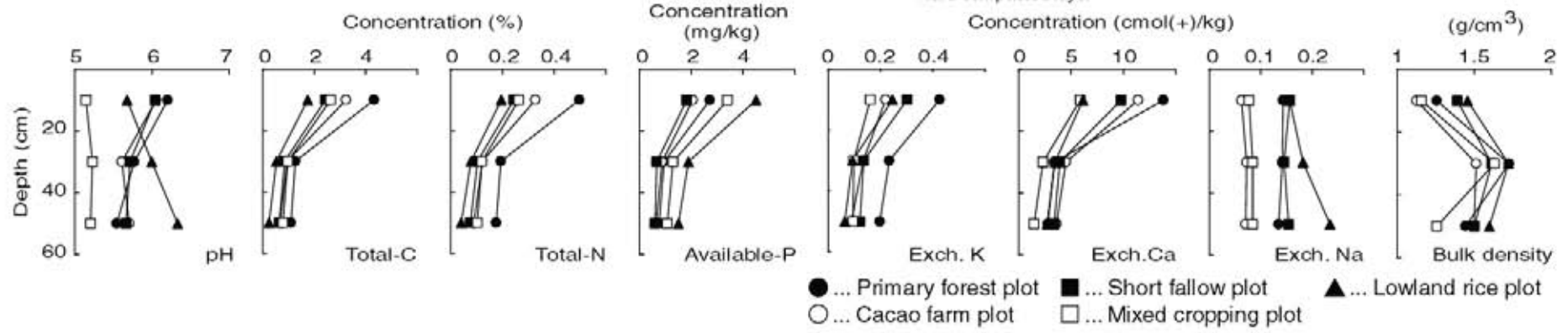
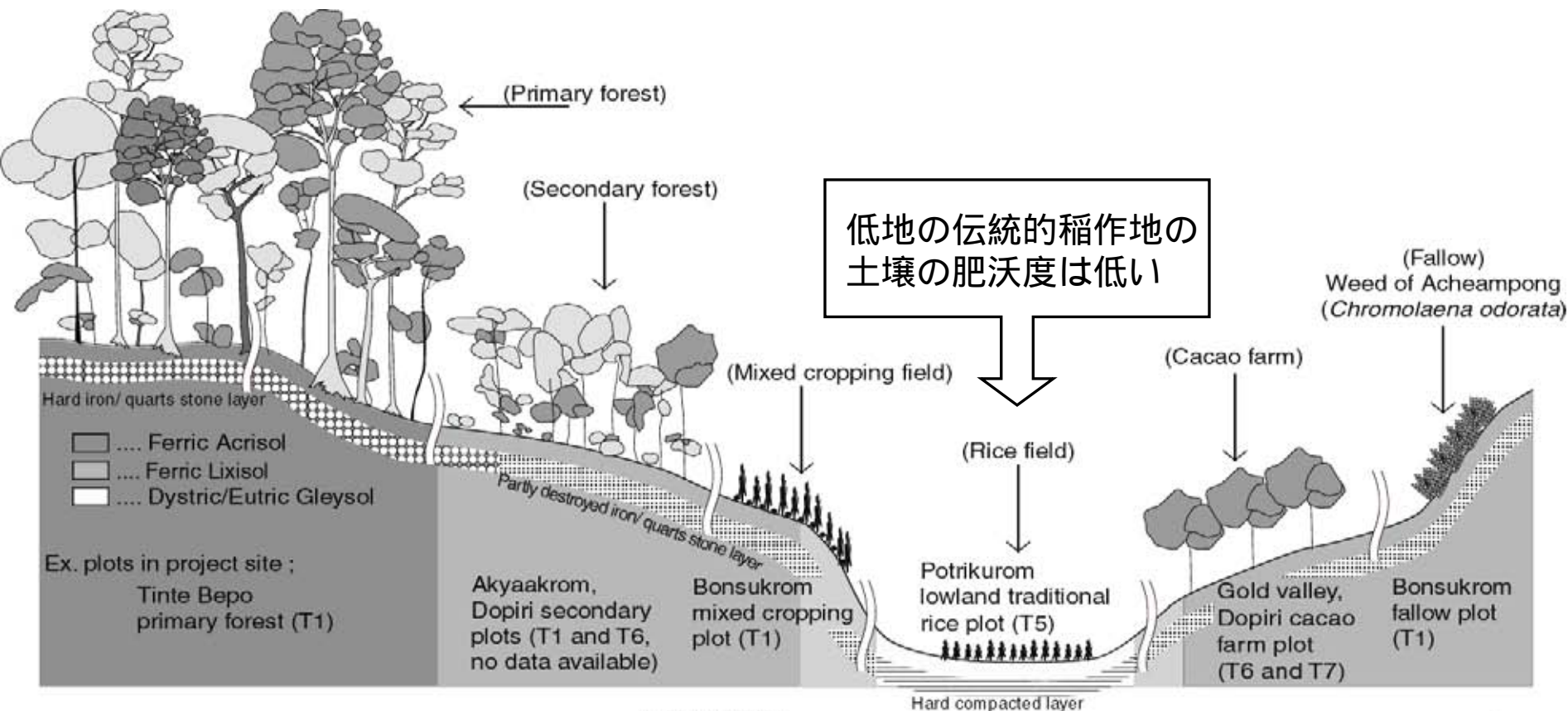
Ri

Na  
K  
Ca  
Mg  
Al  
Fe  
Si  
Mn  
Ti  
Zn  
Sr  
P

$$- Sw = \begin{pmatrix} Ri \\ Na \\ K \\ Ca \\ Mg \\ Al \\ Fe \\ Si \\ Mn \\ Ti \\ Zn \\ Sr \\ P \end{pmatrix} \times R + \begin{pmatrix} DDi - P Pi \\ Na \\ K \\ Ca \\ Mg \\ Al \\ Fe \\ Si \\ Mn \\ Ti \\ Zn \\ Sr \\ P \end{pmatrix}$$

Si

Na  
K  
Ca  
Mg  
Al  
Fe  
Si  
Mn  
Ti  
Zn  
Sr  
P



# ガーナサイトの里山集水域の典型的な土地利用と土壌の肥沃度

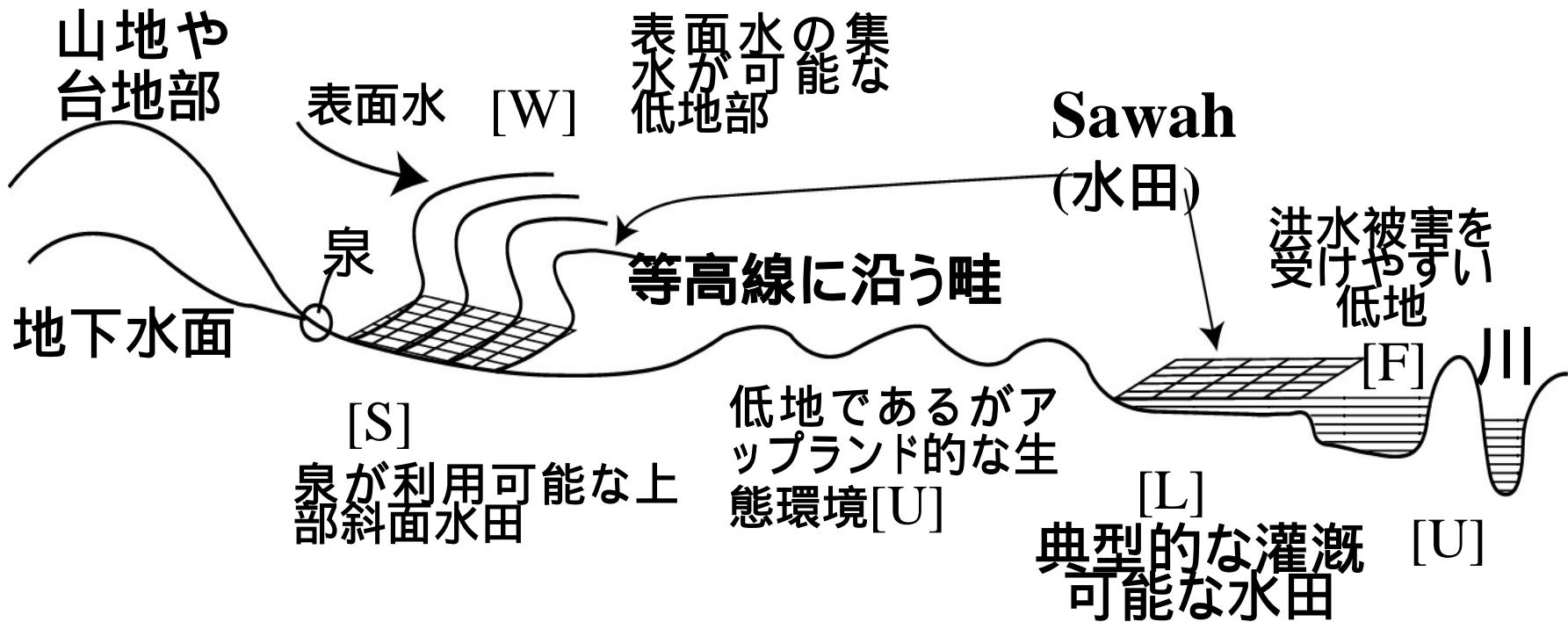
# サブサハラアフリカにおける各種低地の分布面積

(Hekstra, Andriessse, Windmeijer 1983 & 1993, )

低地の種類	面積 (百万ha)	Percentage(%)
沿海低地	16.5 (3?)	7 (18%)
内陸大低地	107.5 (2?)	45 (2%)
氾濫原	30.0 (5?)	12 (17%)
小低地 (里山低地)	85.0 (10?)	36 (12%)

赤字のカッコ内の数値は若月による水田 (Sawah) 開発可能面積の推定値 (単位: 百万ha)

世界のモンスーン降雨の75%はアジアに分布し、1億haの灌漑水田を支えている。アフリカのモンスーン降雨はアジアの約5分の1、15%であるので最大2000万haの灌漑水田開発ポテンシャルが推定される。



多様な低地面での均平化されて畦のある水田の造成とともに、多様な灌漑オプションがある：天水田、田から田への賭け流し、等高線に沿う畦による集水、泉利用、堰利用、ポンプ利用、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] > [W] > [U]

サブサハラのアフリカの低地面積は約2.5億ヘクタールあるが、低地土壌生成作用がアジアの5 - 10分の1と小さいため、アジアの低地に比べてアップランド的な特性を持つ低地が多く、多様である。この結果、全低地面積の10%以下しか灌漑水田は開発可能でないと推定される。集水域低地の地形や土壌の微小な差と水がかりの差により、きめ細かな線引きが必要である。全低地の10%以下の適地判定が重要となる。

Sahara Desert

サハラ砂漠

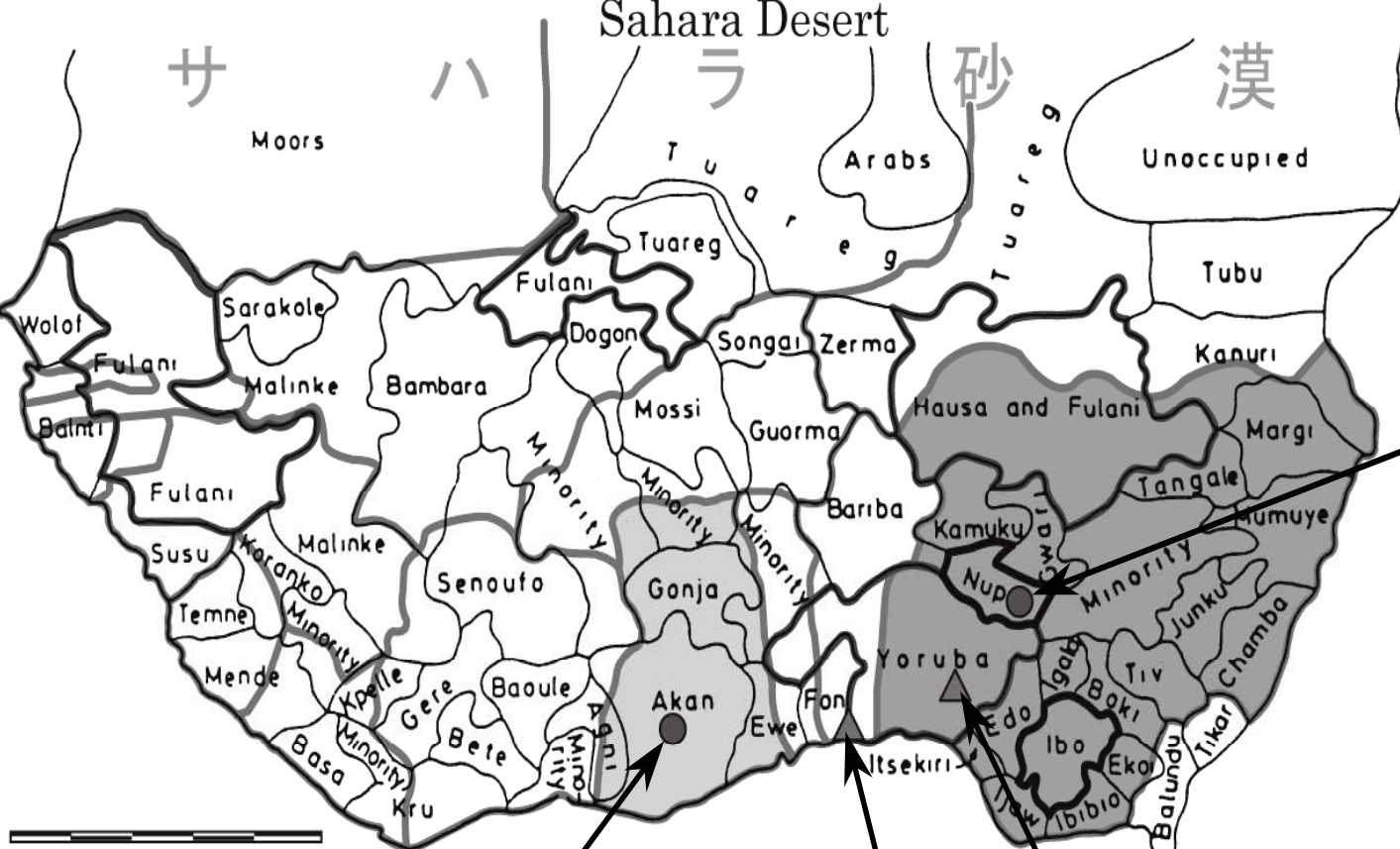
# ナイジェリア

ナイジェリアプロジェクトサイト  
(ギニアサバンナ帯)

ニャンパタ川集水域: 1000 ~ 20,000ha

母材: 砂岩  
降水量: 1,200mm  
収量は 1.5t/ha。

砂質土壌は、厚い帯水層は (天然の地下ダム) を作る。ヌペ人はこの湧水を利用して古くから稲作を行い、日本縄文/弥生水田に類似の「準水田稲作」を発達させた。ヌペの農耕民の土地は、征服民である牧畜民フルベ人(人口の20%程度)も一部所有権がある。即ち、フルベの王の権利が大きい。これに加え、ヌペの王、村のチーフ、拡大家族が重層的に土地を所有している。土地の権利は父系的に相続される。ヌペ人もフルベ人も大部分はモスリムである。



0 160 320 480 640 800km

## ガーナ

ガーナプロジェクトサイト(森林移行帯)  
ビエム川集水域: 100 ~ 50,000ha  
母材: 花崗岩、片麻岩  
降水量: 1,500mm  
焼畑の低地稲作は近年開始された。  
収量は 1t/ha。  
クリスチアンのアシャンテ人が農民の7割で、土地はアシャンティの王族、村のチーフ、拡大家族が重層的に所有。所有権は母系的に相続される。3割は北からの移住民。

国際熱帯農業研究所  
(WIN事務所) (IITA)

アフリカ稲作センター  
(WARDA)

# 西アフリカ：2つのベンチマークサイト

# Farmer organization: ガーナサイト



Biemso, Ashanti, Aug 2005: ガーナサイトの農民と研究協力者



農民グループが自力で開田して稲作を実施しているBiemso村の例, Ashanti, Aug  
2005: ガーナサイト





ナイジェリアサイト、圃場と農民  
グループ、WINの指導風景



# 参加農民と一体で実施する、耕運機による開田と代掻き：ビダ、ナイジェリアサイト



# 過去20年(1984-2003年)の西アフリカにおける各稲作生態毎の生産量と生産性の推移と2015年ころの予測に基づく目標

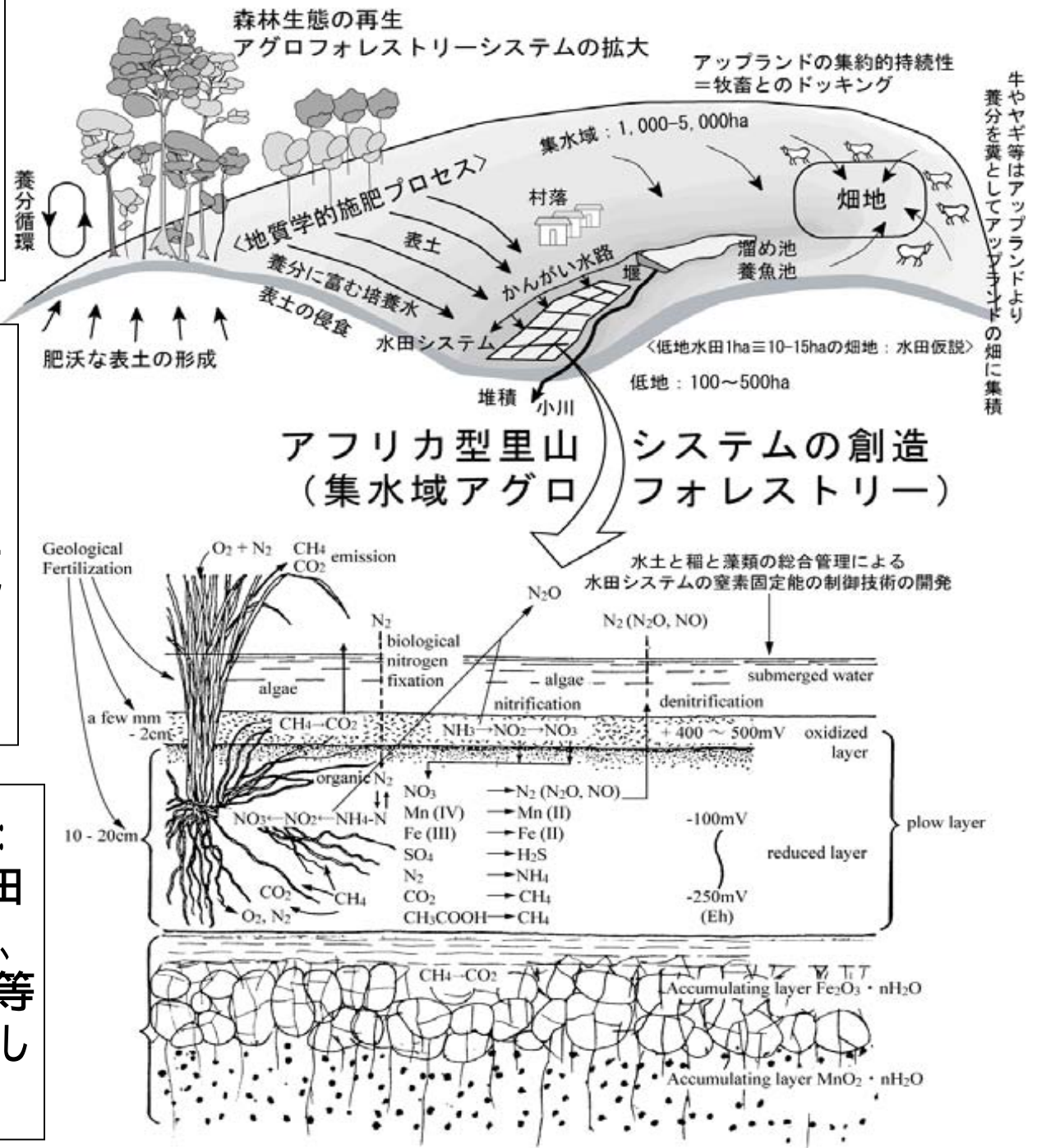
(WARDA strategic plan in 1988, African rice initiative 2002, Sakurai 2003, WARDA strategic plan 2004, FAOSTAT 2005)

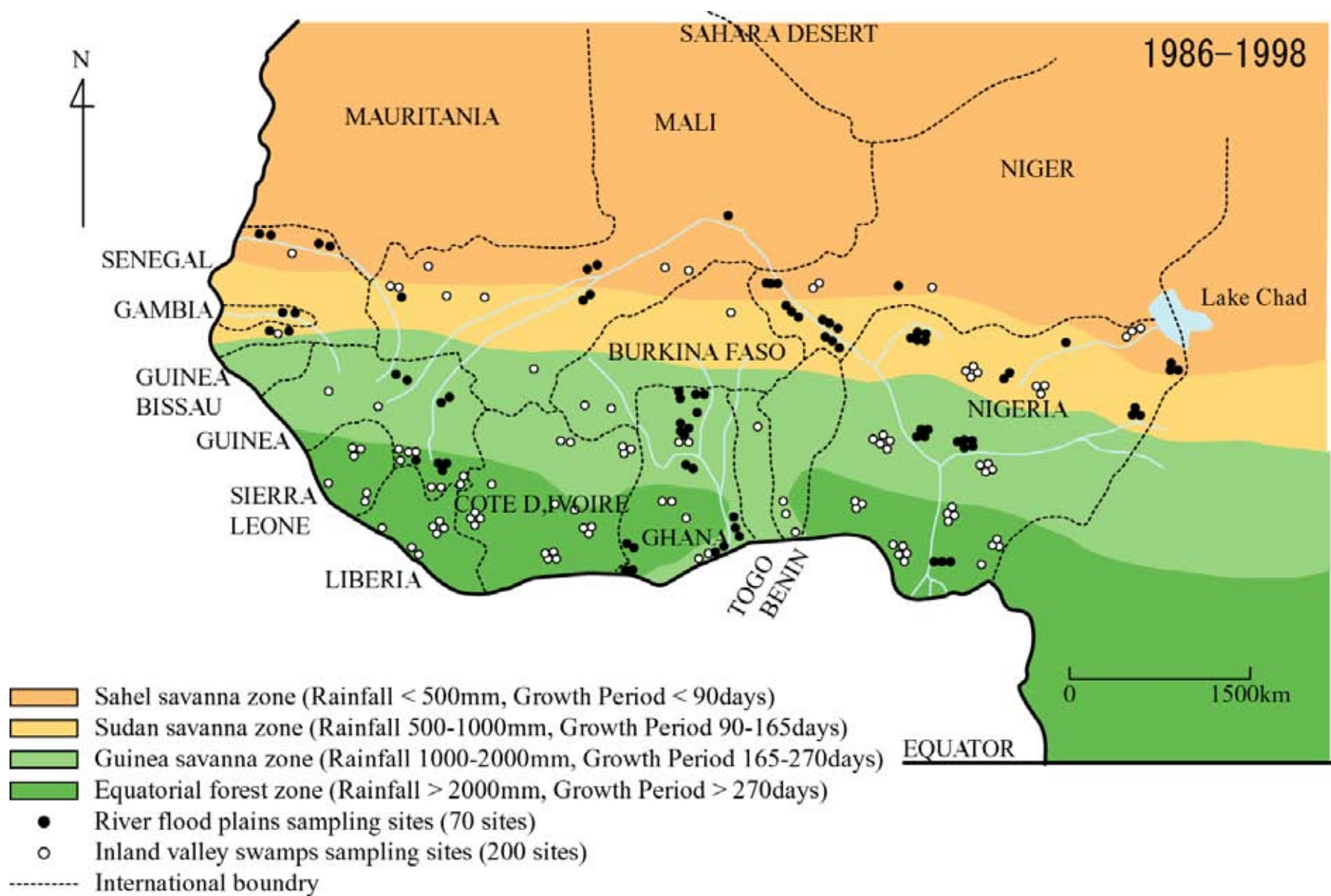
	作付け面積 (百万ha)			生産量 (百万トン)			収量 (トン/ha)		
	1984	1999/03	2015	1984	1999/03	2015	1984	1999/03	2015
<b>陸稲</b>	1.5	1.8	2.0	1.5	1.8	2.0	1	1	1
<b>天水低地稲</b>	0.53	1.8	3.0	0.75	3.4	7.0	1.4	2.0	2.4
<b>灌漑水稻</b>	0.23	0.56	0.80	0.64	1.9	3.0	2.8	3.4	3.8
<b>合計</b>	2.6	4.7	6.0	3.4	7.7	14	1.3	1.6	2.4
<b>陸稲の寄与 (%)</b>	57%	40%	30%	42%	23%	13%	収量増は期待できない		

**集水域生態工学：集水域**  
**アグロフォレストリー：低地**  
**の水田システムの集約的**  
**持続性の高さを説明する**  
**マクロの生態工学的機構**

**アフリカ型里山創造：**  
**土壌肥沃度が低く、**  
**水循環量が不十分な**  
**アフリカ集水域で持続**  
**可能な集約化を図る**  
**戦略となる。**

**ミクロの生態工学的機構：**  
**多機能性湿地としての水田**  
**は窒素、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。**

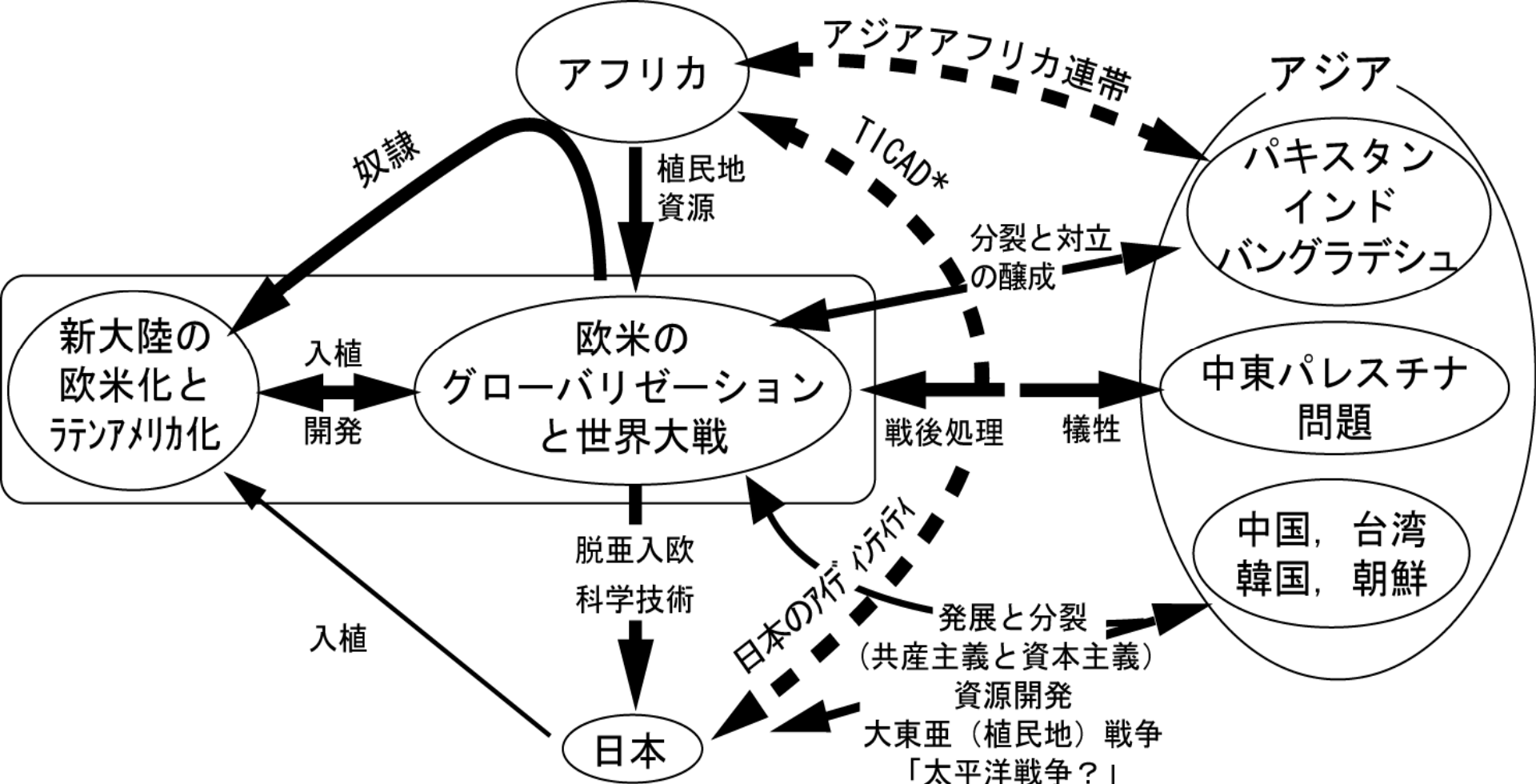




1986-1998年の間に西アフリカ全域で実施した稲作生態と稲作地  
 土壌の調査サイト (氾濫原70ヶ所、アフリカ型里山小低地200ヶ所：  
 Buri and Wakatsuki, 2000)

表. 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.  
(\* 川口・久馬1977)

Location	有機炭素 (%)	窒素 (%)	有効態リン (ppm)	交換性塩基(cmol/kg)				砂 (%)	粘土 (%)	交換容量 /粘土
				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	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	29	36
熱帯アジア水田*	1.4	0.13	18	10.4	0.4	5.5	17.8	34	38	47
日本の水田*	3.3	0.29	57	9.3	0.4	2.8	12.9	49	21	61



「目標を見失った豊かな社会」  
「アイデンティティの喪失」

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

# 現在の地球社会危機の背景にある過去500年の欧米による グローバリゼーションの構図