

水田農業の普及によるアフリカの緑の革命の実現と 土壌物理学的問題点

近畿大農 若月利之



Guinea高原の焼畑陸稻
と森林破壊2002年8月



Sierra Leoneの荒れた
里山低地, 1989年1月

非水田稲作による森林と低地の劣化

サブサハラアフリカの緑の革命の前提は水田区画等, 水と土の管理が可能な農民圃場の存在



ヌペ人伝統の準水田, Nigeria, 2006年9月



水田養魚池

JICAガーナ水田 (Sawah) project, 2001年8月



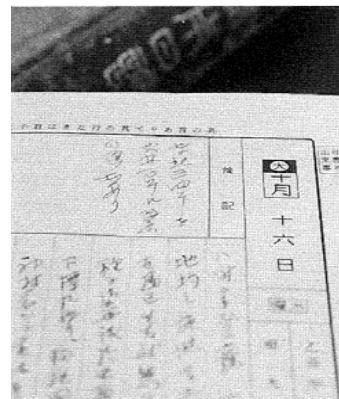
昭和56年、金沢で開催された日本育種学会のパーティーで初めて対面したボーローグ博士と権次郎さん (千田 1996)



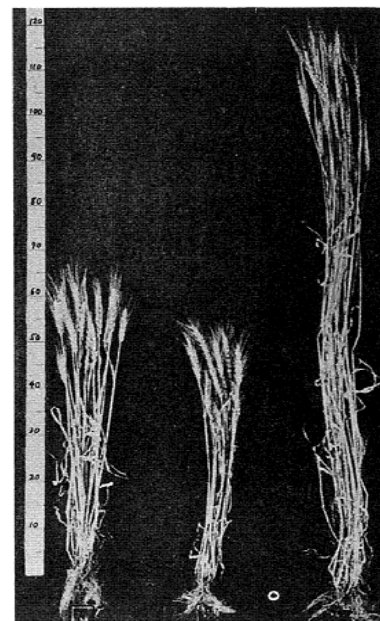
上／新品種を生み出すため、岩手県立農事試験場では地道な小麦の栽培が続けられた

右／「小麦ターキーレッド」(右)と「フルツ達摩」(中)を交配し、「小麦農林10号」(左)が誕生(農林省「小麦ノ新品种」より)

下／「東北34号を農林10号に改名する」という通知があったことを記した昭和10年の日記



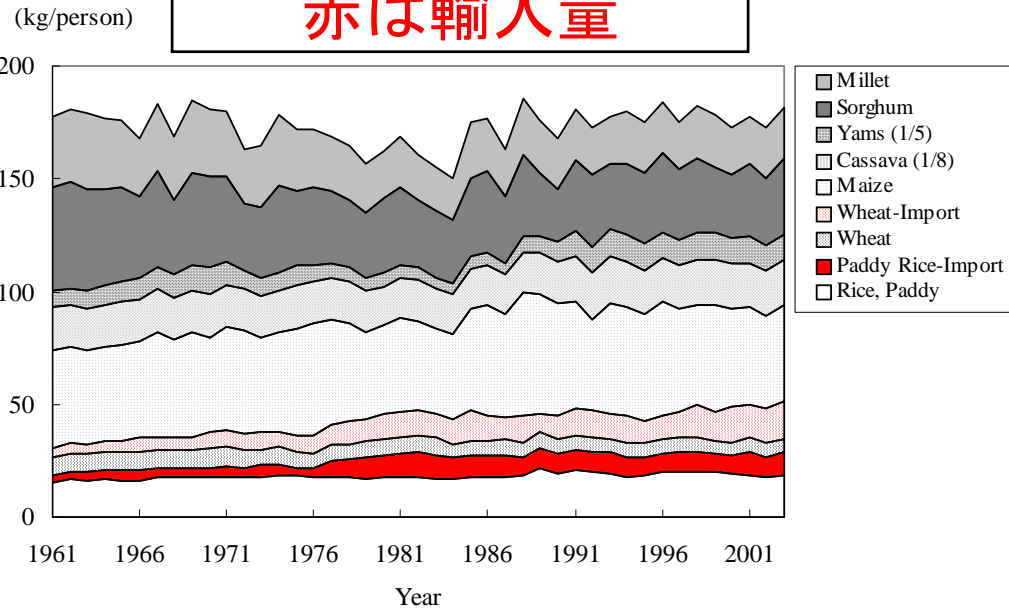
(千田 篤 1996年)



1914年生まれのBorlaug氏は1970年ノーベル平和賞受賞

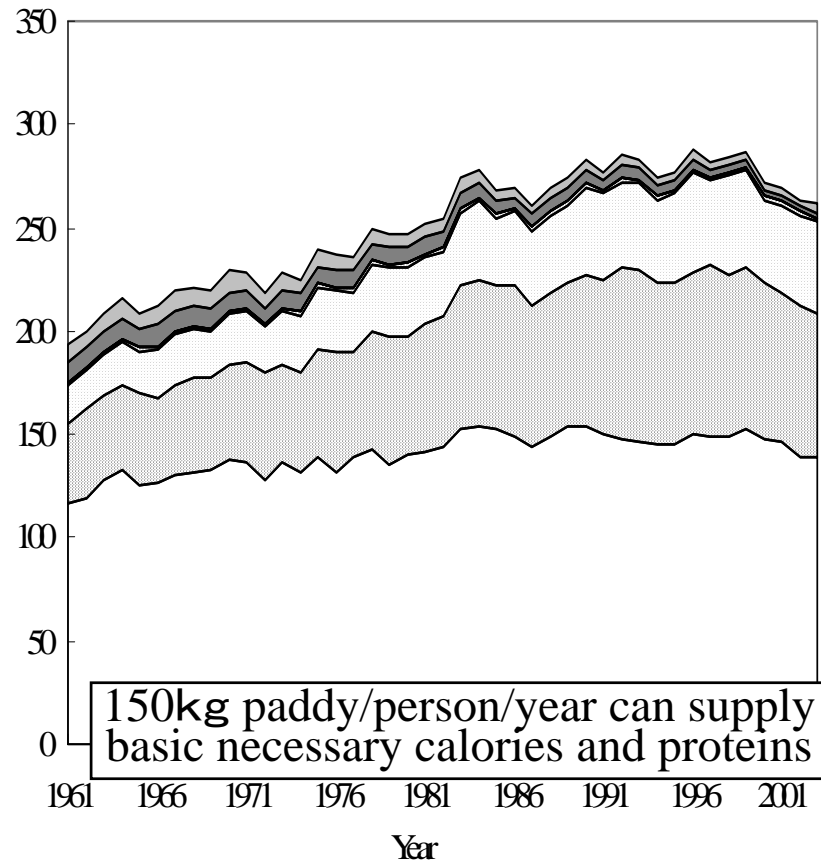
サブサハラアフリカ(SSA)における過去40年の一人当たりの全穀物生産量(kg/person)をアジアと比較

サブサハラアフリカ
赤は輸入量



Production
(kg/person)

アジア



アジア・アフリカの一人当り全穀物生産量は40年前はともに200kg弱、40年後の今日、アジアは300kg弱まで増加、アフリカは減少。

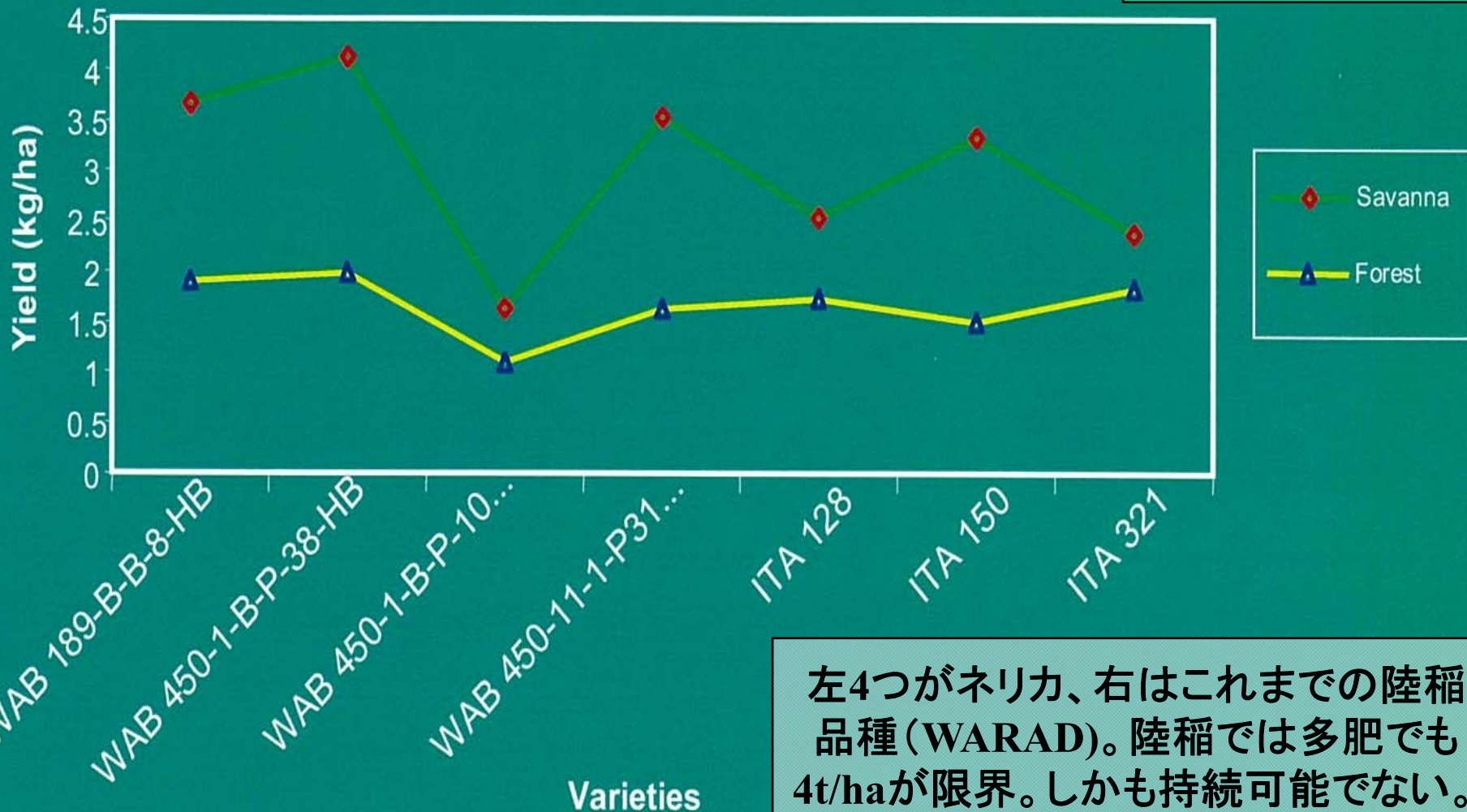
アフリカの栽培穀物は多様。伝統作物のミレット(唐人ビエ)とソルガム(高粱/モロコシ)の生産量は近年減少し、メイズ、米の生産量は増加。又、米と麦の輸入が急増。麦の生産ポテンシャルは小さいが、米の生産ポテンシャルは大きい。特に、西アフリカで大きい。
(FAOSTATのヤムとキャッサバの生産量を水分と蛋白含量で補正し、穀物当量で表示)

アフリカ稲(*Oryza Glaberrima*)とアジア稲(*O. Sativa*)との種間交配により生まれた
陸稲ネリカ(WARDA: アフリカ稲作センター)



Performance of elite upland varieties in Forest and Savanna ecologies

(N 100 kg/ha,
P₂O₅ 60 kg/ha,
K₂O 60 kg/ha
の標準施肥)



左4つがネリカ、右はこれまでの陸稲品種(WARAD)。陸稲では多肥でも4t/haが限界。しかも持続可能でない。

陸稲ネリカを誕生させた**WARDAの1988年の研究戦略策定時の予想(仮説)**とは異なり、1984—1999/03の西アフリカにおけるコメ生産は陸稲から低地水田的稲作への転換が牽引した。**今後10年の稲作生産の予想は若月による**(WARDA 1988, ARI 2002, Sakurai 2003, WARDA strategic plan 2004, FAOSTAT 2005)

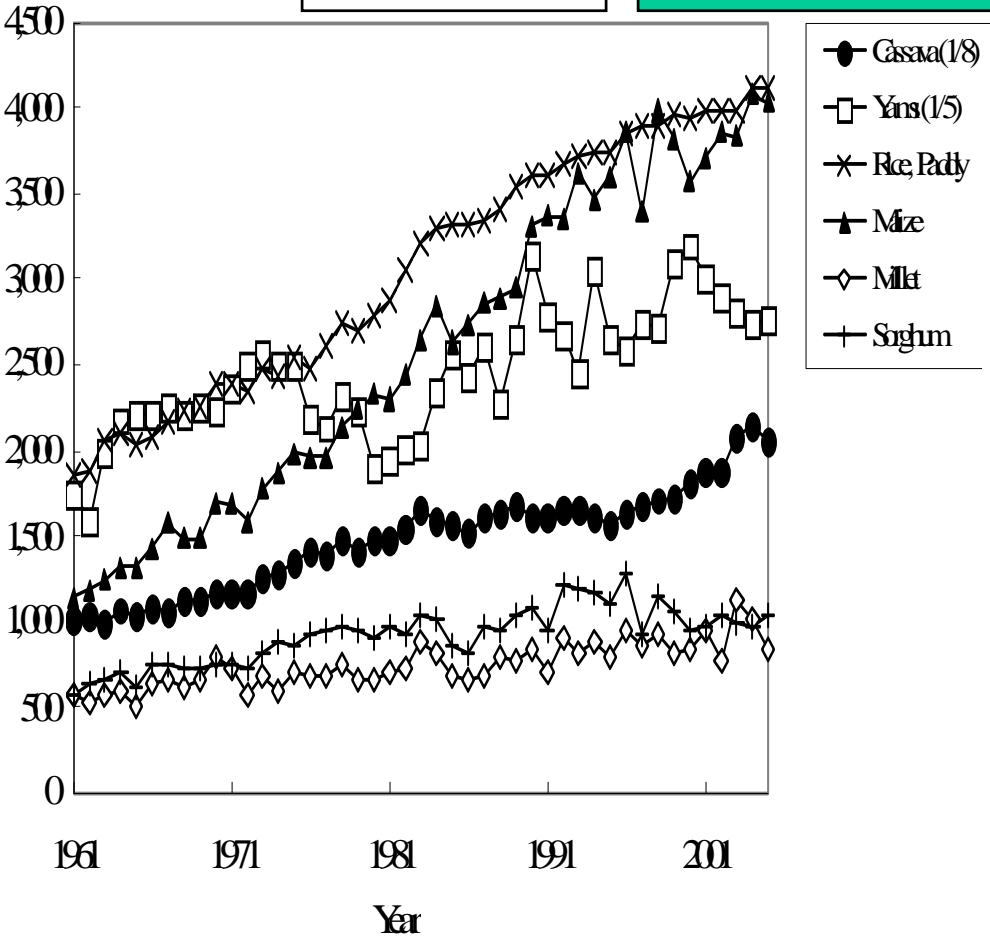
	面積 (百万ha)			生産量 (百万トン/年間)			収量 (t/ha)		
	1984	1999/03	2018	1984	1999/03	2018	1984	1999/03	2018
陸稲栽培 WARDAの予想	1.5	1.8 2.2	2.0	1.5	1.8 2.8	2.0	1	1 1.3	1
内陸小低地天水 WARDAの予想	0.53	1.8 0.76	4.0	0.75	3.4 1.5	11.0	1.4	2.0 2.5	2.7
灌漑水稻 WARDAの予想	0.23	0.56 0.34	1.2	0.64	1.9 1.2	5.0	2.8	3.4 3.5	4.2
全体 WARDAの予想	2.6	4.7 3.6	7.0	3.4	7.7 6.5	18.0	1.3	1.6 1.8	2.6

研究開発と生産現場のミスマッチであった過去15年でも稲生産は倍増、研究開発が生産現場の需要とかみ合えば2018年までで3倍増も可能

IITA, IRRI, WARDA, ICRISAT, IWMI等、
 長期にわたる多数のCGセンターの努力は
 サブサハラアフリカでは成果が上がらず

Asia

Production(kg/ha)



Sub Sahara Africa

Production (kg/ha)

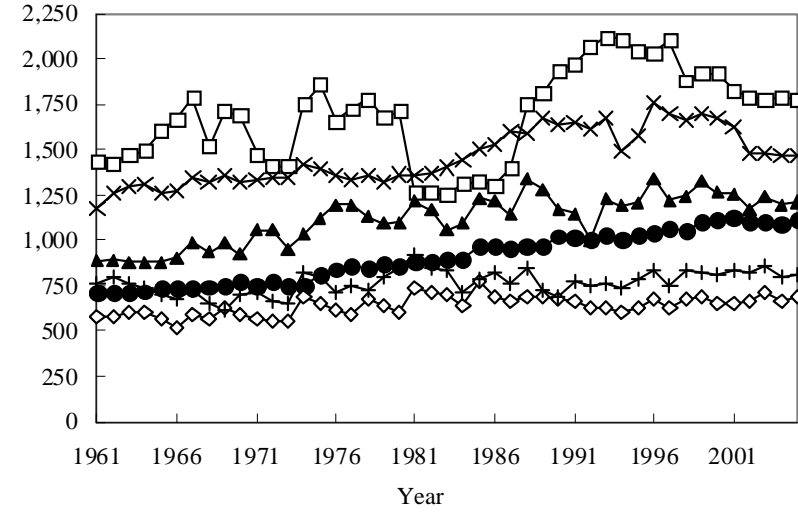
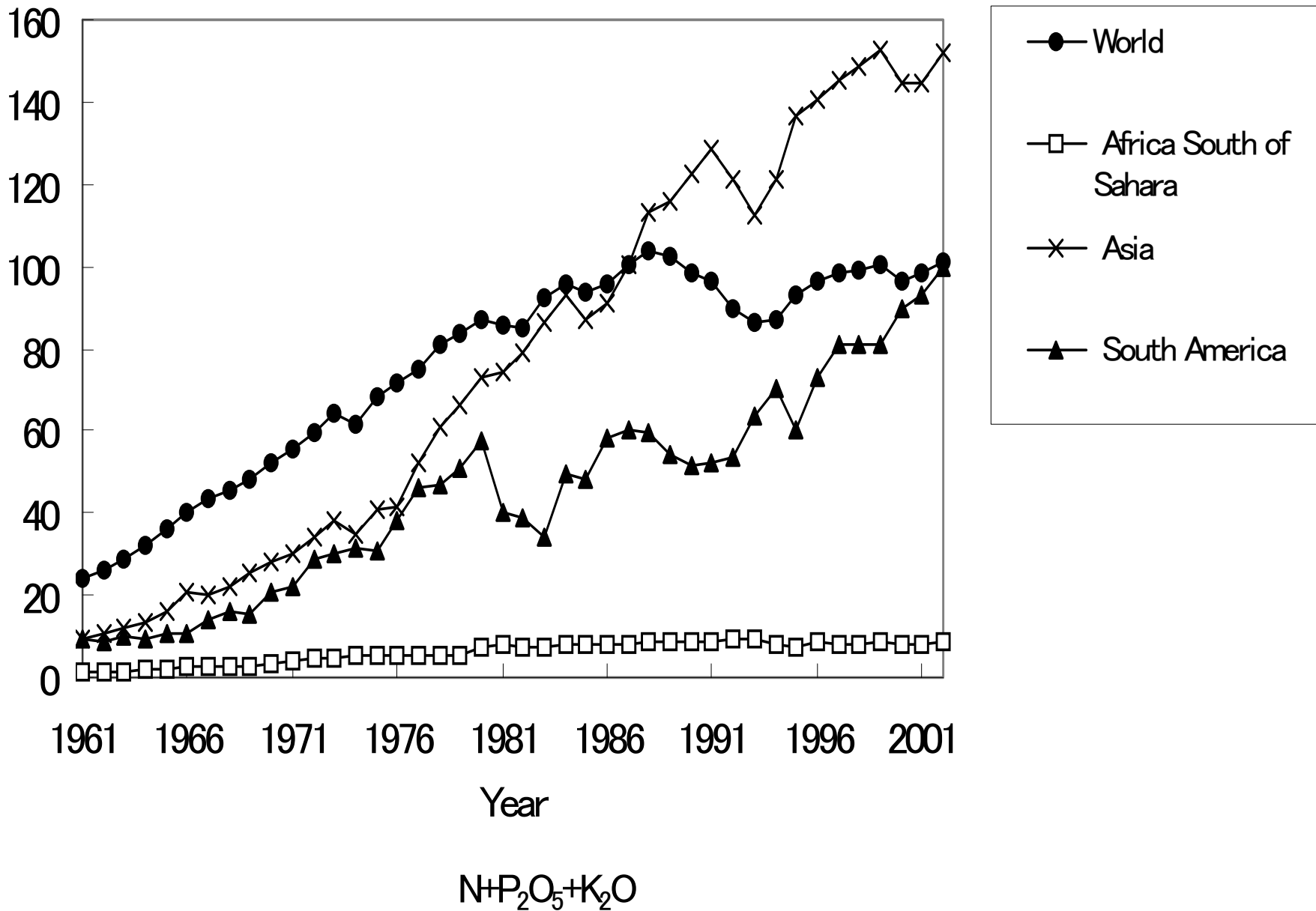


Fig. Asia and Sub-Sahara Africa, cereals production in kg per ha
 (FAOSTAT 2006)

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	Total C (%)	Total N (%)	Available P (ppm)	Exchangeable Cation (cmol/kg)				Sand (%)	Clay (%)	CEC /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	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

Fertilizer (kg/ha)



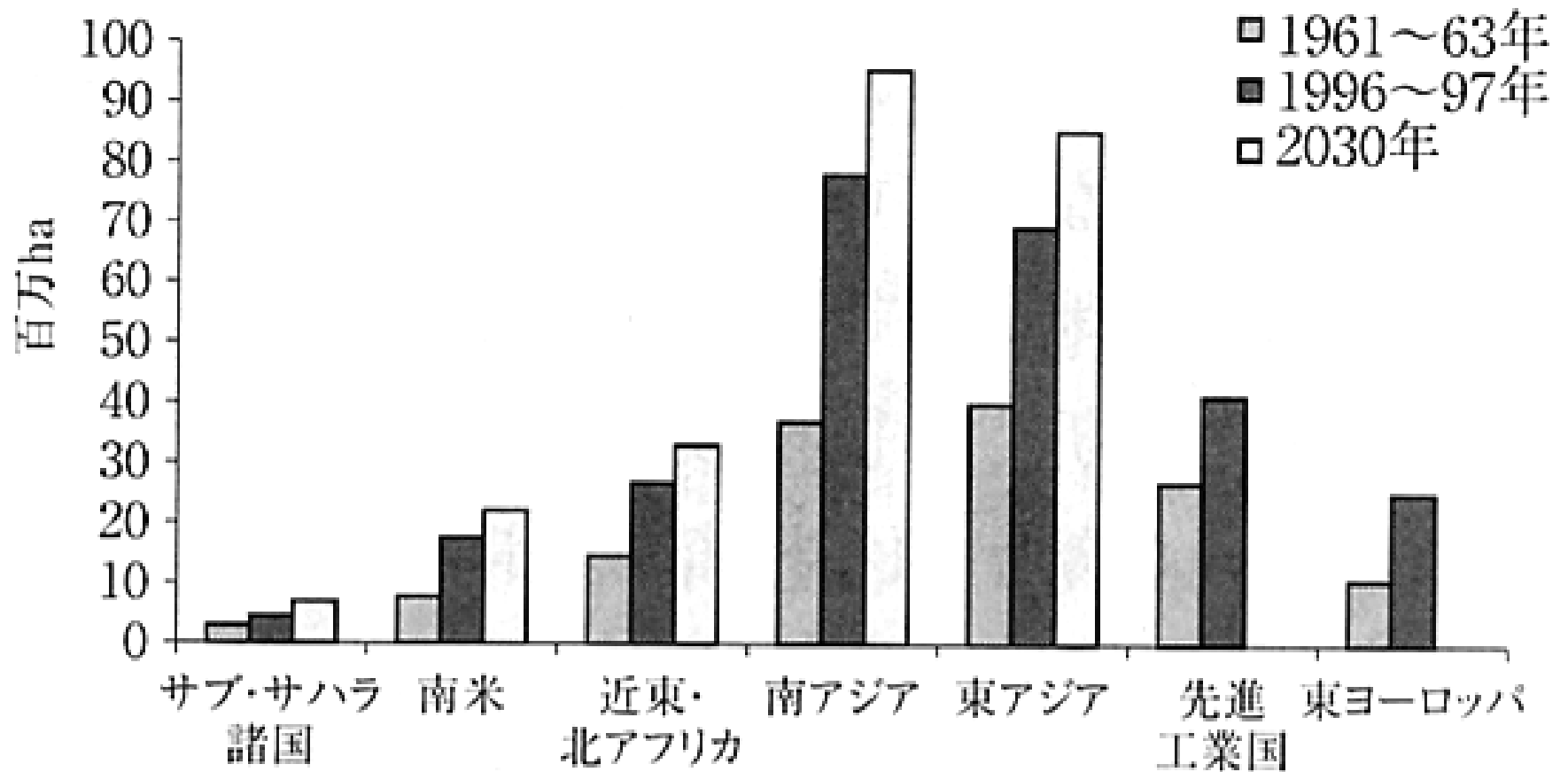


図3 灌漑面積の増加の推移と将来の展開
(FAOSTAT 2001、吉永・渡邊 2002)

これまでのODA方式では灌漑水田の開発は大変コスト高であった：西アフリカにおける大規模、小規模、在来の焼畑稲作技術及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	農民の自力による、水田開発(サワ方式)	在来の焼畑稲作技術
ヘクター当たりの開発費	20,000－30,000 US\$/ha	20,000－30,000 US\$/ha	1,000－4,000 US\$/ha	20－30 US\$/ha
ヘクター当たりの売上 (収量t/ha)	1,000－2,000 US\$/ha (4t/ha)	1,000－2,000 US\$/ha (4t/ha)	1,000－2,000 US\$/ha (4t/ha)	200－300 US\$/ha (<1t/ha)
運営費(含む機械)	中～高 (300－600 US\$/ha)	中～高 (300－600 US\$/ha)	中 (200－300 US\$/ha)	低 (10－20 US\$/ha)
農民参加度	低	中～高	高	高
開田のオーナーシップ	政府	政府	農民	農民
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 着し比較的困難	短～中期間で可能、 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	低い(農民の自 力管理は不可 能)	低～中(自力管 理は困難)	高い(農民の自力管 理が前提)	中
環境への影響	高	中	低	中

アフリカ緑の革命連合の基本戦略(AGRA): Bill&Melinda

Major Initiative under AGRA

2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015...

まず優良品種の供給システム

農民に公正な市場アクセスを提供する

肥料供給と灌漑整備

農業技術の教育と訓練

CARD, アフリカ
稲作振興共同体
JICA他, 2008年

優良種子シス
テム確立の次
のターゲット

基本的
施策

政策決定者よりの支援の獲得

成果を上げて実際のインパクトが出せる実力の養成

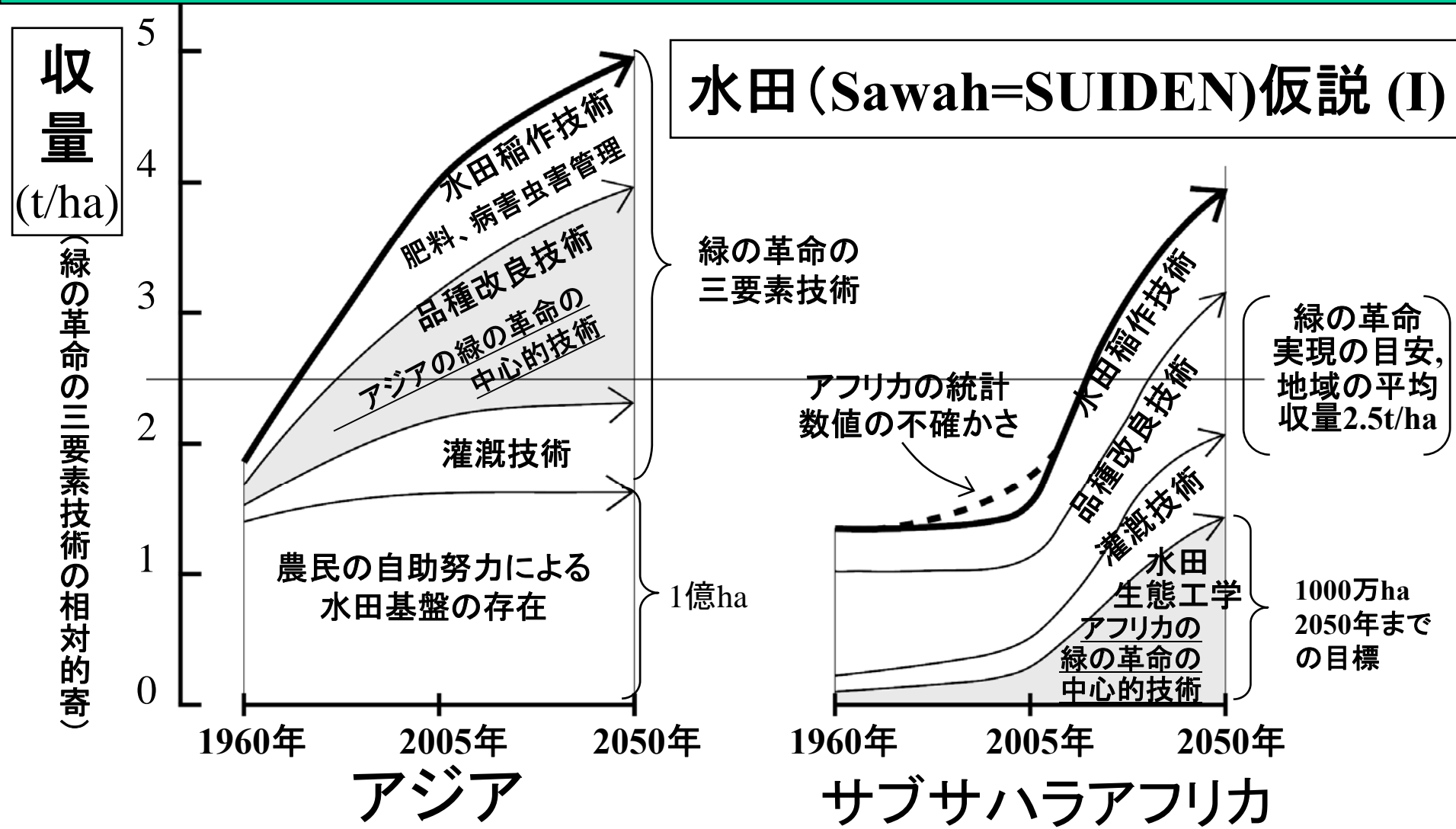
政策決定や農業施策関連者からの支援を得る

アフリカの緑の革命のため公的・私的資金源より支援を得る

広報
戦略

世界の潮流は依然として品種改良が緑の革命の中心技術であると仮定

アジア緑の革命は品種改良が牽引、アフリカは生態環境の改良がカギ



1960-2005年の変化から予想される、2005-2050年の変化

図. 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

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



水田的な基盤のない場合



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)



シエラレオーネの里山低地



農民の稲作地でも水田さえあれば
たいていの品種は5t/ha以上の収量は簡単

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)

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
RANGE		(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

1-7:生育期間の短い品種、8-23:生育期間の中程度の品種、低投入:施肥、除草、農薬は最小限、高投入:N 120kg,P₂O₅ 60kg,-K₂O 60kg,

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。

市場価値のあるポストハーベスト技術は適用不可

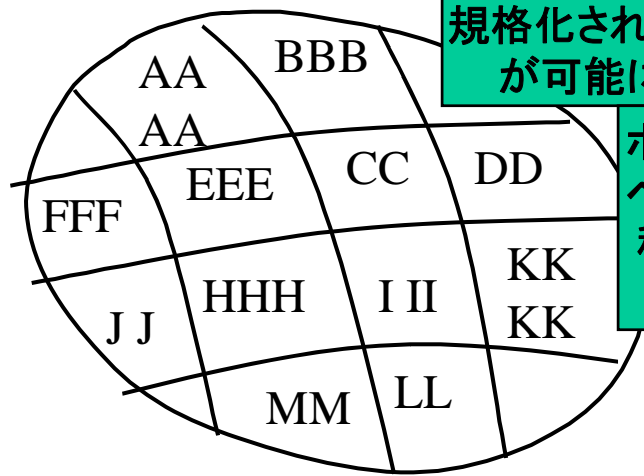
優良種子の増産も困難



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

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

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



規格化された籾生産が可能になる。

ポストハーベスト技術種子増産も容易

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

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

水田仮説(I):水田的な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。

05年,バンコック空港付近

水田の効用

05年,ナイジェリア,ラゴス空港付近



大地に引かれた線がある



大地に引かれた
明確な線がない

東北タイ

何故水田か

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

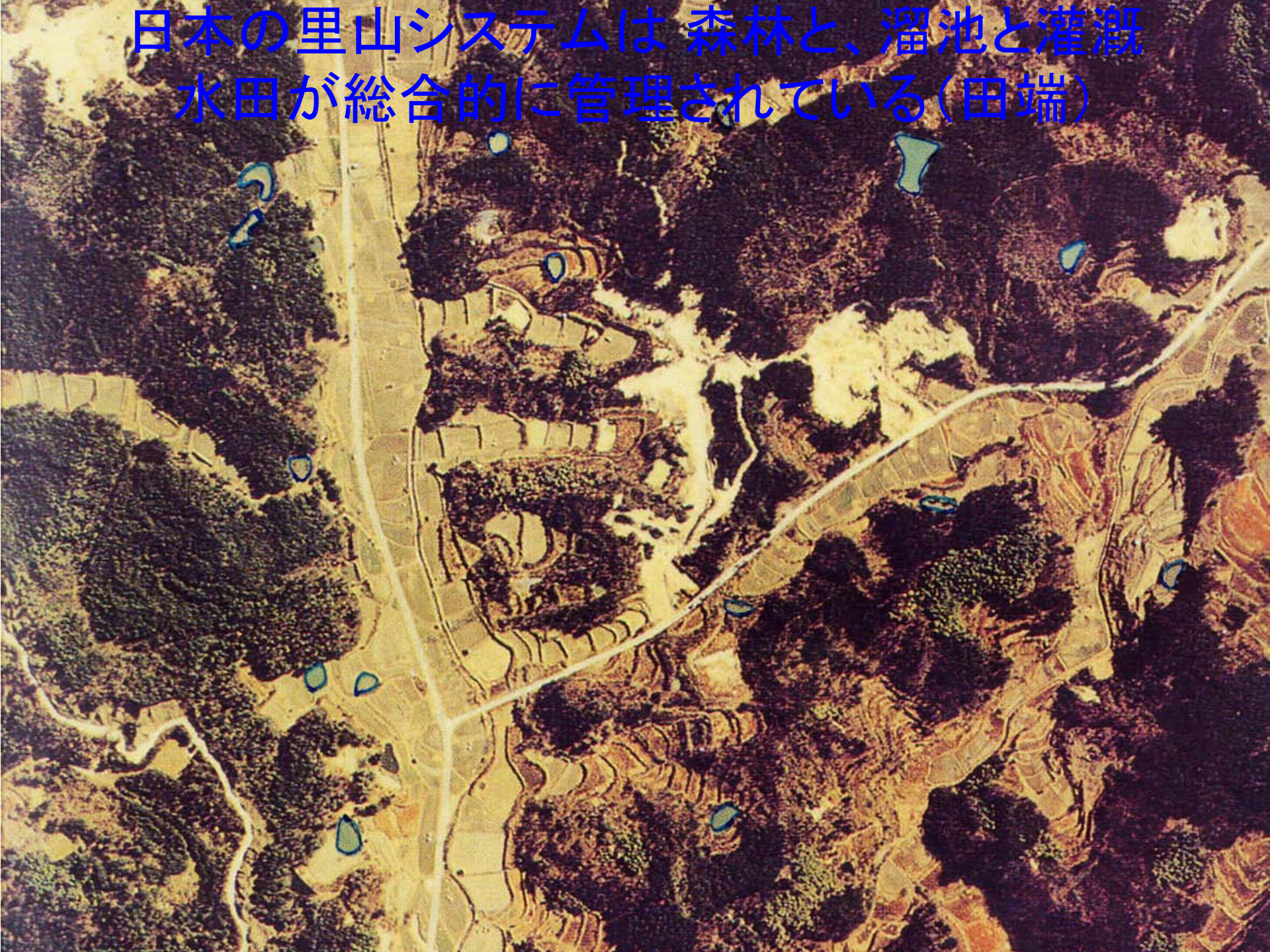
1haの水田(sawah) = 10-15ha of 陸稻(upland)栽培地

	焼畑の陸稻	水稲(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、水稲は連作可能であるが、焼畑の陸稻栽培は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

日本の里山システムは 森林と、溜池と灌漑
水田が総合的に管理されている(田端)

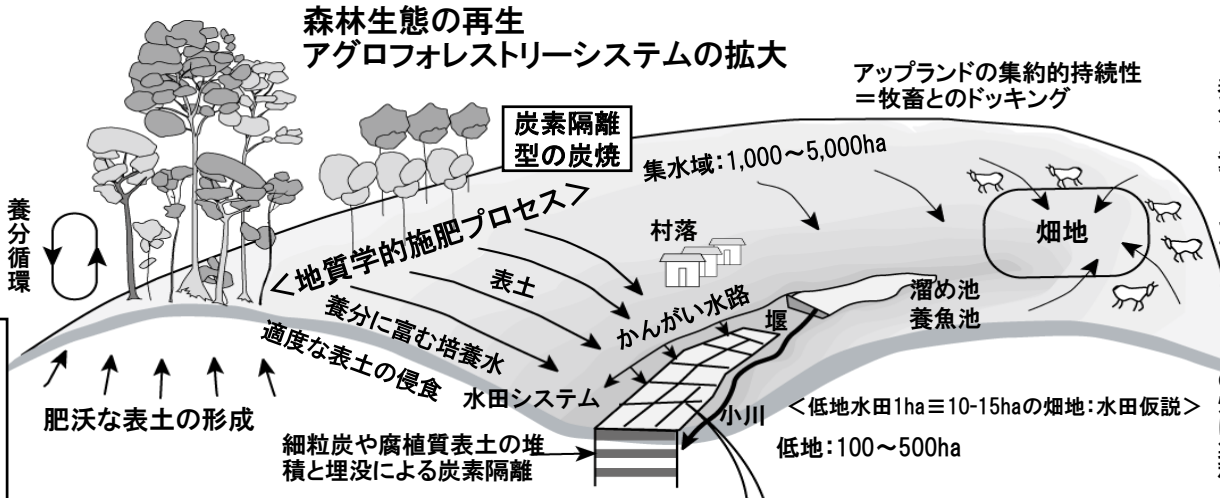


牛やヤギ等はアップランドより養分を糞としてアグロフォレストの畑に集積

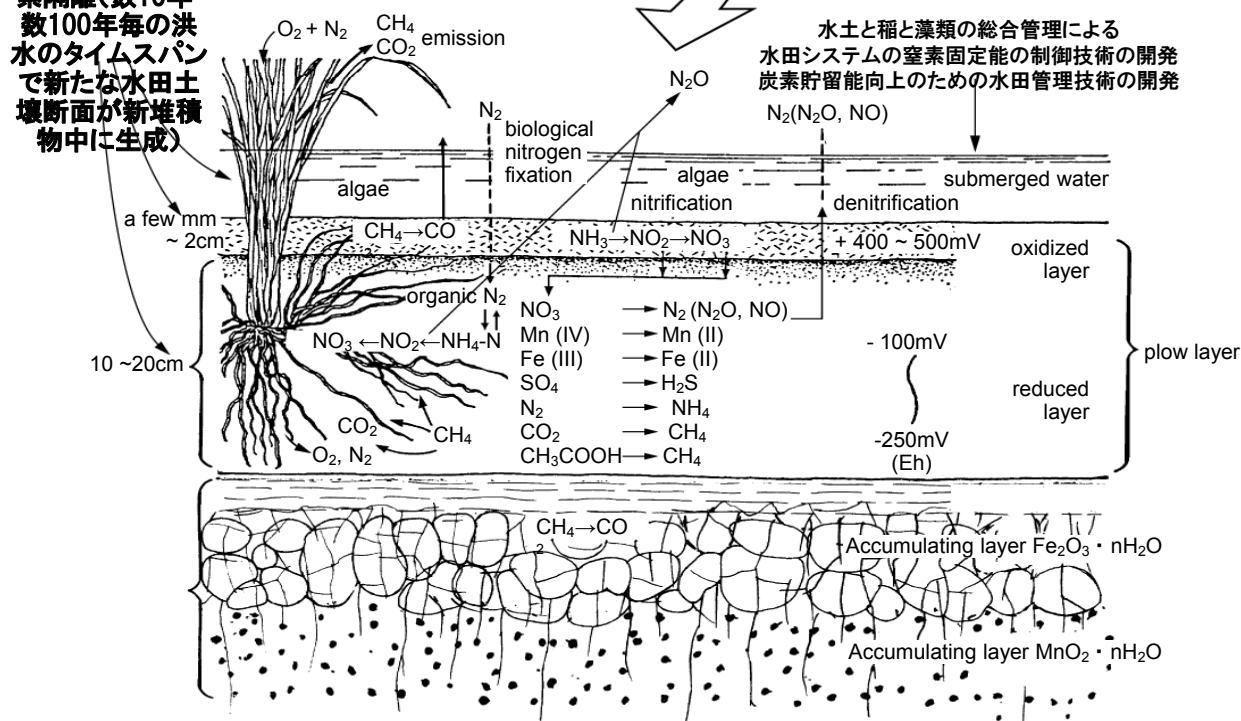
低地水田の持続可能な生産性の高さは畑作地の2倍以上に達するマクロの生態工学的機構：腐植に富む肥沃な表土の堆積と培養水の集積

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、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：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。



低炭素型社会における水田農業とアフリカ型里山システムの創造(集水域アグロフォレストリー)



低炭素型社会における里山集水域における水田システムの機能

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。

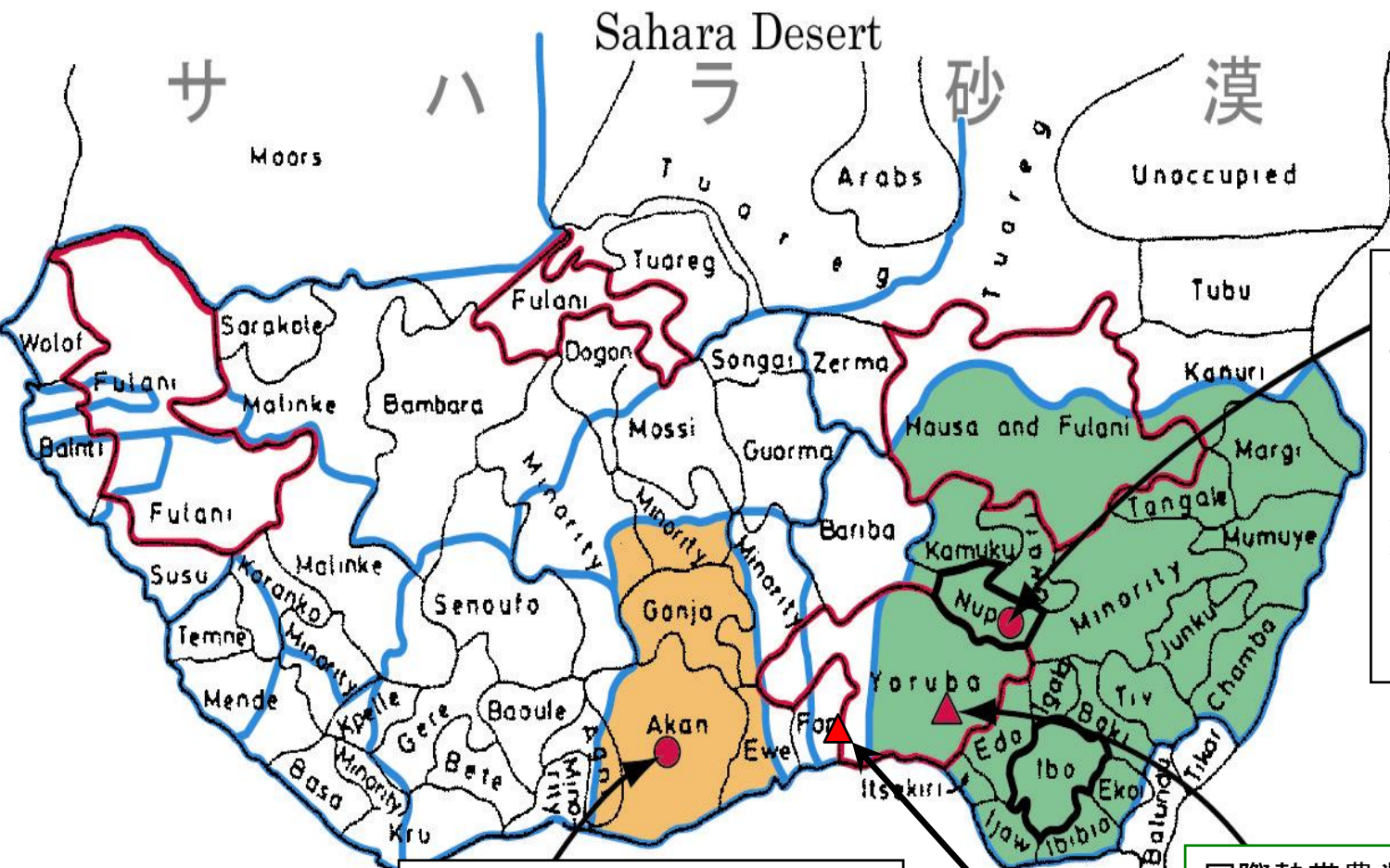
表1、水田(Suiden)概念を適切に表す言葉が、アフリカの
 現地語はもとより英語や仏語に存在しない

水田 (suiden) =SAWAH(インドネシア語)

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

Paddy soil science = 稻土壤学 ≠ 水田土壤学

Paddy yield: 粳収量



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:1000~2000ha、砂岩、降水量:1200mm、収量:1.5t/ha
 砂質土壌は厚い帯水層をつくる。ヌペ人はこの湧水を利用して古くから日本の縄文・弥生と類似の準水田稲作を行った。遊牧の民のフルベが征服民。ともにスリムである。

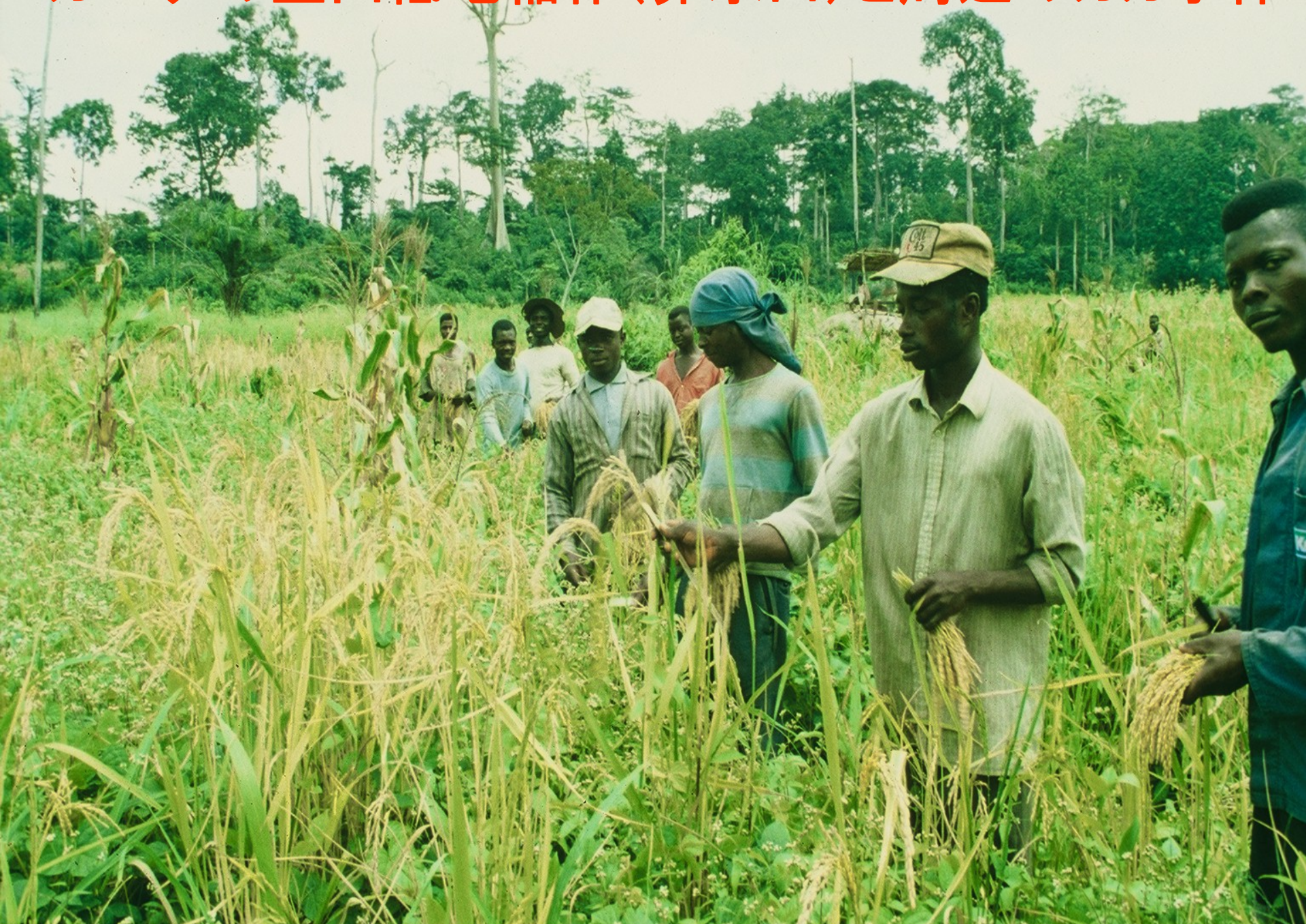
ガーナプロジェクトサイト(森林移行帯)ビエム川集水域:10050,000ha
 花崗岩、片麻岩、降水量:1500mm
 焼き畑の低地稲作は近年開始された。焼畑稲の収量は1.1t/ha。アシャンティ人が7割、残りが北方からの移住民でモスLEM。アシャンティの多くはクリスチャンである。

国際熱帯農業研究所(IITA)

アフリカ稲作センター(WARDA)

ナイジェリアとガーナでの低コスト谷地田水田開発実証調査サイト
 (西アフリカの国々の国境線と民族分布は一致しないこと注意)

ガーナの里山低地稲作(非水田)と周辺の力カオ林



農民の自力による水田開発



手作業による均平化はハードワーク



水田開拓最前線



耕運機で均平化も可能だが訓練が必要



勾配は小さいが凸凹あり, Ashanti, Ghana



農民手作りの土と木とサンドバッグの堰



アフリカのお百姓さんはパワフル



ナイジェリアヌペの準水田と泉とエグシメロン



Ghna-Sokwae, Kumasi,
Traditional rice cultivation
August 2008



Ghana-Sokwae, Kumasi, CRI sawah
Staffs and Sawah farmers, Aug. 2008



ナイジェリア南部オンド州、アクレ付近での
農民の自力水田開発デモンストレーションサイト
August 2008



同サイト、9月、2008
農家、普及員、サワスタッフ



適地適田開発とOnTheJob訓練のための個々の水田の評価項目

(1) 開発費用と土壌物理

Site Name		Sokewae	Tewaih	Old Osei & JICA site	Ejiti	Nasarafu
Location		20km from Kumasi to Adugyama	Adugyama	Biemso No1 Canal end	Emikpata middle	Influent to Gbako
Supervised by		CRI, Ghana	Tewiah, Ghana	Tewiah, Ghana	Joshua Niyi	Joshua Niyi
Area Developed (ha)						
Before 08		0	4	2	10	6
by 18 Aug 08		2	5	2	10	10
Recent Estimation of Development cost (\$/ha)						
	Power tiller for development	700\$/ha	500	500	500	500
	Power tiller spare parts	100\$/ha	100	100	100	100
	Fuel for development	200\$/ha	200	200	100	100
	Bush clearing destamping	Farmers	Farmers	Farmers	Farmers	Farmers
	Bunding, leveling, & canal	Farmers	Farmers	Farmers	Farmers	Farmers
	Additional hired labours	100\$/ha	200	200	100	100
	Tools and materials	200\$/ha	100	100	100	100
	Scientist allowance & per diem	1500\$/ha	200	200	1000	500
	Extension officer cost	100\$/ha	100	100	0	0
	Farmers' training	200\$/ha	200	100	100	100
	Total	3000\$/ha	1600	1500	2000	1500
Slope %		0.1-0.5-0.7	0.5-1-2	0.1-0.5-1	0.5-1-2	0.1-0.5-1
Surface roughness		low	low	middle	smooth	smooth
Mean sawah size (ha)		0.04	0.03	0.044	0.02	0.03
Soil movement (t/ha)		500	1500	850	1500	750

Jan.2003、ガーナサイト
IWMI、藤井

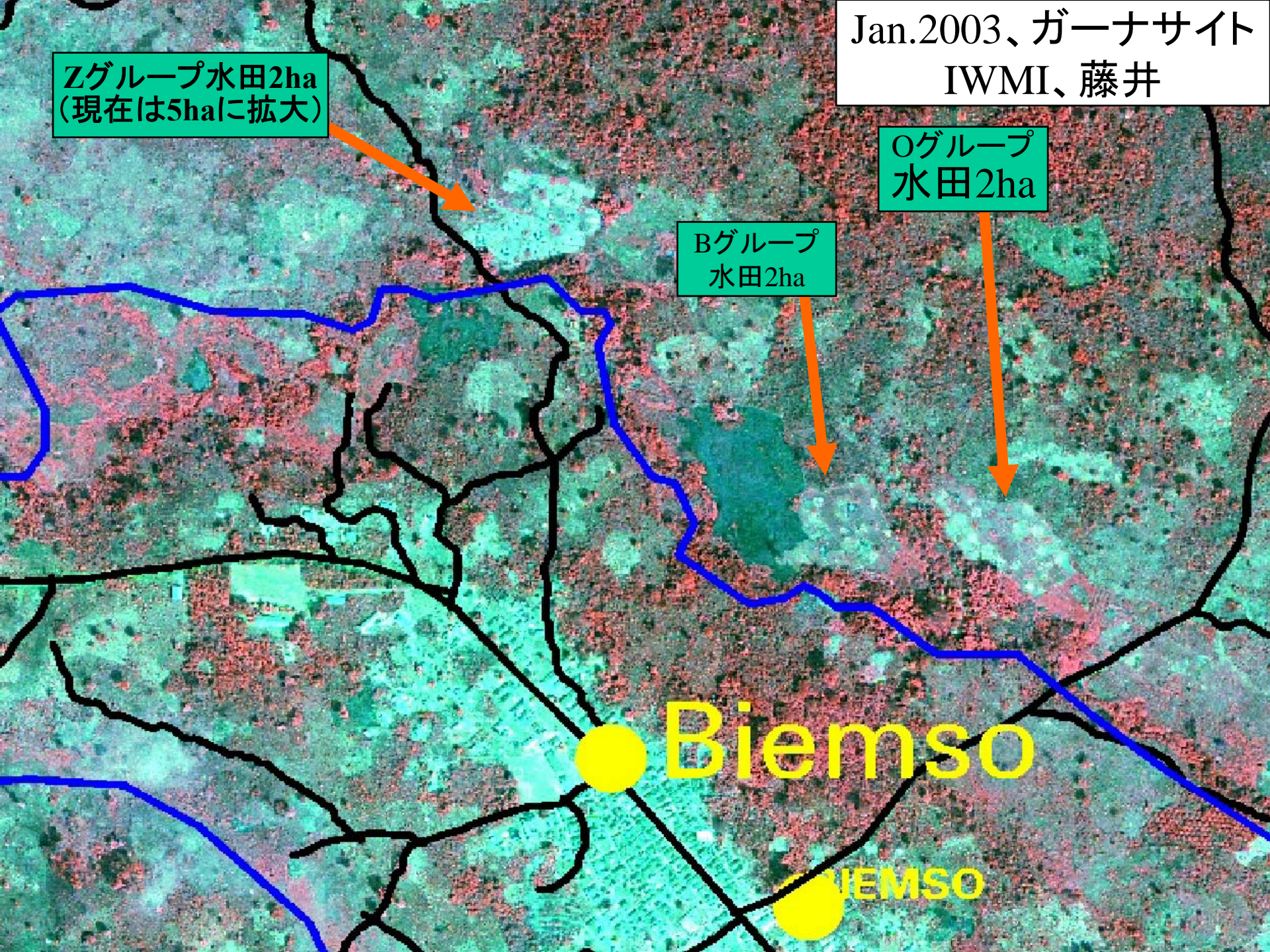
Zグループ水田2ha
(現在は5haに拡大)

Oグループ
水田2ha

Bグループ
水田2ha

● Biemso

● NIEMSO



水田農業の普及によるアフリカの緑の革命実現とアフリカ型里山創造

シロアリ塚



農民手作りのガーナ、アシャンテの里山水田

ナイジェリア、ギニアサバンナ
Ejiti水田村, 10ha, 2008年1月



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



(2) 開発主体となる農民組織の評価と水田システムのデザイン

Farmers Group Evaluation						
Leader		3	5	3	3	3
Group collaboration		4	4	3	4	3
Skill for power tiller operations (Plowing, Puddling, Soil Moving, Surface leveling & smoothing)		3	4	4	3	3
Skill for power tiller management		1	4	4	2	2
Skill for sawah development		3	4	3	2	2
Skill for sawah based rice farming		3	4	3	3	3
No. of farmers		30	5	3?	20	30
Ethnic composition		Migrant	Ashanti	Ashanti	Nupe	Nupe
Gender composition		80% Female	100% Male	100% Male		
Sawah system design & development						
Overall		4	4	4	4	3
Water sources						
Simple dyke& diversion canal		4				3
Weir & Canal				4		
Spring			5		5	
Seepage					3	
Pump						3
Natural flooding						3
Interceptal canal				3	3	3
Flood control		3	3	5	3	4
Drought control						
Water sources (overall)		4	5	4	5	3
Water distribution		4	4	4	4	3
water consumption (ton/season)						
water requirement(mm/day)						
Soil texture						
Sawah layout		4	4	4	4	3
Levelling		4	3	4	2	3
Bunding		4	3	4	3	3

5 Excellent, 4 Very Good, 3 Good, 2 Fair, 1 Poor

(3) 農民の水田稲作技術の評価と開発した水田の土地所有や使用権の状況

Site Name		Sokewae	Tewaih	Old Osei & JICA site	Ejiti	Nasarafu
Location		20km from Kumasi to Adugyama	Adugyama	Biemso No1 Canal end	Emikpata middle Nigeria	Influent to Gbako Nigeria
Supervised by		CRI, Ghana	Tewiah, Ghana	Tewiah, Ghana	Joshua	Joshua
Agronomic Sawah system management						
Overall Water Control		4	4	3	4	2
Water sources		4	4	2	4	3
Water distribution		4	4	3	4	3
Leveling & smoothing		4	3	3	2	3
Bunding		4	3	3	3	3
Puddling		4	3	2	3	3
Weed control		4	3	3	2	3
Water quality		3				
Soil fertility		3				
Fertilization(N-P2O5-K2Okg/ha)						
Variety						
Yield estimation(ton/ha)		4	4.5	4	3.5	2.5
Land Tenure Arrangement						
Overall		1	5	3	4	3
Owner		1	5		Emir	Emir
Rental condition						
one year		1	1			
5-6 years				3		
10years						
99years			5			
Care taker					5%	5%
Sharecropping by farmers						
50-90%						

Table 3. Estimated Revenue of farmer groups under the “Sawah” System

Farmer-group	Paddy Grain yield (kg)	Gross Revenue (US\$)	Production * Cost (US\$)	Net Revenue (US\$)
Adugyama	4334	1712	428	1284
Biemso - A	4675	1847	350	1497
Biemso - B	4736	1871	324	1547
Biemso - C	4675	1847	349	1498
Traditional	900	355	150	205

* 新規開田のための土壌移動を行う耕運機費用は除く

Sep 2009－2013年度, WARDA-JAPAN Sawah Project 開始

緑の革命・アフリカ水田村構想

Green Revolution **Sawah Village** Project

アフリカにおける内陸低湿地水田開発の実践・実証と普及の基金拠出

コメ増産の必要性

消費量の増加をまかなうために穀物輸入量が増加
各国財政を圧迫・・・食糧安全保障上の課題

コメ増産の可能性:
水田開発

低湿地 (Inland Valley) での水田開発

単収4 ton/ha以上確実、コメ増産の潜在的可能性高い
WARDAが1990年代に注目し、各国に呼びかけ、IVCを
招集し2003年までに開発適地を設定。資金不足で中止。

目的:コメ増産のモデル地を創出し、生産地形成を支援し、普及の拠点設置。
＜政府・地元農民の開発意欲を刺激し、自助開発努力を先導。＞

＞目 標＜

IVC加盟国・政府機関のオーナーシップ強化と
普及組織・農民組織の経営支援と人材育成:

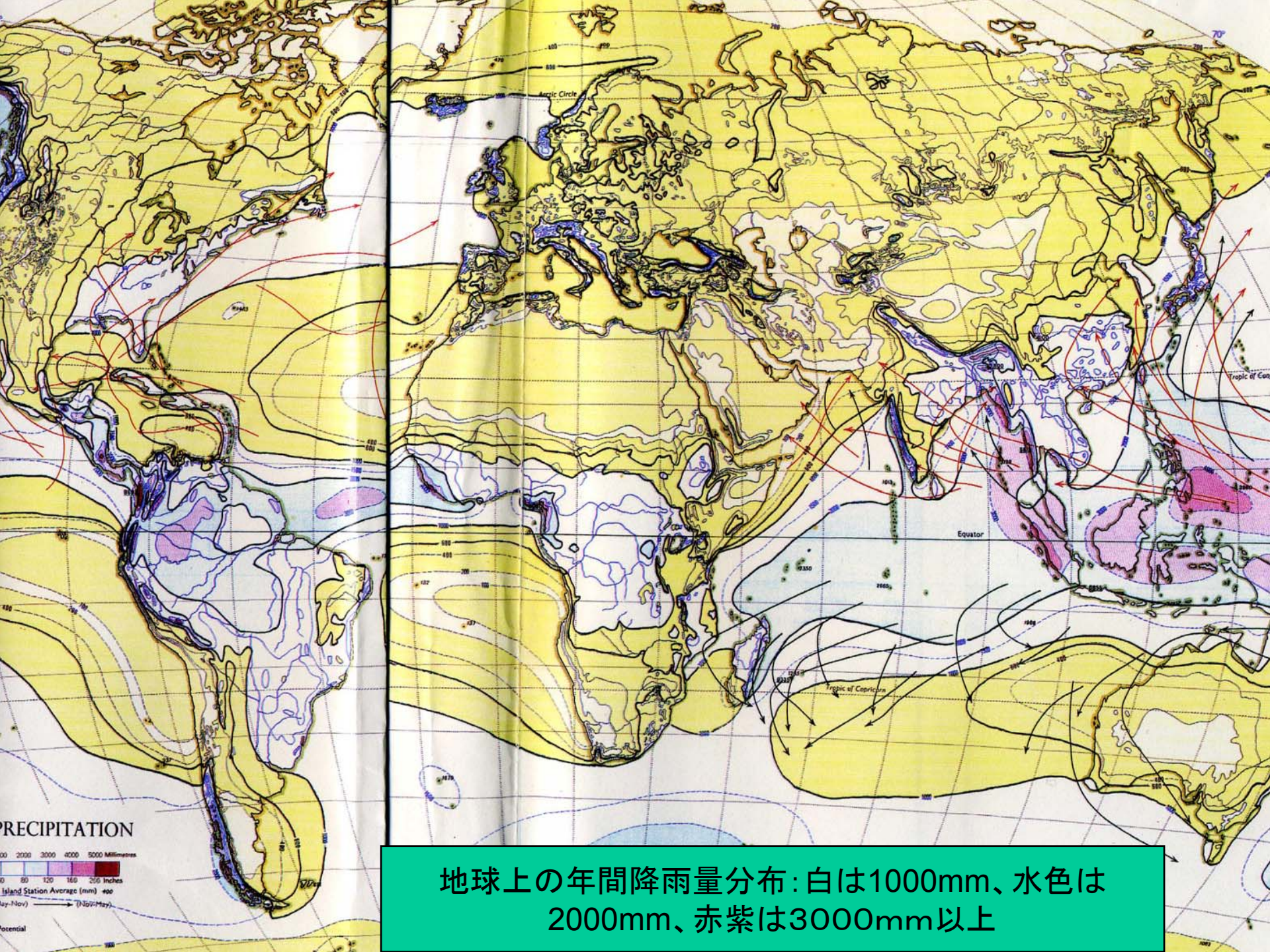
15,000haの水田開発と
中核稲作普及指導者1,000名の養成

WARDA:生態環境と村落社会に
適合した水田開発と管理法の研究

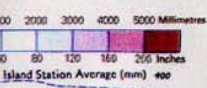
JAPAN:全体統括
稲作総合技術/協同組織化の支援
稲作普及基金の管理、研修運営

IVC: Inland Valley Consortium, convened by WARDA

適地選択、水田システムデザイン、耕運機利用の開田、持続可能な水田稲作の訓練

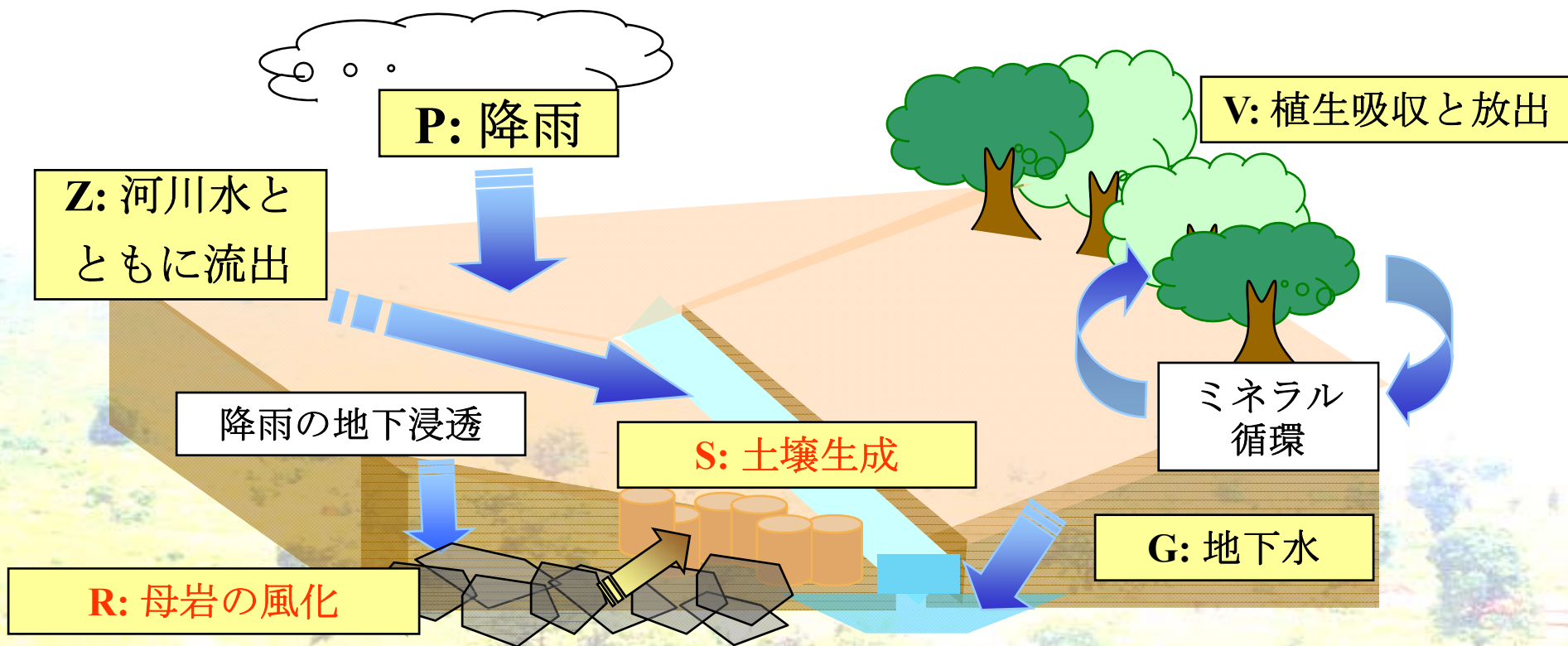


PRECIPITATION



地球上の年間降雨量分布: 白は1000mm、水色は2000mm、赤紫は3000mm以上

集水域におけるミネラル（無機元素）の動態



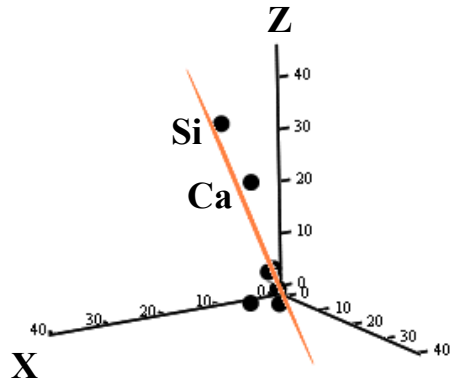
無機元素の集水域における地球化学的マスバランス:

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

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

集水域方程式：岩石風化、土壌生成、 河川の水質形成の統合

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



$$D \text{ Di} - P \text{ Pi} = R_i \times R - S_i \times S$$

河川 降雨 岩石 土壌

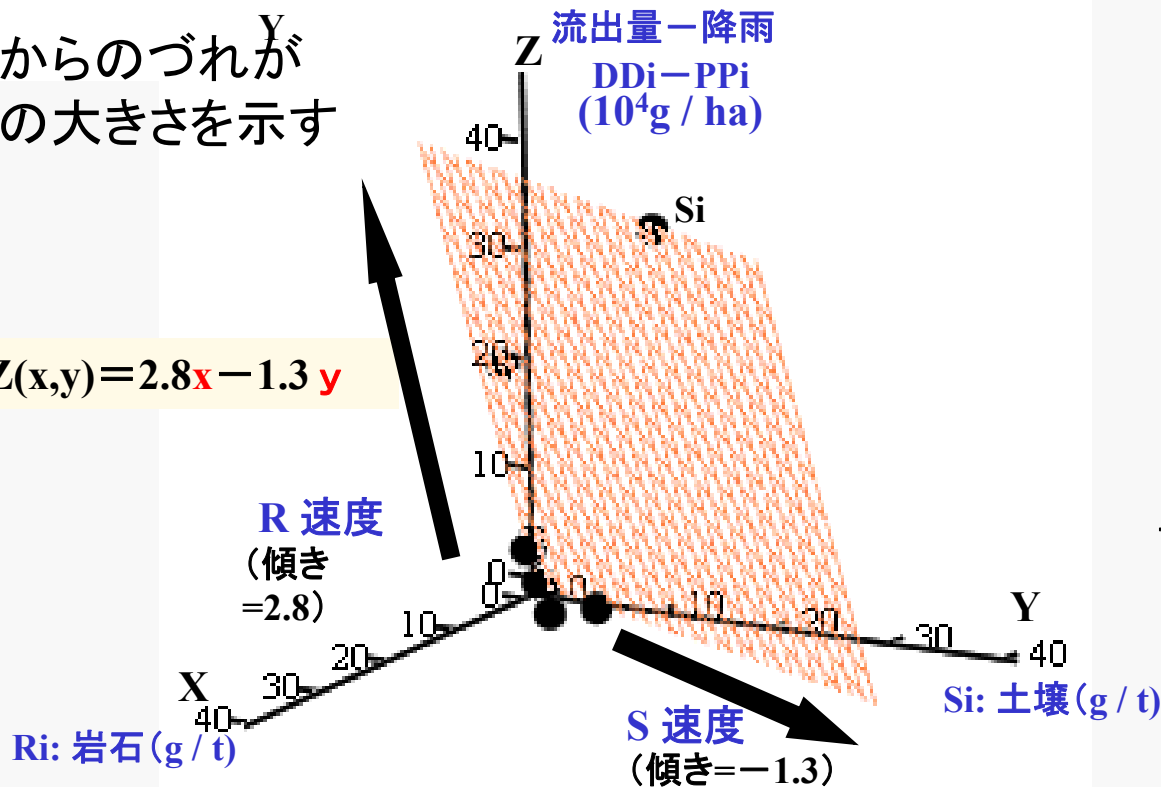
G.Gadut(インドネシア)

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

$$R_w = \frac{\begin{matrix} \text{Si} \\ \text{Na} \\ \text{K} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{Al} \\ \text{Fe} \\ \text{Si} \\ \text{Mn} \\ \text{Ti} \\ \text{Zn} \\ \text{Sr} \\ \text{P} \end{matrix} \times S + \begin{matrix} \text{DDi-PPi} \\ \text{Na} \\ \text{K} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{Al} \\ \text{Fe} \\ \text{Si} \\ \text{Mn} \\ \text{Ti} \\ \text{Zn} \\ \text{Sr} \\ \text{P} \end{matrix}}{\begin{matrix} R_i \\ \text{Na} \\ \text{K} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{Al} \\ \text{Fe} \\ \text{Si} \\ \text{Mn} \\ \text{Ti} \\ \text{Zn} \\ \text{Sr} \\ \text{P} \end{matrix}}$$

平面からのずれが
誤差の大きさを示す

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



$$- S_w = \frac{\begin{matrix} R_i \\ \text{Na} \\ \text{K} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{Al} \\ \text{Fe} \\ \text{Si} \\ \text{Mn} \\ \text{Ti} \\ \text{Zn} \\ \text{Sr} \\ \text{P} \end{matrix} \times R + \begin{matrix} \text{DDi-PPi} \\ \text{Na} \\ \text{K} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{Al} \\ \text{Fe} \\ \text{Si} \\ \text{Mn} \\ \text{Ti} \\ \text{Zn} \\ \text{Sr} \\ \text{P} \end{matrix}}{\begin{matrix} S_i \\ \text{Na} \\ \text{K} \\ \text{Ca} \\ \text{Mg} \\ \text{Al} \\ \text{Fe} \\ \text{Si} \\ \text{Mn} \\ \text{Ti} \\ \text{Zn} \\ \text{Sr} \\ \text{P} \end{matrix}}$$

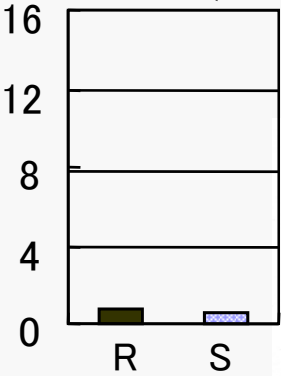
Rate of Soil Formation and Rock Erosion

at Japan, Indonesia, North America Watershed
(1994, 2004)

Iu River Japan

(Granite)

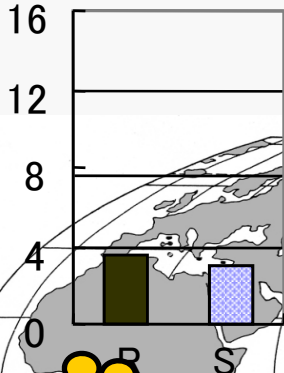
R=0.83 (t/ha/y)
S=0.60 (t/ha/y)
Z=0.40 (t/ha/y)



Iu River

(Tuff)

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

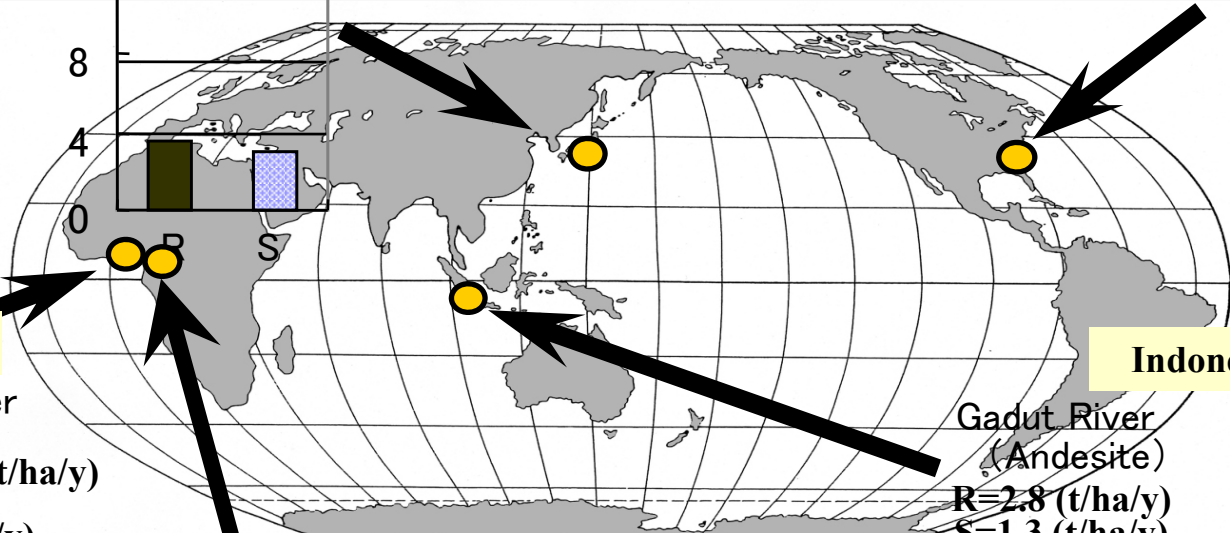
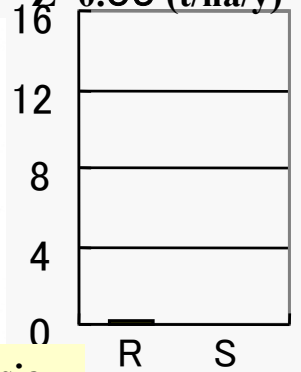


North America

Hurbbardbrook

(AcidBaseMix)

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

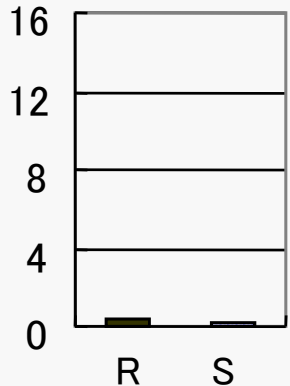


Ghana

Biem River
(Gneiss)

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

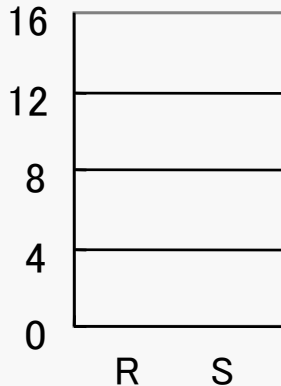
Z=0.18 (t/ha/y)



Nigeria

Emikpta River
(Sandstone)

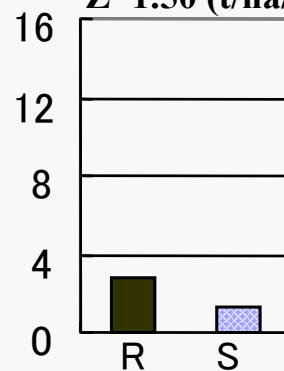
R=0.07 (t/ha/y)
S=0.0 (t/ha/y)
Z=0.16 (t/ha/y)



Indonesia

Gadut River
(Andesite)

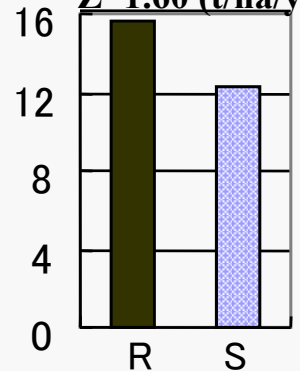
R=2.8 (t/ha/y)
S=1.3 (t/ha/y)
Z=1.50 (t/ha/y)



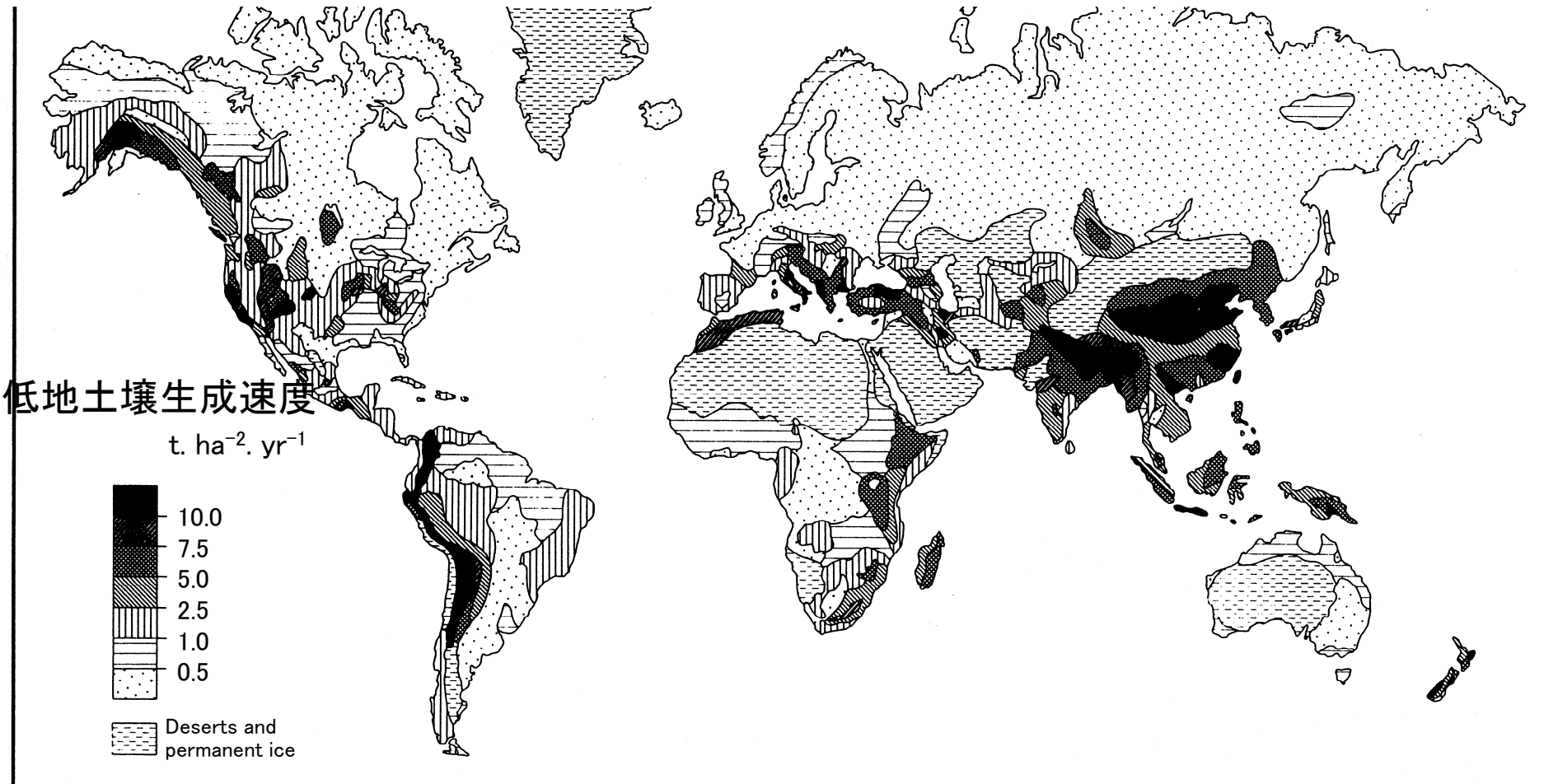
Casrian River

(Vol. Ash)

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



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。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)

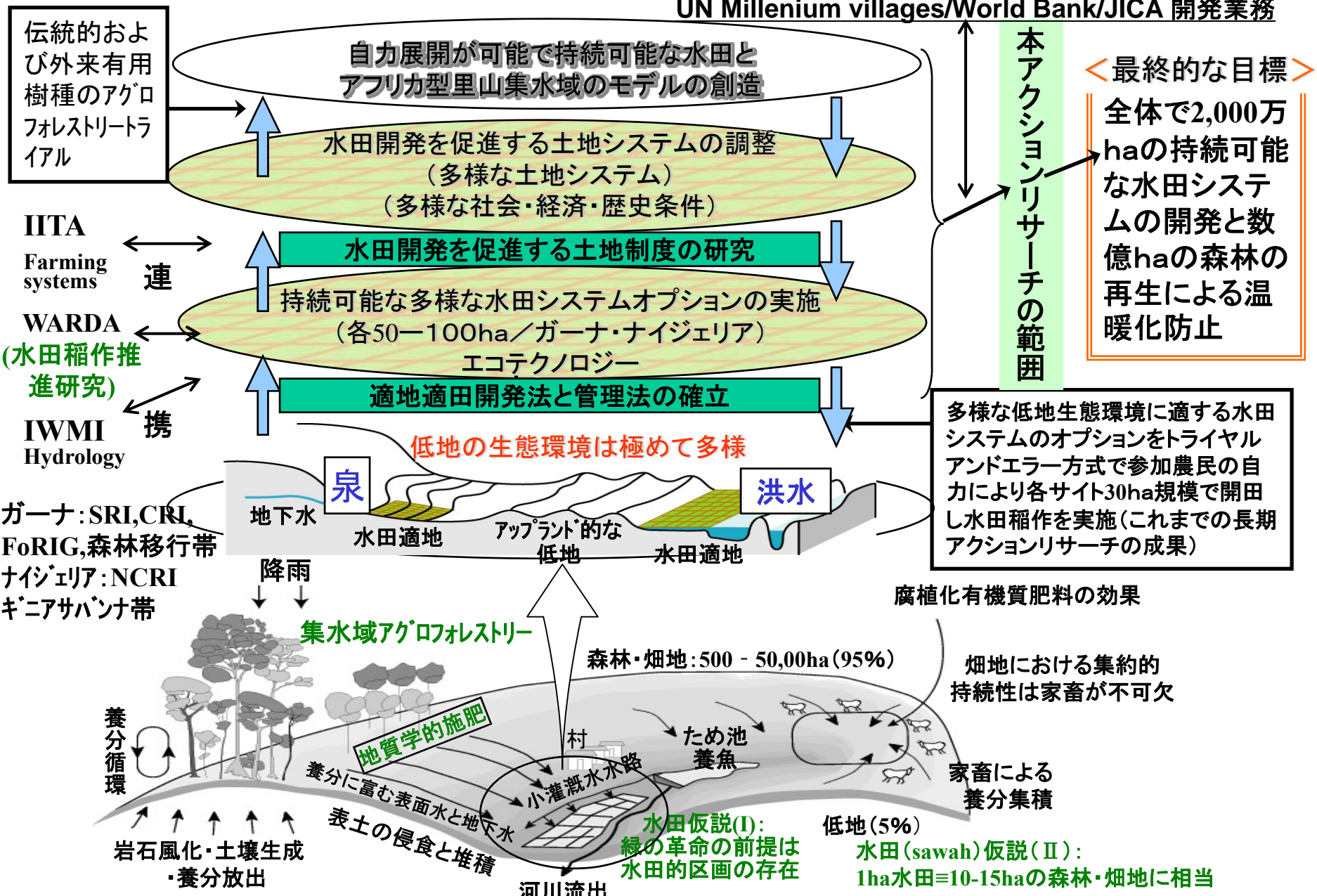
サブサハラアフリカにおける各種低地の分布面積

(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。



<最終的な目標>
全体で2,000万haの持続可能な水田システムの開発と数億haの森林の再生による温暖化防止

本アクションリサーチの範囲

多様な低地生態環境に適する水田システムのオプションをトライアルアンドエラー方式で参加農民の自力により各サイト30ha規模で開田し水田稲作を実施(これまでの長期アクションリサーチの成果)

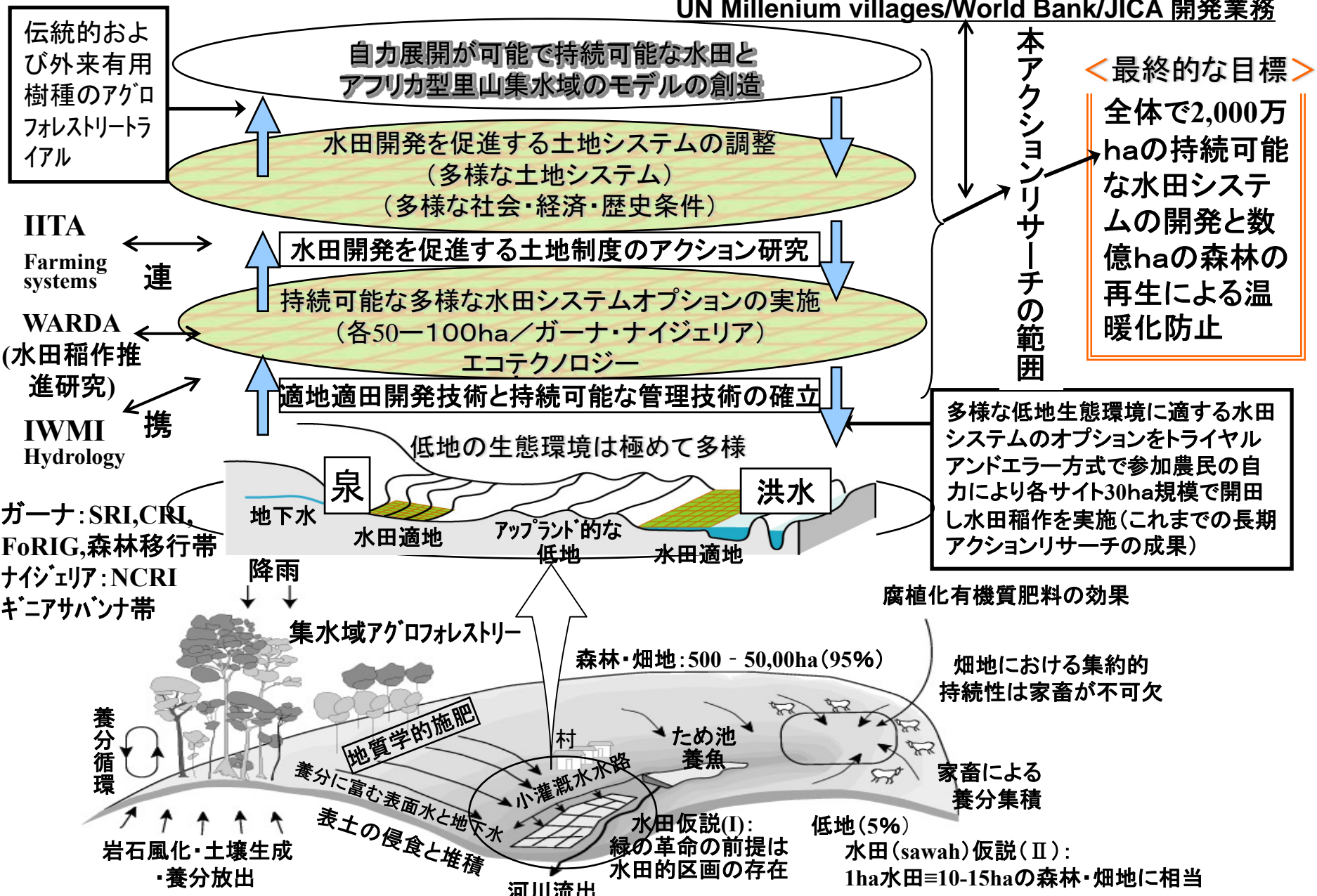
IITA
Farming systems

WARDA
(水田稲作推進研究)

IWMI
Hydrology

ガーナ: SRI, CRI, FoRIG, 森林移行帯
ナイジェリア: NCRI
ギニアサバンナ帯

科研、特別推進研究(2007-2011年度)の基本コンセプト:
「水田エコテクノロジーによる西アフリカ緑の革命実現とアフリカ型里山集水域の創造」



<最終的な目標>
 全体で2,000万haの持続可能な水田システムの開発と数億haの森林の再生による温暖化防止

多様な低地生態環境に適する水田システムのオプションをトライアルアンドエラー方式で参加農民の自力により各サイト30ha規模で開田し水田稲作を実施(これまでの長期アクションリサーチの成果)

IITA
Farming systems

WARDA
(水田稲作推進研究)

IWMI
Hydrology

ガーナ: SRI, CRI, FoRIG, 森林移行帯

ナイジェリア: NCRI

ギニアサバンナ帯

科研、特別推進研究(2007-2011年度)の基本コンセプト:
「水田エコテクノロジーによる西アフリカ緑の革命実現とアフリカ型里山集水域の創造」

