

(2015年5月21日、東京農大特別講義「アフリカにおける水田農業の普及」、同5月24日、京都大学、第22回地球環境フォーラム「アフリカ水田農法とアジア・アフリカ連携」、同9月11日、日本土壌肥料学会京都大会公開シンポジウム「土壌はアフリカを養えるのか」の統合講演資料。文章の一部は、雑誌「現代農業」、2015年3月号と10月号で発表した<http://www.ruralnet.or.jp/gn/201503/iken.htm>)

## アフリカ水田農法(Sawah Technology)による稲作革命の実現と土と水と平和構築

若月利之(島根大学 名誉教授) ホームページ <http://www.kinki-ecotech.jp/>

### 1、爆発的に増加するアフリカの米生産とコメ消費

FAOSTAT(2015年)のデータによれば、アフリカ(サハラ以南)の人口は過去50年で2.5億から9.5億人と3.8倍、コメ生産量は6倍増した。とりわけナイジェリアを中心とする西アフリカではさらに顕著で、0.9億から3.3億人と3.7倍の人口増に対して、コメ生産量は9倍増した。この間一人当たりの年間コメ消費量は10kg以下から30kgと、アジア人のコメ消費の40%の水準に達した。一方、アジアは17億から43億人と2.4倍増、米生産は3倍増であった。西アフリカ、とりわけアフリカNo.1の米生産と消費国となったナイジェリアの増産がめざましく、コメ生産は過去50年で20倍以上になった。しかし人口と消費増の相乗効果で急拡大するコメ需要をまかなえず、自給率は50%程度で、さらなるコメの増産が求められている。

**表. サブサハラアフリカの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。**データソースはFAOSTAT2015、籾と精米の重量換算率は0.625 x 籾重量 = 精米重量とした。全データは各5年の平均値である。ただし2008年は単年度、2011-2013は3年間の平均値。

	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2008	2006 -2010	2011	2012	2013
人口(百万人)	247	280	319	367	423	487	559	639	727	829	829	897	921	945
作付面積(1000ヘクタール)	2694	3110	3556	4114	4469	5292	6222	6803	7453	8593	8611	9920	10577	10249
作付面積指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	70.2	81.1	92.7	107	117	138	162	177	194	224	225	259	276	267
籾生産量(1000トン)	3531	4330	5149	5835	6735	8830	10062	11243	12388	17068	17274	20500	22817	22604
籾生産量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	64.3	78.8	93.8	106	123	161	183	205	226	311	315	373	415	412
精米換算生産量(1000トン)	2207	2706	3218	3647	4210	5519	6289	7027	7742	10667	10796	12812	14261	14128
籾収量(トン/ヘクタール)	1.31	1.39	1.45	1.42	1.51	1.67	1.62	1.65	1.66	1.99	2.00	2.07	2.16	2.21
籾収量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	91.4	97.1	101	99.0	105	116	113	115	116	139	139	144	151	154
精米換算収量(トン/ヘクタール)	0.82	0.87	0.90	0.89	0.94	1.04	1.01	1.03	1.04	1.24	1.25	1.29	1.35	1.38
精米換算年間輸入量(1000トン)	600	696	904	1866	2847	3057	3838	4470	7754	8654	8953	10221		
自給率(%)	78.8	79.5	78.1	66.9	59.6	64.2	62.1	61.2	50.0	55.2	54.3	55.6		
精米換算輸入価格(ドル/トン)	135	156	267	35.9	34.3	27.6	29.4	30.3	24.1	55.6	42.8	54.1		
精米換算年間一人当たりの消費量(kg/人)	11.3	12.1	12.9	15.0	16.7	17.6	18.1	18.0	21.3	23.3	23.8	25.7		

**表. 西アフリカの1961-2013年間の稲作市場関連データの変遷。**データソースはFAOSTAT2015、籾と精米の重量換算率は0.625 x 籾重量 = 精米重量とした。全データは各5年の平均値である。ただし2008年は単年度、2011-2013は3年間の平均値。

	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2008	2006 -2010	2011	2012	2013
人口(百万人)	90.3	101	114	130	149	170	195	222	253	289	289	314	322	331
作付面積(1000ヘクタール)	1515	1603	1826	2137	2434	3095	3817	4207	4725	5251	5314	5947	6641	6433
作付面積指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	76.4	80.9	92.1	108	123	156	193	212	238	265	268	300	335	325
籾生産量(1000トン)	1571	2035	2430	2890	3683	5119	6171	6948	7383	10391	10224	12116	14618	14574
籾生産量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	59.1	76.5	91.4	109	138	192	232	261	278	391	384	455	549	548
精米換算生産量(1000トン)	982	1272	1519	1807	2302	3199	3857	4342	4614	6494	6390	7573	9136	9109
籾収量(トン/ヘクタール)	1.04	1.27	1.33	1.35	1.51	1.65	1.62	1.65	1.56	1.98	1.92	2.04	2.20	2.27
籾収量指数(1971-1980の平均値を基準値100とした)	77.3	94.7	99.2	101	113	123	121	123	117	148	143	152	164	169
精米換算収量(トン/ヘクタール)	0.65	0.79	0.83	0.84	0.95	1.03	1.01	1.03	0.98	1.24	1.20	1.27	1.38	1.42
精米換算年間輸入量(1000トン)	333	403	477	1188	1809	1852	2401	2801	5043	5496	5574	6309		
自給率(%)	74.9	75.9	76.1	61.9	56.0	63.0	61.6	60.9	47.7	54.2	53.1	54.6		
精米換算輸入価格(ドル/トン)	133	148	253	362	342	261	274	291	232	545	413	516		
精米換算年間一人当たりの消費量(kg/人)	14.5	16.6	17.5	22.9	27.6	29.6	32.2	32.1	38.2	41.5	41.3	44.3		

**表. アジアの1961-2013年間の稲作生産と稲作市場関連データの変遷。**データソースはFAOSTAT2015、粳と精米の重量換算率は0.625 x 粳重量 = 精米重量とした。全データは各5年間の平均値である。ただし2008年は単年度、2011-2013は3年間の平均値。

	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2008	2006 -2010	2011	2012	2013
人口 (百万人)	1765	1983	2236	2482	2737	3027	3365	3625	3853	4076	4076	4210	4255	4299
作付面積 (百万ヘクタール)	111	118	124	128	129	130	132	137	135	143	141	144	144	147
作付面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	88.4	93.7	98.3	102	102	103	105	109	107	114	112	114	114	117
粳生産量 (百万トン)	222	264	302	342	406	448	487	537	544	624	612	655	665	671
粳生産量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	68.9	82.0	93.8	106	126	139	151	167	169	194	190	203	207	209
精米換算生産量 (百万トン)	139	165	189	213	254	280	305	335	340	390	383	409	416	419
粳収量 (トン/ヘクタール)	1.99	2.23	2.43	2.66	3.15	3.44	3.69	3.91	4.04	4.36	4.34	4.54	4.61	4.57
粳収量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	77.9	87.5	95.5	105	124	135	145	153	159	171	170	178	181	179
精米換算収量 (トン/ヘクタール)	1.24	1.39	1.52	1.66	1.97	2.15	2.31	2.44	2.53	2.73	2.71	2.84	2.88	2.85
精米換算年間輸入量 (1000トン)	5343	5527	5445	5675	5546	5208	7096	11719	11578	13991	13298	14908		
自給率 (%)	96.3	96.7	97.2	97.4	97.8	98.2	97.7	96.6	96.7	96.5	96.6	96.5		
精米換算輸入価格 (ドル/トン)	125	162	270	366	379	324	383	365	312	770	622	726		
精米換算年間一人当たりの消費量 (kg/人)	81.4	85.8	86.8	88.3	94.6	94.3	92.6	95.7	91.2	99.2	97.1	101		

**表. ナイジェリアの1961-2013年間の粳生産とコメ市場関連データの変遷。**データソースはFAOSTAT2015、粳と精米の重量換算率は0.625 x 粳重量 = 精米重量とした。全データは各5年間の平均値である。ただし2008年は単年度、2011-2013は3年間の平均値。

	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2008	2006 -2010	2011	2012	2013
人口 (百万人)	48.2	53.7	60.4	69.5	79.8	90.8	103	117	133	151	151	164	169	174
作付面積 (1000ヘクタール)	179	234	289	332	630	1069	1678	2053	2271	2382	2366	2269	2864	2600
作付面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	57.7	75.4	93.0	107	203	344	541	661	732	767	762	731	923	838
粳生産量 (1000トン)	207	321	470	596	1300	2216	2980	3248	3139	4179	3885	4613	5433	4700
粳生産量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	38.9	60.2	88.2	112	244	416	559	609	589	784	729	865	1019	881
精米換算生産量 (1000トン)	130	201	294	373	813	1385	1862	2030	1962	2612	2428	2883	3396	2938
粳収量 (トン/ヘクタール)	1.15	1.36	1.67	1.71	2.06	2.10	1.78	1.59	1.38	1.75	1.66	2.03	1.90	1.81
粳収量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	67.9	80.7	98.8	101	122	124	106	94.0	81.7	104	98.3	120	112	107
精米換算収量 (トン/ヘクタール)	0.72	0.85	1.04	1.07	1.29	1.31	1.11	0.99	0.86	1.10	1.04	1.27	1.19	1.13
精米換算年間輸入量 (1000トン)	1.28	1.09	3.73	408	492	289	329	647	1436	971	1241	2187		
自給率 (%)	99.0	99.4	98.8	51.0	62.7	81.7	84.8	76.2	57.8	72.9	66.5	56.9		
精米換算輸入価格 (ドル/トン)	220	197	404	565	463	258	275	337	222	795	512	568		
精米換算年間一人当たりの消費量 (kg/人)	2.71	3.75	4.92	11.1	16.4	18.3	21.3	22.9	25.6	23.7	24.2	30.9		

**表. マダガスカル島の1961-2013年間の粳生産とコメ市場関連データの変遷**

データソースはFAOSTAT2015、粳と精米の重量換算率は0.625 x 粳重量 = 精米重量とした。

	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2008	2006 -2010	2011	2012	2013
人口 (百万人)	5.49	6.24	7.16	8.27	9.47	10.9	12.7	14.8	17.3	19.9	19.9	21.7	22.3	22.9
作付面積 (1000ヘクタール)	843	986	1042	1147	1183	1142	1166	1187	1227	1284	1395	1464	1549	1300
作付面積指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	77.0	90.1	95.2	105	108	104	107	108	112	117	127	134	142	119
粳生産量 (1000トン)	1563	1779	1943	2037	2087	2271	2430	2511	2898	3914	4055	4300	4551	3611
粳生産量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	78.5	89.4	97.6	102	105	114	122	126	146	197	204	216	229	181
精米換算生産量 (1000トン)	977	1112	1214	1273	1305	1420	1519	1569	1811	2446	2535	2688	2844	2257
粳収量 (トン/ヘクタール)	1.85	1.80	1.87	1.78	1.76	1.99	2.08	2.12	2.36	3.05	2.90	2.94	2.94	2.78
粳収量指数 (1971-1980の平均値を基準値100とした)	102	99.0	102	97.6	96.8	109	114	116	129	167	159	161	161	152
精米換算収量 (トン/ヘクタール)	1.16	1.13	1.17	1.11	1.10	1.24	1.30	1.32	1.47	1.91	1.81	1.84	1.84	1.74
精米換算年間輸入量 (1000トン)	17.0	15.1	67.1	104	214	94.8	46.2	87.5	190	169	151	201		
自給率 (%)	98.4	98.7	94.8	92.5	86.1	93.8	97.1	94.9	90.8	93.6	94.2	93.0		
精米換算輸入価格 (ドル/トン)	76.0	77.6	236	293	263	302	315	288	198	473	387	479		
精米換算年間一人当たりの消費量 (kg/人)	181	180	179	167	160	139	124	112	116	131	134	133		

## 2、アフリカの稲作革命がスタートした

2008年のコメ危機と価格高騰以降、アフリカのコメ増産はさらに加速度がつき2009-2013年までの5年間で、粳生産は60%増産し、年間2300万トンの生産を達成した。国際協力機構 JICA のコメ増産支援の国際協力政策(CARD)も貢献した。アフリカ第2位の米生産国マダガスカル、マリ(同4位)、象牙海岸国(同6位)では、水田基盤整備の進化段階はア

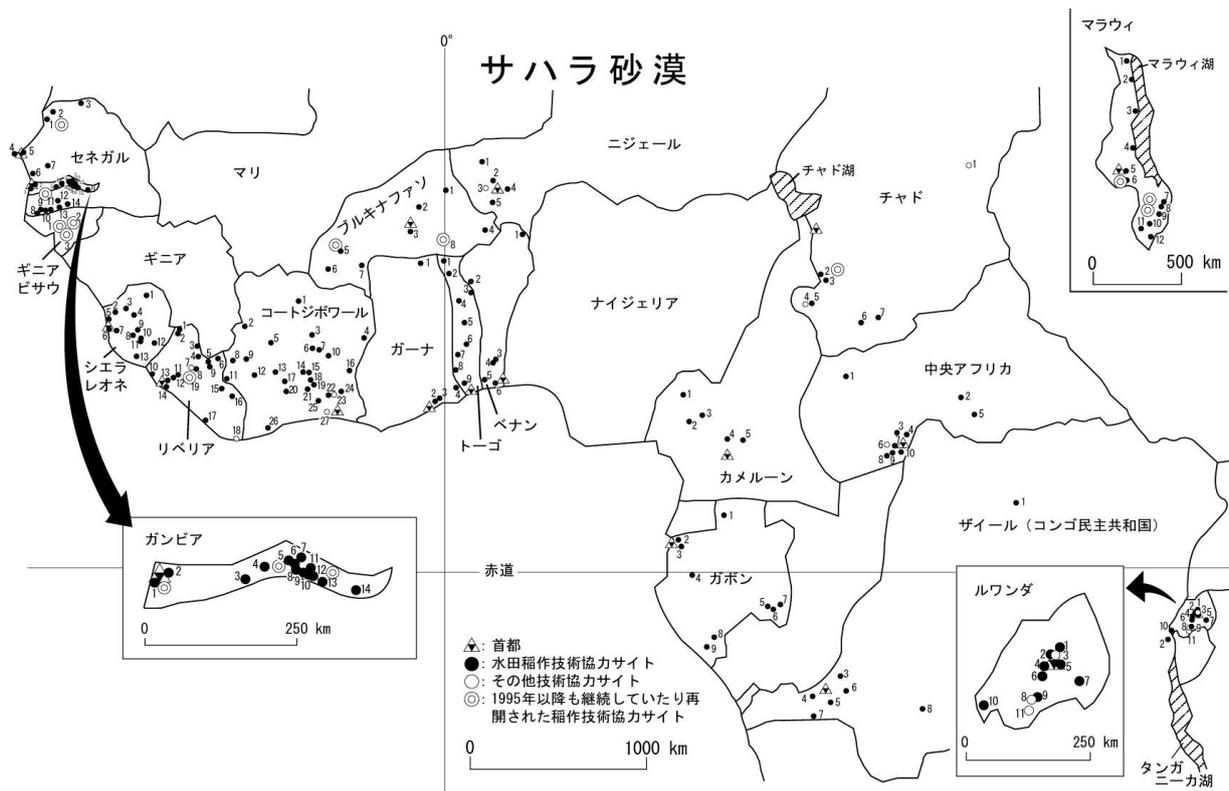
ジアのレベルに近くなり、粳収量はヘクタール当たり 3 トンの以上の水準に達し、すでに稲作の緑の革命が実現したと言える国も現れた。下表は、アフリカ諸国の米生産量ランキングを 2011-13 年の平均粳生産量で示した。ナイジェリアは過去 50 年で 25 倍の増産を実現した。

**Table 1. Ranking Trend of Paddy Production (x1,000 ton) of Major Sub Saharan African Countries During 1961-2013. (This rank is based on the mean annual paddy production during 2011-13; Data source: FAOSTAT 2015) Blue >10 times increase, Green >5 times increase, Red decrease**

Country	Rank (2011-13)	1961 -1965	1966 -1970	1971 -1975	1976 -1980	1981 -1985	1986 -1990	1991 -1995	1996 -2000	2001 -2005	2006 -2010	2011 -2013
Nigeria	1	207	321	470	596	1300	2216	2980	3248	3139	3885	4915
Madagascar	2	1563	1779	1943	2037	2087	2271	2430	2511	2898	4055	4154
UR Tanzania	3	120	121	229	320	330	653	579	743	1035	1591	2081
Mali	4	172	158	174	191	165	274	447	678	849	1603	1956
Guinea	5	230	286	355	441	548	680	844	1048	1150	1446	1881
Côte d'Ivoire	6	220	321	388	479	451	621	673	624	665	779	1456
Sierra Leone	7	336	457	502	563	484	501	446	316	490	849	1158
Ghana	8	34	53	66	92	64	80	161	213	264	324	505
Senegal	9	100	114	88	97	127	155	172	178	218	380	487
DR Congo	10	62	146	198	220	273	351	404	344	317	317	341
Burkina Faso	11	32	38	35	42	44	38	57	98	92	172	289
Liberia	12	125	158	222	247	286	271	76	170	124	256	276
Chad	13	29	36	42	33	21	56	84	112	123	146	261
Mozambique	14	94	86	110	62	82	93	74	175	107	148	257
Uganda	15	3.2	6.6	15	22	19	33	71	91	128	184	220
Benin	16	1.0	2.4	8.7	13	7.4	9.3	12	34	64	98	215
Mauritania	17	0.6	0.7	2.7	6.2	20	49	51	82	75	85	199
Guinea-Bissau	18	48	40	38	52	96	109	127	99	90	155	194
Cameroon	19	10	16	18	52	77	65	38	51	52	99	183
Togo	20	21	19	16	15	15	25	40	79	67	94	146
Ethiopia	21							10	14	13	57	131
Kenya	22	14	20	33	40	42	48	47	48	48	52	127
Malawi	23	5.8	14	56	70	34	37	49	74	73	113	118
Rwanda	24	0.0	0.7	2.1	3.4	6.1	7.8	11	9.0	35	71	86
Burundi	25	2.7	3.3	5.4	7.9	13	33	37	52	63	74	66
Gambia	26	33	34	30	27	30	23	18	23	25	52	58
Zambia	27		0.4	0.8	2.3	7.6	10	11	12	14	30	46
Sudan (former)	32	1.2	2.4	6.3	10	4.5	1.1	1.3	5.0	18	25	25

### 3、アフリカ水田稲作の国際協力のパイオニア：台湾

戦前の 1930 年に、台湾の嘉南平原に 15 万ヘクタールの灌漑水田を完成させた八田與一は、映画 KANO（嘉農）に登場し、今日の台湾発展の基礎を作った日本人として、台湾で最も愛されている（李登輝、「新・台湾の主張」2015 年、PHP 新書）。1955 年、インドネシア、バンドンでのアジア・アフリカ会議後、アフリカ諸国も続々独立した。その独立直後の 1961-75 年、台湾はアフリカ全域にわたって、灌漑水田開発の大規模な国際協力を実施した。当時人口 1200 万人にすぎなかった台湾は、25-35 才の水田技術者を全国公募で選抜し、訓練後、年間 1200 人をアフリカ 21 ケ国に派遣して、灌漑水田 1.7 万 ha を開発した。40-50 代チームリーダーの下で 5-10 人の小隊を組み、アフリカの農村に 2-3 年駐屯し、農民を訓練しながら開田と稲作を実施した。「国連での中国との正統権争い」という国家の存亡をかけた戦いの一部として、台湾の若者がアフリカに「海外派遣」された（若月利之・謝順景「アフリカ稲作開発協力史—その 1 台湾」国際農林業協力 Vo. 26 (No3), 2003）。



**台湾がアフリカへの水田稲作導入のパイオニア**：1960～75年(Phase I)および1995～2000年(Phase II)に実施した水田稲作技術協力の主な国と分隊あるいは小隊が駐在して技術協力を行ったサイト。(ただしギニアビサウは1990～98年に実施。)

#### 4、私の西アフリカ水田稲作研究の開始：1986年

私は1986-9年、JICA（国際協力機構）専門家として、ナイジェリアの国際熱帯農業研究所(IITA)に派遣され、セネガルからコンゴまで、西・中部アフリカ全域の稲作地帯の土壌と地形と水、そして稲作システムを、4輪駆動車で5万キロを走破しながら調査した。又、ナイジェリア中部のビダ市付近のニジェール川低湿地で、農民の自力で可能な灌漑水田開発と水田稲作技術（Sawah 技術）の研究開発と実証活動を開始した。これにより「水田はアフリカを救う」(<http://www.kinki-ecotech.jp/download/JICAExpert1989No.2.pdf>) ことを確信した。以後29年、広大なアフリカでの歩みは遅々としているが、近年、特に2008年のコメの国際価格の高騰以降、アフリカの水田稲作は急速な進化と発展の段階に入った。

#### 5、台湾の活動以降の、アジア諸国のアフリカでの水田稲作協力

アフリカ水田稲作協力のパイオニアとしての台湾の活動は、1970年代半ば突然の中止に追い込まれた。外交権闘争に勝利した中国が、台湾の水田稲作技術協力を継承発展させることはなかったからである。私がIITAに派遣されていた1980年代によく聞かされた、サブサハラのアフリカの水田稲作について、欧米諸国の研究者による大変ネガティブな評価は、このような台湾と中国との外交権の交代に伴う一時的な停滞期に由来する。しかしながら、台湾が先鞭をつけた水田稲作協力はその後、日本、韓国、中国、北朝鮮、インド、パキスタン、タイ、インドネシア、マレーシア、ベトナム等のアジア諸国に引き継がれた。今年のバンドン「アジア・アフリカ」会議60周年を契機にさらに拡大すると考えられる。日本

は 2008 年に「アフリカ稲作振興のための共同体 (CARD)」プログラムを開始し、2018 年までの 10 年間でアフリカのコメ生産を 1,400 万トンから 2,800 万トンに倍増させる目標を表明した。過去 50 年、とりわけ近年の米生産の動向から見て目標達成は難しくない。

## 6、アフリカの稲作革命は水田稲作の進化と拡大が牽引

水田稲作は低地を均平化して畔で囲いかつ水の出入り口を作り、水の管理を可能にしながら行う稲作で、技術は世界共通である。アジアの専売特許ではない。農機具と農法の進化と水田基盤の進化は「共進化」する。ただし、世界の地形、土壌、水文、気候、社会経済及び歴史は多様であり、世界の水田農業は多様な進化発展段階をたどっている。

しかし、ナイジェリアを典型として、その他の大部分のアフリカ諸国の稲作は、以下の日本の水田稲作進化の 6 段階で言えば、現在は(1)-(3)の水田稲作の進化段階にある。アフリカの稲作革命を牽引するナイジェリアのケッピ州やマダガスカル、セネガル、マリあるいはガーナでは、急速に水田稲作は(4)と(5)の段階に進化し拡大しつつある(以下の写真、アフリカの水田稲作進化の 6 段階の(I)と(II))。

## 7、水田稲作進化の 6 段階

鋤と草刈鎌が主要な農具である場合は(1)畔なし灌漑なしの陸稲稲作を典型とする「非水田稲作」、(2)日本の弥生前期に見られた、灌漑はあるが「小区画準水田稲作」、現在の西アフリカで良く見られる(3)氾濫原湿地での「畦立て稲作」段階までの 3 段階が、水田稲作の原初的進化段階と言える。進化段階 1-3 まででは緑の革命の 3 要素近代農業技術技術（高収量品種、灌漑排水、肥料農薬）は無効である。

# アフリカの稲作と水田稲作進化の6段階 (I)

シエラレオーネ、内陸小低地の**非水田湿地稲作(進化段階1)** 1987年



ギニアの**陸稲栽培とフォニオ栽培** 2002年(進化段階1、あるいは 0段階?)

ナイジェリア、ヌペ人の「**小区画水田**」と**畝立湿地稲作(進化段階2と3)**:灌漑設備あり



ナイジェリア、ヌペ人の「**畔有り畝立**湿地稲作」(進化段階3):灌漑設備あり



## 水田稲作進化の6段階(II)



スマトラ島の水田(Sawah)と牛耕、(進化段階4)一筆水田の均平化度±5cm

現在の日本で進行中のレーザーレベラー  
トラクターによる1筆1ha以上の大区画化  
(進化段階6)均平化度±2.5cm(Kubota Co)



ガーナ、アシャンティ州で「アフリカ水田農法」  
で農民が自力化開発した標準的水田(進化  
段階5)一筆水田の均平化度±5cm



大区画水田での田植作業(進化段階6)

日本で本格的な水田稲作は、畜力による鉄製の鋤耕作が導入された条里制以降の(4)「伝統的水田稲作」段階が長く1000年以上の歴史を持つ。その後、1960年代以降の耕耘機利用による(5)「標準的水田稲作」、2000年以降の湿地トラクターとレーザーレベラー利用による(6)「大区画高度均平化水田」段階等の進化段階を区別できる。

アフリカでは50年前までは水田のない稲作が大部分であった。1960年代の台湾による、アフリカへの水田農業導入の先駆的な活動に引き続いて、日本等による、お金をかけた各種のモデル灌漑水田の導入が続いた。しかし、広大なアフリカではこれら ODA 方式の灌漑水田稲作技術の定着と拡大はゆっくりしていた。しかし現在では Google 写真等により、以上の写真で見るとような、水田進化を系統づけることが可能な、各種形態の水田が見られるようになった。陸稲に加え自然に水が湛水する「非水田低地稲作」、日本の弥生前期の稲作と類似の、「小区画準水田」が大規模灌漑開発地でも、小低地でも見られる。10-15m<sup>2</sup> サイズのオアシス灌漑畑農地が水田の起源という説(古川久雄「オアシス農耕起源論」2011年、京大出版)を実証する農地が見られる。一筆のサイズ、均平化度、畔の質、灌漑排水の水利等から見て「標準的な段階まで進化した水田」が普及したマダガスカル、セネガル、象牙海岸、マリでは2013年までで緑の革命が実現したといえるレベルに達した(ただし、象牙海岸等、これら統計データの信頼性については十分検証の必要がある)。

サブサハラアフリカ最大の稲作国、ナイジェリアは2011-13年の年平均穀生産は490万トン(260万ha, 1.8t/ha)で、サブサハラアフリカ全体の22%を生産した。1984-86年の平均穀生産量は138万トンだったので、この間3.4倍に急増したが、その潜在生産力2000万トン(500万ha, 4t/ha)の4分の1にすぎない。この間人口とコメ消費も各々3倍増したので、自給率は50%と低下した。生産すればいくらでも売れる状態にある。しかし、ナイジ

エリアの数百万の小農の大部分は、他のサブサハラアフリカ諸国と同様、日本の弥生初期の非水田や小区画水田と同様の「原初的な水田稲作」であり、鋤一本にたよる稲作のため、その生産性は極めて低い。大部分のアフリカ諸国の水田進化段階は日本の弥生前期の小区画準水田に類似したものであることはアフリカの稲作振興政策に再考をせまる事実である。

## 8、アフリカの稲作革命のための3つの革新

アフリカの稲作革命は①イギリス産業革命の前段である16-18世紀の農業革命の基盤を作ったエンクロージャー（農地囲い込み）と同等と考えることのできる、水田区画による技術の進化条件の整備（水田仮説1）に加え、集約的持続性を可能にする水田の多面的機能の理解（水田仮説2）、②1960-70年代のアジア・ラテンアメリカの緑の革命の3要素技術（高収量品種・灌漑排水・肥料農薬）、③2000年代から始まるアジアの農業機械化等、3つ革新が一体となって、2005-10年ころから発展期に入った。我々が推進しているアフリカ水田農法（アフリカ特有の低湿地に、耕運機等の適正農機を使い、農民が自力で新規水田開発と水田稲作を同時に実施する技術で、現地ではSawah technologyと呼んでいる。Sawahはインドネシア語で水田を意味する。アフリカ水田農法は上記の3つの革新を融合した技術で、ナイジェリアとガーナの稲作農民と技術者によって、当初はアフリカ型里山の内陸小低地で「谷地田農法」として開発され、試行錯誤の中で進化してきた。

## 9、アフリカ水田農法の基本技術

アフリカ水田農法は4つの基本技術よりなる。現在の日本の稲作農民には消えてしまった（1）水田適地を選定して、地形と土壌と水文に適する適田システムの設計、（2）ブルドーザー等の重機ではなくて、耕運機等の適正農機による効率的で経済的な灌漑水田開発技術である。

表2 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

(1) 適地・適期選定と適田システム設計のポイント
(a) 農民が15ha以上の低湿地で稲を栽培しており、自立心旺盛で、稲作技術とビジネス向上に強い意欲を持つ
(b) 水文と水資源及び氾濫洪水強度と期間
i) 内陸小低地の重力水灌漑: >流量30リットル/秒、流水継続期間5ヶ月以上、氾濫等最大水量<10トン/秒
ii) 氾濫原の重力水灌漑: >流量30リットル/秒、流水継続期間5ヶ月以上、氾濫等最大水量<10トン/秒
iii) 氾濫原の浅管井戸ポンプ灌漑: 地下水位<10m、氾濫時期を避けて個人ベースで経済的に乾季作が可能
(c) 地形と土壌: 勾配<3%, <1%なら均平化が容易、砂+シルト含量<90%、内陸小低地では<95%
(d) 持続可能な土地利用権: 個人所有がベストだが、5-10年以上の借地契約でも本農法は持続可能
(e) 適田システムのデザイン: 地形と土壌と水源の観察に基づく個々の水田と水田集団の中小の畔のレイアウト、水田の標準的均平化度(1筆±5cm)の実現、耕運機使用稲作、干ばつ、氾濫対策も考慮してデザイン
(f) 取水、分水、貯水(地下水涵養)、排水システム: 小中河川の簡便な土のう堰、泉や浸出水の集水分水路、ため池や養魚池、小中のポンプ利用と<20m深度(将来的には<50-100m)の管井戸切削、小中の排水路
(g) 荷物運搬や耕耘機用、あるいは洪水対策用の作業路兼堤防等の位置とサイズ構造等のデザイン
注1): 農民と技術者・普及員が連携して、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。技術者は現場の水文の動態を知らない。
注2): 重力灌漑は燃料が不要なので経済的だが、水田面積>50ha以上になると、堰や水路の維持管理にコミュニティの共同作業が必要となるが、現状では困難な場合が多い。ポンプ灌漑はこの共同作業が不要。
注3): パラドックスであるが、適地選定とシステムデザインが適切ならアフリカの水田開発はアジアより大変容易
(2) 効率的で経済的な開発: 開発速度>3-5ha/年/耕耘機1台と開発コスト<1000-3000ドル/haを実現
(a) ヤブの開墾、抜根、畔作り、水路作り、耕運機用地表面の凸凹処理: 自力労働+補助的な雇用労賃
(b) 農具と資機材の購入費用: \$1000/10ha、2期作用のポンプと浅管井戸切削費用: \$1500-2000/10ha
(c) 耕運機購入費用: \$3000-4000/1台/10ha、維持管理費用: \$2000-3000/10ha(>10ha開田/3年为目标)
(d) On-the-Job訓練費用: 日当として技術者\$1000/ha、普及員\$500/ha、篤農\$250/ha
注1): 耕耘機の価格(アジア並なら1台\$2000)、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

ODA ではヘクタール当たりの開発コストは 2-3 万ドルであるが、アフリカ水田農法はこの 10 分の 1 以下である。この 2 つがアフリカ水田農法独自の中核技術である。ODA 等、外部技術者に開発を依存せずとも、農民の自力開発を可能にする技術である。残りの二つは、以下に示すように、これまで行われてきた、稲作分野の国際協力通常実施されるもので、(3) 水田開発が完了した後で行う水田稲作技術、(4) 稲作農民をエンパワーメントする社会経済的仕組み等である。

(表2続き)

(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				
(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、病害虫、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				
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。 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。				
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。				
(4) 稲作農民をエンパワーメントする社会経済技術				
(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				

## 10、谷地田農法からアフリカ水田農法への進化

2010-2011 年度に文科省科研費で「ナイジェリア北西部のケッピ州のソコト川とニジェール川大規模氾濫原で 2 台の中国製耕耘機（日本製は入手できなかった）で Sawah 技術のオンザジョブ訓練を実施」したら、州内の Arugungu 等の 4 地域で、農民グループが 18ha の自力水田開発を行い、合計 12.8 トン(平均籾収量 7.1t/ha)を実現した。州知事 Dakingari は、2013 年 9 月、首都 Abuja の経済サミットで、この成果を Kebbi Rice Revolution ([http://www.nigerianeconomicsummit.org/images/GovernorDakingari\(Kebbi\)\\_Plenary5.pdf](http://www.nigerianeconomicsummit.org/images/GovernorDakingari(Kebbi)_Plenary5.pdf)) と呼んだ。農民は 2014 年 5 月末までに、22 台の耕耘機を自費購入し、年間水田稲作面積（雨季と乾季合計）を 326ha に拡大し、2104 トン(6.5t/ha)の籾生産を実現した。これを受け州政府は 1000 台の耕耘機を購入し、2015 年 3 月末の大統領選後、1 万 ha 規模の水田開発と整備プロジェクトを開始した（と思われる）。内陸小低地をターゲットとしてきた Sawah 技術は大規模氾濫原でも展開できるようになり、谷地田農法からアフリカ水田農法に進化した。アフリカ型谷地田農法については、現代農業, 2009 年 11 月号(346 ページ～350 ページ)。

## 11、アジアの水田は農民が 1000 年かけて整備し、それが科学技術適用の前提となった。

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てきた。

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、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 2）。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のではないかと、思われる。現在の世界的なテロ戦争の背景と同根と思われる。

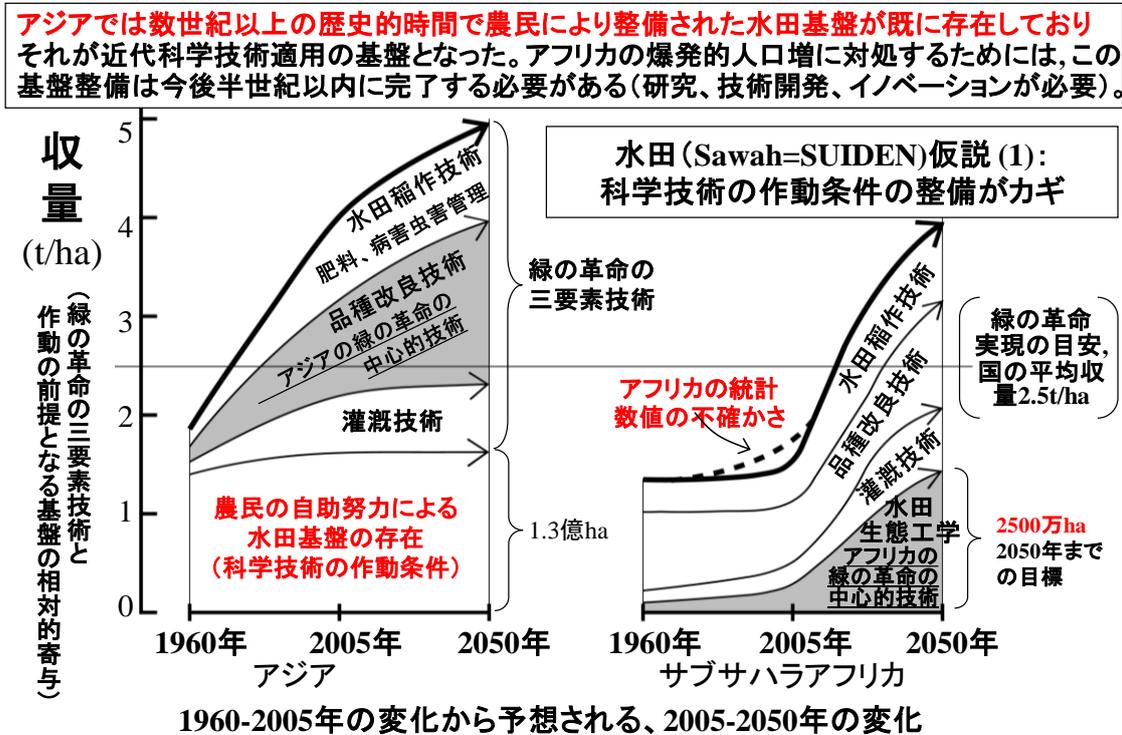


図2、アジアにおける1960-2005年の収量向上に貢献した技術の相対的寄与の推定と今後50年の予測をサブサハラのアフリカと比較

混沌とした農家圃場: 不均質で多種多様な生態環境が混在

- (1) 土・水・作物の管理は不可能
- (2) 土地所有権は重層的で多様なコミュニティによる共有型。
- (3) 市場価値のあるポストハーベストは適用不可能。

地形と土壌・水文に応じての水田区画造成は国造りの基盤: (生態工学: エコテクノロジー)

- (1) 水と土と作物の管理が可能
- (2) 土地所有や利用の管理が可能
- (3) 規格化された粃生産が可能、優良種子増産も容易。

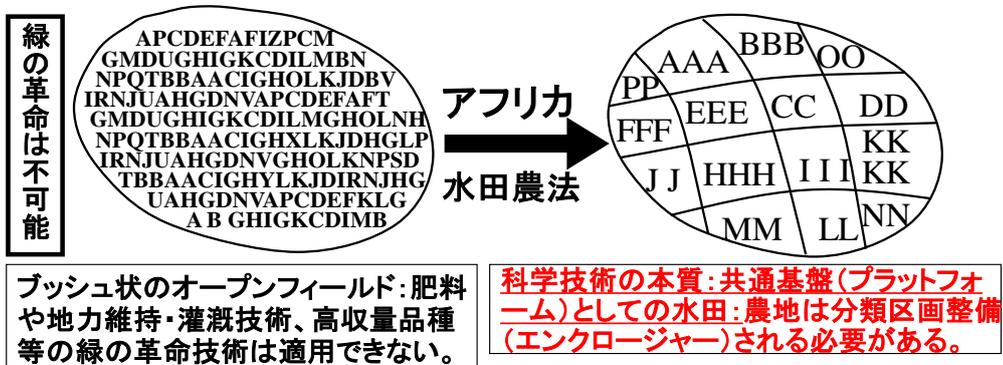


図.水田仮説 I: 水田的な地形と水及び土壌という生態環境で区画された圃場が必要: アフリカ独特の生態環境と社会経済条件及び過去500年の歴史的経過(奴隷・植民地)に由来する? と考えられる。



## 10、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水田等国土基盤の形成が阻害された。

日本は 1955 年のバンドンのアジア・アフリカ会議で、唯一招聘された先進国であった。上の図 1 等に示すように、過去 500 年の欧米のグローバリゼーションを修正するアジア・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、最近の中国によるアフリカ開発支援に比べ、存在感を失いつつある。

## 11、アフリカの稲作革命にみる水田の恐るべき生産能力

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無施肥で 2 トン（施肥すれば 4 トン）と約 2 倍の差がある。陸稲は休閑により地力の回復を図る必要がある。通常ヘクタール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。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。1 ヘクタールの水田は 10 ヘクタール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ことになると考えられる。最近国連サミットで採択された「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。

### 何故水田か；もう一つの理由。 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 陸稲 (upland) 栽培地

	焼畑の陸稲	水稲(Sawah)
面積比 (%)	95 %	5 %
収量 (t/ha)	1-3 <b>1以下</b>	3-6 <b>2程度</b>
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

今年 2015 年は、国際土壌年である。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、「畔で囲み均平化し代掻きする水田の機能」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、<https://smartiv.wordpress.com/>) により、水田 Sawah 技術の重要性がようやくアフリカでも理解されるようになった。

## 12、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

下図 3 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 の畑地や林地の保全を可能にする。即ち、水田は自然資本の増加にも貢献できる。

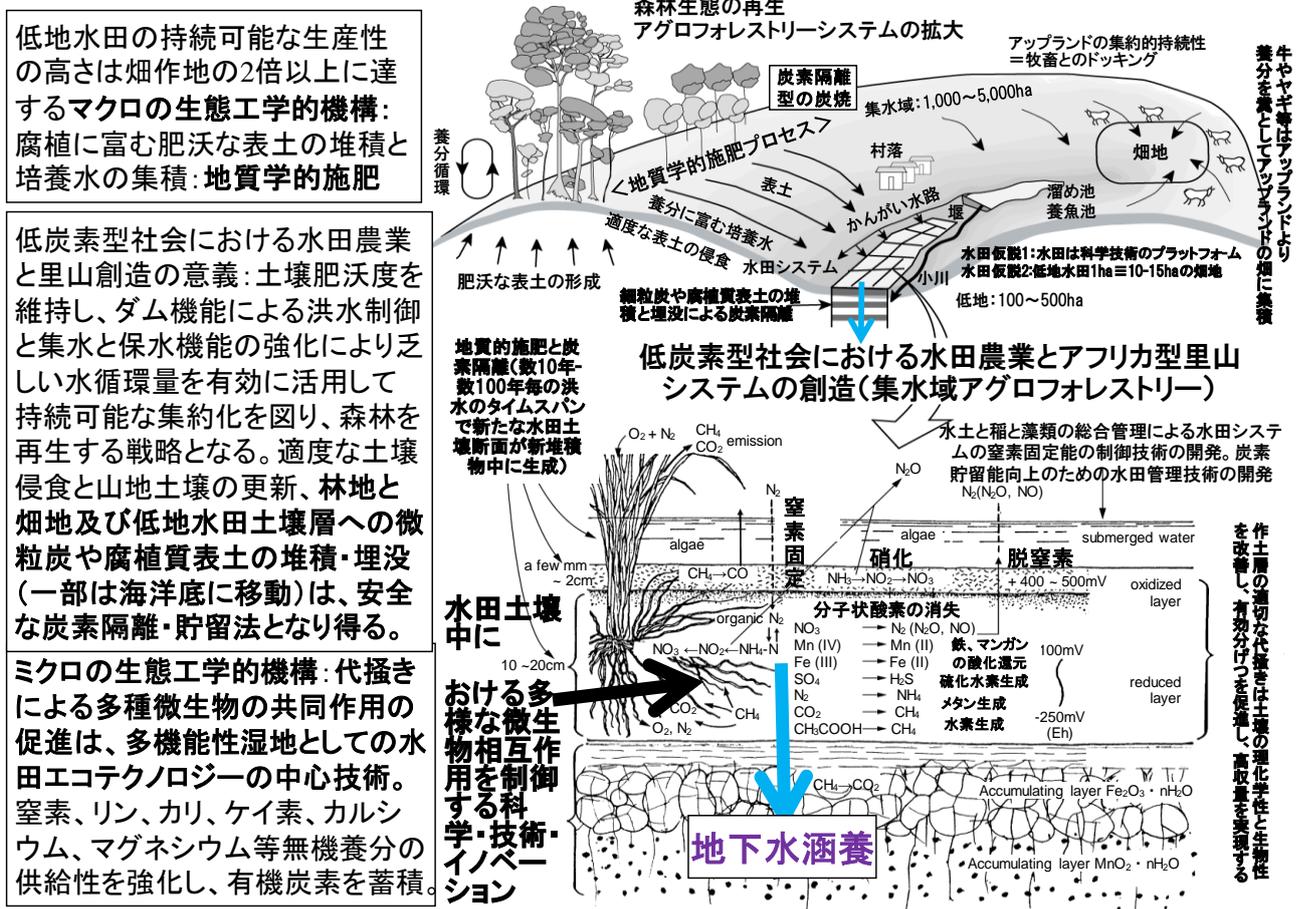


図3 水田仮説2: 集約的持続的な生産性の高さを背景にアフリカ型里山集水域を創造して地球温暖化防止

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。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、あるい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と推定され1000年でも20-50cmであるが、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以上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、3.2-12.5倍となる。

図3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装置である。適切な深度と強度の代か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1ヘクタール当たり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交化する。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。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げていない。

### 13、今だフロンテアのある土地面積に限界のないアフリカは地球社会の将来の希望の地。

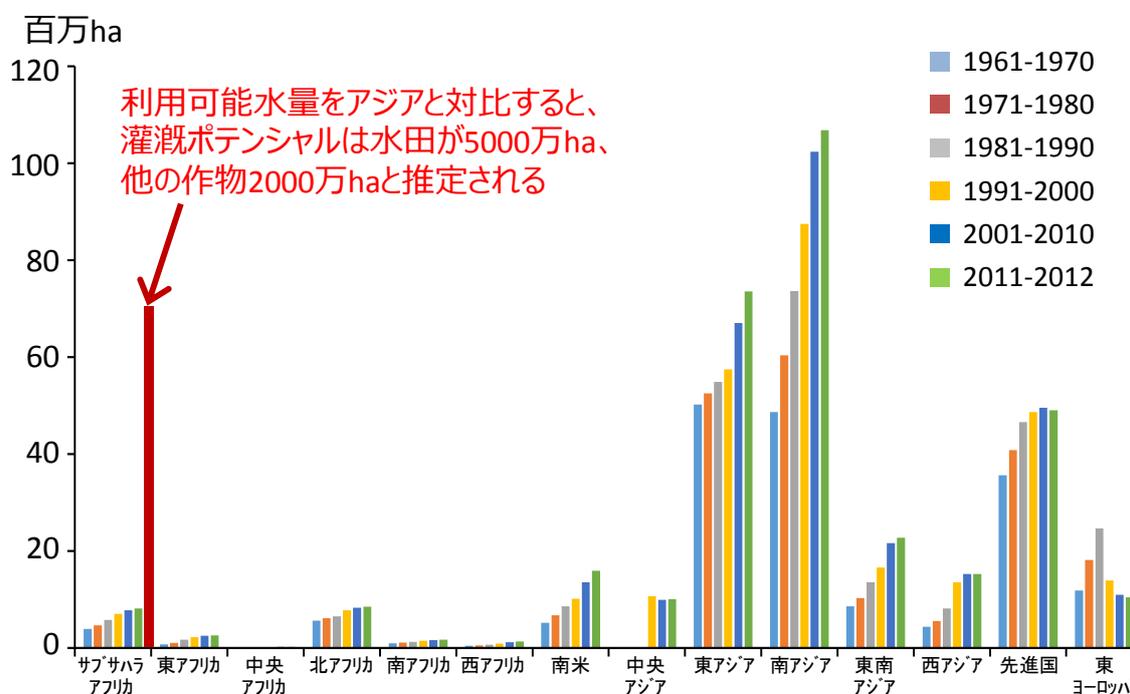
**表2. サブサハラアフリカの各種低地の分布面積。全低地2.4億ha (Windmeijer & Andriess 1993) のうちの灌漑水田面積の推定は著者による (Wakatsuki 2002, Wakatsuki et al. 2012)**

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	4-13 百万 ha (25-75%)
内陸デルタ(大低地) Inland delta(basins)	1.1億ha	1-10 百万 ha (1-10%)
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	9-20 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(1.3億haの灌漑水田)との比較から約5000万haのポテンシャルが推定される。

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。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規模の灌漑水田ポテンシャルが推定され（下の表2）、最大2億トン10億人分の食糧増産が期待できる。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。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貢献できる。

## 世界の灌漑稲作と灌漑畑作の合計面積の変遷

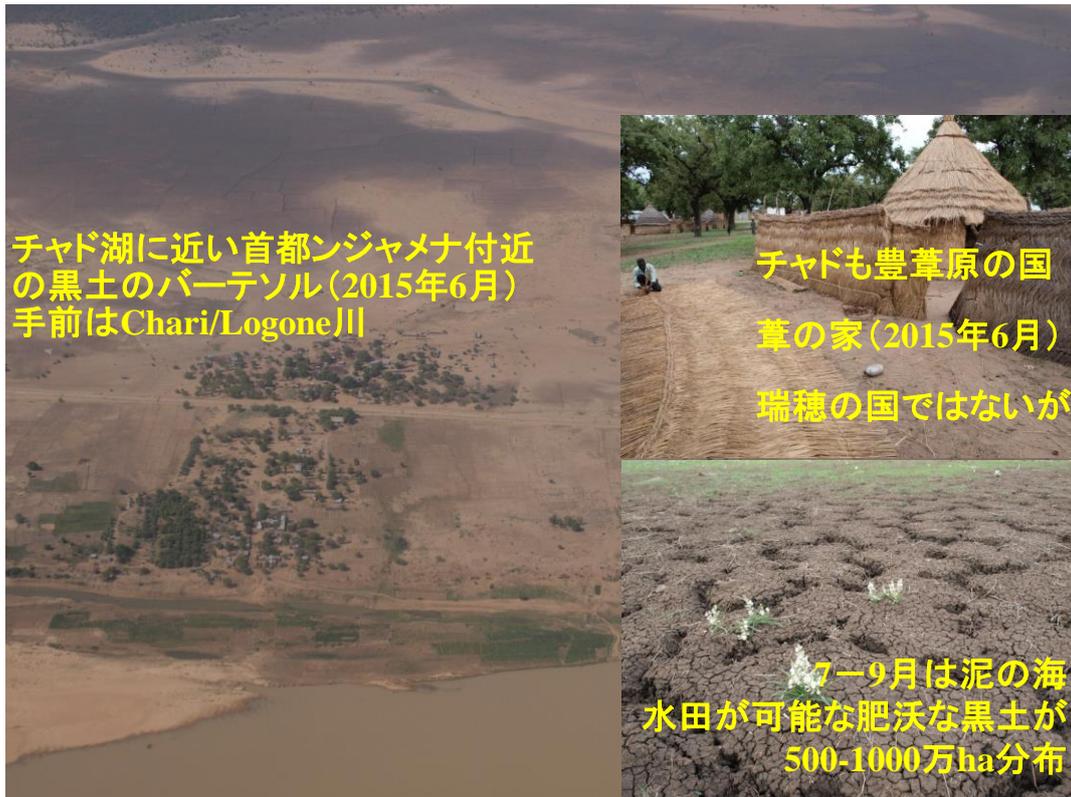


Data source: FAOSTAT 2015

### 14、チャド湖の消滅対策と淡水持続、スーダン・中央アフリカ・ボコハラム難民の定住化にアフリカ水田農法は貢献可能か？

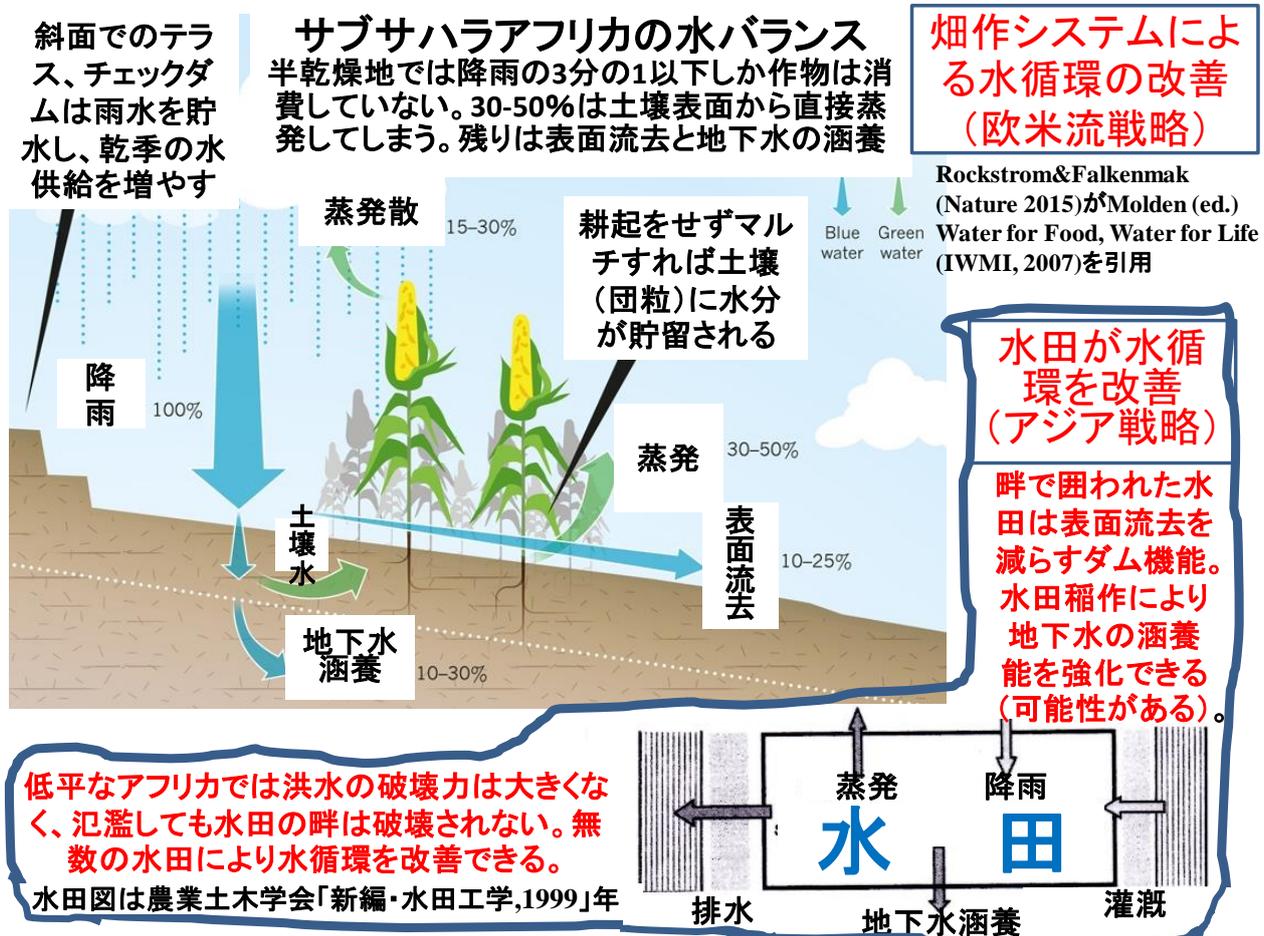
今年4月、チャドという国がアフリカ最大の低湿地、500-1000万ヘクタール規模の水田開発ポテンシャルを有していることに、初めて気がついた（今年6月チャドの国際移住機関IOMと共同調査を実施、次ページの写真）。低平な地形が広がるアフリカではダム湖の造成による重力灌漑水田開発は蒸発量の増大による水資源の無駄とダム湿地の造成による広大な土地を無駄にする。地下ダム機能を強化する、水田の地下水涵養機能の強化がカギとなる。ナイジェリアのケツビ州での稲作革命の成果が利用できる。ナセル湖ができる

前の、ナイルデルタで行われていた、アフリカ氾濫原農法（下のGoogleの写真）とアフリカ水田農法の融合がカギとなると思われる。



下の図に示したように、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壌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。



## 15、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造り）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、平和構築に貢献できる。