

アフリカの水文環境と灌漑開発

北 村 義 信

平成 4 年 5 月



農 林 水 産 省
熱帯農業研究センター

Technical Document of TARC No. 89, 1992

**Hydrology and Irrigation Development
in Africa**

Yoshinobu Kitamura

Tropical Agriculture Research Center
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

所 長 都 留 信 也

編集委員長 大 野 芳 和

編集委員 仲 谷 紀 男, 山 口 武 夫, 川 嶋 浩 二

村 田 伸 夫, 蘭 道 生, 尾 和 尚 人

アフリカの水文環境と灌漑開発

北 村 義 信

農 林 水 産 省
熱帯農業研究センター

目 次

I. アフリカの水利環境	1
1. アフリカの水資源と水収支	1
(1) マクロ的にみたアフリカの水利環境	1
(2) 河川・湖沼	1
(3) 地下水	4
2. 灌漑開発	4
(1) 概要	4
(2) 地域別灌漑事情の概要	8
(3) 水田開発	10
(4) 灌漑開発上の留意事項	13
3. 国際水利協定	14
II. ナイル河流域の水資源と灌漑開発	18
1. ナイル河流域の水資源	18
(1) ナイル河をめぐる水利（現況）	18
(2) 上流ナイル計画(Upper Nile Projects)	21
(3) その他の水資源	21
2. ナイル河流域の灌漑形態	22
(1) スーダン	22
(2) エジプト	26
III. 西アフリカ地域の農業環境と灌漑開発	29
1. 環境条件	29
(1) 地理的条件	29
(2) 気象条件	31
2. 水利条件	36
(1) ニジェール河流域	36
(2) セネガル河流域	47
(3) その他の水系	49
【付録1】 ナイル河国際水利協定（1959年11月8日）	56
【付録2】 海外出張調査報告書（エジプト）	59
【付録3】 アフリカにおける小規模灌漑 －典型的な灌漑体系の分類－	79
【付録4】 灌漑開発における保健上の問題	80

I. アフリカの水利環境

1. アフリカの水資源と水収支

(1) マクロ的にみたアフリカの水利環境

地球上の全水量は、大ざっぱに約14億 km^3 と見積られる。このうち97.4%は海水であり、残り2.6%が真水である。しかしながら、この真水のうちの77.2%は南・北極の氷冠、大氷原、あるいは氷河が占め、22.4%は地下水および土壌中の水分が占める。湖沼水や河川水に至っては、各々全真水の0.35%あるいは0.003%を占めるにすぎない¹⁾。

また、地球全体の水文循環を年単位でみれば、世界の海面から約453,000 km^3 /年の水が蒸発し、このうち約90%は雨となって海洋に還元し、残り10%(約41,000 km^3 /年)は卓越風により陸地にもたらされる。陸地からの蒸発量は約72,000 km^3 /年であるから、合わせて約113,000 km^3 /年(83cm/年)の雨が陸地に降ることになる。この大部分は土壌水分や地下水を涵養し、残り約41,000 km^3 /年は地表流出あるいは中間流出となって河川を流れ最終的に海に流出する²⁾。湿気をおびた空気の陸地への流入分と河川水および地下水の海洋への流出分はほぼ量的に同じであるため、これにより陸地と海洋間の水収支は均衡が保たれる。

表I-1は、世界の主要地域別の年平均水収支を示す^{3) 4) 5) 6)}。この表において水収支を3つの見積の平均値でみれば、南極を除く世界の全陸地における平均降水量は825mmであり、このうち527mmが蒸発散で消費され、残り298mmが流出量となる。すなわち、降水量の約64%が蒸発散量、36%が流出量となる。

これに対しアフリカ地域では、降水量が707mmと少なく、しかもその81%(572mm)が蒸発散として失われてしまい、流出量はわずか19%(135mm)に過ぎない。アフリカの面積当り流出量は南米大陸の約5分の1、その他の地域の2分の1である。さらにこの流出量の中で直接流出量の占める割合は65%(88mm)であり、地下水流出は35%(47mm)と極めて少ない。したがって、アフリカ地域は他の地域に比べてかなり過酷な水利環境にあると言えよう。

(2) 河川・湖沼

表I-2は、アフリカの主要河川流域における水収支を示す⁷⁾。この中でコンゴ河流域が最も高い流出係数(0.22)と比流量(10.7 t/s/km^2)を示しているが、これは流域内に乾燥気候の影響が全くないためである。一方、砂漠の影響を受けるナイル河やザンベジ河流域では、流出係数が0.06, 0.11, 比流量が0.9 t/s/km^2 および1.0 t/s/km^2 と低い値を示している。特に前者は、白ナイル流域に存在する広大なスッド(Sudd)湿原での蒸発散・浸透損失による影響が大きい。ニジェール河もサハラ砂漠の南縁を部分的に流れるが、上流域の流出量が多いことと、下流域で水量豊富なベヌエ(Benue)河が合流するため、比較的高い流出係

* 農業工学研究所(前熱帯農業研究センター企画連絡室)

表 I - 1 世界の主要地域別年平均水収支

地域	水 量 (X10 ³ Km ³)											
	Baumgartner ^{a)}			ソ連IHD ^{b)}			L'vovich ^{c)}			3者の平均		
	P	E	R ^{d)}	P	E	R ^{d)}	P	E	R ^{d)}	P	E	R ^{d)}
アフリカ	20.7	17.3	3.4	22.3	17.7	4.6	20.8	16.6	4.2	21.3	16.2	4.1
アジア	30.7	18.5	12.2	32.3	18.1	14.1	32.7	19.5	13.2	31.9	18.7	13.2
ヨーロッパ	6.6	3.8	2.8	6.3	5.3	3.0	7.2	4.1	3.1	7.4	4.4	3.0
北アメリカ	15.6	9.7	5.9	18.3	10.1	8.2	13.9	7.9	6.0	15.9	9.2	6.7
南アメリカ	28.0	16.9	11.1	28.4	16.2	12.2	29.4	19.0	10.4	28.6	17.4	11.2
オーストラリア	7.1	4.7	2.4	7.1	4.6	2.5	6.4	4.4	2.0	6.9	4.6	2.3
南極	2.4	0.4	2.0	2.3	0	2.3	?	?	?	2.4	0.2	2.2
大陸計	111	71	40	119	72	47	113	72	41	114	71	43
海洋	385	425	-40	458	505	-47	412	453	-41	418	461	-43
地球全体	496	496	0	577	577	0	525	525	0	532	532	0
	水 深 換 算 (大陸 平均) (mm)											
アフリカ	696	582	114	740	587	153	686	547	139	707	572	135
アジア	696	420	276	740	416	324	726	433	293	721	423	298
ヨーロッパ	657	375	282	790	507	283	734	415	319	727	432	295
北アメリカ	645	403	242	756	418	338	670	383	287	690	401	289
南アメリカ	1,564	946	618	1,595	910	685	1,648	1,065	583	1,602	974	629
オーストラリア	803	534	269	791	511	280	736	510	226	776	518	258
南極	169	28	141	165	0	165	?	?	?	167	14	153
大陸計	473	475	268	796	482	314	756	482	274	763	475	288
海洋	1,066	1,177	-111	1,269	1,399	-130	1,141	1,255	-114	1,158	1,277	-119
地球全体	973	973	0	1,130	1,130	0	1,030	1,030	0	1,044	1,044	0

?=不明
注)

a) A. Baumgartner and E.Reichel: The world water balance⁴⁾

b) USSR, National Committee for IHD: World water balance and water resources of the earth⁵⁾

c) L'vovich: Global water resources and the future⁶⁾

d) P:降水量, E:蒸発量, R:流出量

出典: U.N. Water Conference, 1978³⁾

表 I - 2 アフリカ主要河川流域における水収支⁷⁾

河川	流域面積 (km ²)	降雨量 (mm)	流出量 (mm)	蒸発散量 (mm)	比流量 (l/s/km ²)	流量 (m ³ /s)	流出率
Congo	3 607 450	1561	337	1224	10.7	38 800	0.22
White Nile	1 435 000	710	16	694	0.5	793	0.02
Blue Nile	324 530	1082	158	924	5.0	1727	0.15
Nile	2 881 000	506	28	478	0.9	2590	0.06
Niger	1 091 000	1250	202	1048	6.4	7 000	0.16
Zambezi ¹⁾	1 236 580	759	30	729	1.0	1237	0.11

1) Victoria Falls 地点

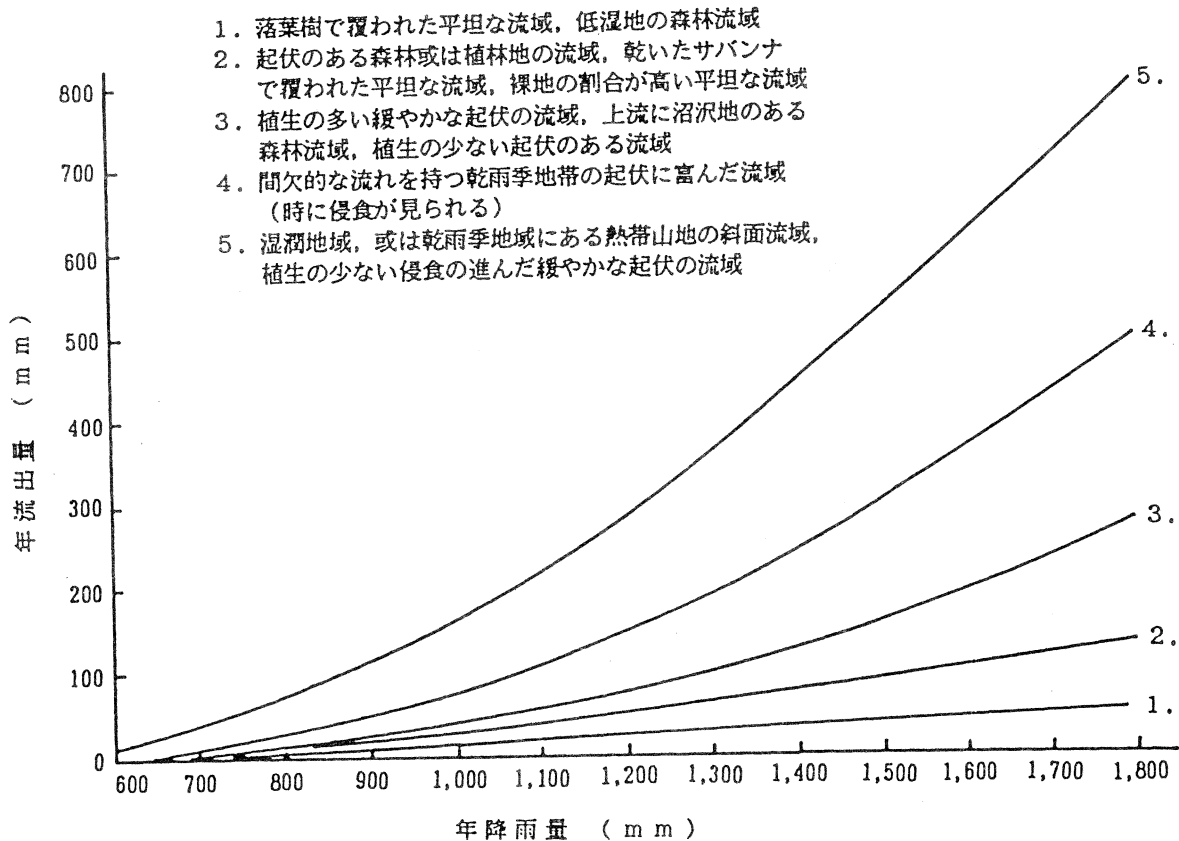


図 I - 1 アフリカ河川の生態系別降雨-流出関係⁸⁾

表 I - 3 アフリカの主要湖沼における水収支⁸⁾

湖沼	面積 (km ²)	流入量 (mm)	降雨量 (mm)	流出量 (mm)	蒸発量 (mm)
Victoria	66,400	241	1476	316	1401
Kyoga	1,800	3825	1270	3127	1968
Albert	5,300	4717	868	4151	1434
Edward	915	880	1360	800	1440
Nyasa	30,800	472	2272	666	2078
Tanganyika	32,890	1609	950	141	2418
Kariba	5,250	8440	686	7038	2088

数(0.16)と比流量(6.4 t/s/km^2)を示している。また図 I-1は、アフリカの河川の降雨一流出の関係を生態系別に整理したものである⁸⁾。

アフリカには大きな湖が数多く存在し、そのほとんどは地殻の裂け目の発達した赤道地域に集まっている。特にザンベジ河からタンザニア、ケニア、エチオピア高原を経て紅海に至る区間は湖が形成され易い条件にある。これらの湖は農業・水産を含めたアフリカの経済に非常に重要な役割を果たしている。その総貯水量は36,000 km^3 にも上り、世界の全真水量の約30%に相当する⁸⁾。表 I-3はアフリカの主要な湖における水収支を示したものである⁸⁾。

沼沢地(swamp)は自然の貯水池としての機能があり、アフリカ経済の1つの重要な部分を形成している。アフリカの沼沢地は全部で1万~10万あると言われる⁹⁾。全面積は34万 km^2 あり、その約4分の1は季節的なものである⁸⁾。主要な沼沢地を表 I-4に示す⁸⁾。これらの沼沢地の特徴として次の点が挙げられる⁹⁾。

①流出調整機能を有するが、蒸発散損失が大きい。②水深に比べ水面積が大きい。③水面積が年によって、あるいは季節によって大きく変動する。④各沼沢地は3つのゾーンに区分できる。すなわち、1年のうちごく1時期(雨季の終り)だけ水没する周辺部、より長い期間水没する2番目のゾーン、年間通して水没する3番目のゾーンである。

また、ザンビア、ジンバブエなどでは普通の沼沢地とは起源の異なるダンボ(dambo)と呼ばれる湿潤地が見られる。ダンボは浸潤水の出る台地上の窪地をさすもので、季節的にあるいは年間通して湿地状態となり、草で覆われた木のない地域である¹⁰⁾。ダンボは雨季の余剰水を保持し、それが雨の少ない時期に流出するため、地下ダムとしての機能(スポンジ効果)を有する¹¹⁾。ダンボは南アフリカ地域におよそ950万haに及ぶと推定され¹²⁾、水田など農業目的での開発が考えられる。しかしながら、非常に微妙な地形であり、不用意な開発はその地域の侵食劣化を招くことになるので、慎重な対策が必要である。表 I-5は一般の沼沢地とダンボの水収支の数例を示す⁸⁾。

(3) 地下水

アフリカにおける地下水探査・開発はようやく緒に着いたばかりであるが、ソ連の水資源研究所はその賦存量を約 $5.5 \times 10^6 \text{km}^3$ と見積っている¹³⁾。表 I-6は、大陸別の地下水資源賦存量を推定したものである¹³⁾。また、表 I-7は大陸別の地下水流出量(基底流出量)を推定したものである¹³⁾。地下水賦存量のごく一部が基底流出の形成に貢献している訳である。

アフリカの代表的地層における採水可能量については、国連の資源輸送部の指針があり、それを表 I-8に示す⁸⁾。

2. 灌漑開発

(1) 概要

アフリカ農業を改良していく上で重要な因子として、灌漑の導入が挙げられる。これは新しい農業技術、および新しい組織形態の導入や、農民の再定住化と共に、今後ますます

表 I - 4 アフリカの主要な沼沢地⁸⁾

沼沢地	国	水系	面積(km ²)
1. Bahr el Jebel/Bahr el Ghazal	スーダン	White Nile	64,000
2. Middle Congo Swamps	ザイール	Congo	40,550
3. Lake Chad Swamps	チャド	Chari	32,260
4. Bahr Balamat	チャド	Chari	27,000
5. Okavango	ボツワナ	Okavango/Botletle	26,750
6. Upper Lualaba Swamps	ザイール	Lualaba	25,750
7. Lake Kyoga Swamp	ウガンダ	Victoria Nile	21,875
8. Lake Mweru Swamp	ザンビア, ザイール	Luapula	17,000
9. Lake Mweru Wantipa Swamp	ザンビア	Mofwe	16,750
10. Lake Bangweulu Swamp	ザンビア	Chambeshi	15,875
11. Kenamuke/Kabonén	スーダン	-	13,955
12. Lotagipi	スーダン, ケニア	Tarach	12,937
13. Malagarasi	タンザニア	Malagarasi	7,357
14. Nyong	カメルーン	Nyong	6,688
15. Albert Nile Swamp	スーダン	Albert Nile	5,200
16. Kafue Flats	ザンビア	Kafue	2,600
17. Lukanga	ザンビア	Kafue	2,600

表 I - 5 沼沢地とダンボの水収支⁸⁾

項目	単位	Bangweulu swamps	Kafue Flats	Lukanga	Dambo
流域面積	km ²	102,000	58,290	19,490	1.43
沼沢地面積	km ²	15,875	2,600	2,600	0.15
流域内年降雨量	mm	1,190	1,090	1,250	1,330
沼沢地内年降雨量	mm	1,210	1,110	970	1,330
自由水面からの年蒸発量	mm	2,340	2,070	2,070	1,710
沼沢地周辺からの年蒸発散量	mm	890	785	908	1,320
沼沢地からの年蒸発量	mm	1120-1260	196	252	-
沼沢地からの年蒸発散量	mm	2000-2180	1,000	1,120	1,075
流入水量の損失率	%	60	4	7.8	-

表 I - 6 大陸別地下水資源賦存量¹³⁾

大陸	地下水区分 (No.)	深さ (m)	有効間隙 率(%)	賦存量 (10 ⁶ km ³)	総賦存量 (10 ⁶ km ³)
アジア	1.	200	15	1.3	7.8
	2.	400	12	2.1	
	3.	2000	5	4.4	
アフリカ	1.	200	15	1.0	5.5
	2.	400	12	1.5	
	3.	2000	5	3.0	
南アメリカ	1.	100	15	0.3	3.0
	2.	400	12	0.9	
	3.	2000	5	1.8	
オーストラリア/ オセアニア	1.	100	15	0.1	1.2
2.	200	12	0.2		
3.	2000	5	0.9		

表 I - 7 大陸別地下水流出量（基底流出量）¹³⁾

大陸	地下水流出量 (km ³ /年)	総流出量に対す る割合(%)
アジア	3750	26
アフリカ	1600	35
南アメリカ	4120	35
オーストラリア, オセアニア	575	24

表 I - 8 アフリカの代表的地層における採水可能量⁸⁾

地層	平均採水可能量 (m ³ /時)	最大採水可能量 (m ³ /時)
(先カンブリア)		
花崗岩質片麻岩	2-5	20以上
片岩, 流紋岩, 閃緑岩	1以下	不明
(カンブリア紀および古生代)		
頁岩質石灰岩および石灰質苦灰石	10-100 (亀裂の度合による)	不明
西アフリカ頁岩および頁岩質石灰岩	不明	不明
(中央アフリカ大堆積低地)		
カロー砂岩	1	200
北ナイジェリアの被圧地下水	不明	1000
カラハリ砂漠	1-10	50
コンゴ河およびチャド湖流域	1	不明
(サハラ)		
大陸性砂岩	不明	100以上
沖積層	少量	1000まで (ナイル河地域)
(海岸沿い堆積低地)		
セネガル	20	100
コートジボアール	不明	200
トーゴ	20	不明
ソマリア	不明	10強
マダガスカル	不明	300まで

重要度を増していくものと考えられる。アフリカの多くの地域で直面している大きな問題の一つに降雨の不足と不安定性があるが、この問題を解決する最も効果的な方法は河川水の利用である。しかしながら、この方法は一般にコスト的に高くつき、投資効果の点から常に成功する訳でもない。言うまでもなく、エジプトでは灌漑は数世紀にわたり活発に行われてきた。近年、それは上流のスーダンまで拡大している。特にゲジラ(Gezira)地区は比較的うまくいった例と言えよう。しかしながら、ニジェール河の内陸デルタにおける灌漑計画は1932年に始められ、戦後も引続き進められたが、期待はずれの結果をもたらしている¹⁴⁾。

アフリカにおいては、耕地面積は184.9百万haであり¹⁵⁾、全土地面積のわずか6%に過ぎない。しかも天水農業がそのほとんどを占める。灌漑耕地面積は表I-9に示すように、1975年以来年率平均約2.6%ずつ増加しているものの、1985年で10.6百万haであり、灌漑耕地率はわずか5.7%である¹⁵⁾。このうち、約2/3が近代的灌漑施設の整ったもので、残り1/3は河川の氾濫原や沼沢地を利用した小規模な伝統的利水形態によるものである。この灌漑耕地10.6百万haのうち、約61%が4カ国に集中している点は注目に値する。すなわち、この4カ国とはエジプト(23%)、スーダン(17%)、モロッコ(11%)、南アフリカ(10%)である¹⁶⁾。

(2) 地域別灌漑事情の概要

アフリカの各地域の灌漑事情について、概観してみる。

【スーダン】

近年アフリカにおいて、灌漑開発が最もめざましく実施された国はスーダンであろう。ゲジラ地区(46.8万ha)はもちろんのこと、その南西に隣接するマンギル(Mangil)地区(39.7万ha)、青ナイルの東岸のグネイド(Guneid)地区、ラハド(Rahad)地区、さらにアトバラ河沿いのハシムエルギルパー(Khashm el Girba)地区などはいずれもアフリカの代表的灌漑開発計画と言える。ハシムエルギルパー地区は、アスワン・ハイダム建設により水没した地域からの移住者約5万人の入植事業でもあり、かなり特徴的である。

【ジンバブエ】

スーダンに次いで灌漑が農業生産の拡大に重要な貢献をした2番目の国としてジンバブエが挙げられる¹⁴⁾。ジンバブエの灌漑面積は1985年で17.5万haと低く¹⁵⁾、アフリカ全体の灌漑面積のわずか1.6%であるが、1975年～1985年の10年間に年率平均9.3%の伸びをみせている。特に、かつてはほとんど耕地として利用されることのなかったチレジー・ヒッポ流域三角地帯(Chiredzi-Hippo Valley Triangle area)が、キュール(Kyle)ダム等からの安定給水により、約2.65万haの耕地となっている¹⁷⁾。もともとのプロジェクトは欧州人の大規模農場を対象として計画されたもので、サトウキビが主な作物である。また、サビ(Sabi)河の東岸では小麦と綿を対象とする大規模灌漑計画が1960年代に実施されている。この国では主に大規模灌漑が行われてきたが、小規模灌漑にも努力が払われ、1960年代と1970年代に約9万haの灌漑農地が増えている。この国には、大小合わせて約7,300余の貯水池(合計貯水量:45.7億 m^3)がある。このうち大規模のものは約100個で、残りは小規模のものである。圃場での灌漑方法については、地表灌漑よりもスプリンクラー灌漑が普及している点は興味深い¹⁷⁾。

表 I - 9 アフリカ各国の灌漑面積の推移¹⁵⁾

国名	灌漑耕地面積(1000ha)					灌漑耕地率(%)			
	1970	1975	1980	1985		1970	1975	1980	1985
				面積	%				
アフリカ	7,620	8,169	9,340	10,626	100.0	4.5	4.6	5.2	5.7
(北アフリカ)	843	994	1,144	1,310	12.3	4.1	4.5	5.2	5.7
(ナイル河沿岸)	4,593	4,390	4,047	4,186	39.4	31.6	29.3	27.2	28.0
エジプト	2,843	2,825	2,447	2,486		100.0	100.0	100.0	100.0
スーダン	1,750	1,565	1,600	1,700		15.0	12.9	12.9	13.6
(西アフリカ)	404	696	1,433	2,064	19.4	0.7	1.2	2.3	3.3
ベニン	10	15	19	23		0.6	0.8	1.1	1.3
ブルキナファソ		6	7	8		0.0	0.2	0.3	0.3
チャド	7	7	7	7		0.2	0.2	0.2	0.2
コートジボアール	20	38	58	64		0.7	1.1	1.5	1.6
ガンビア	20	25	32	33		15.4	16.4	20.5	20.0
ガーナ	8	15	8	7		0.3	0.6	0.3	0.2
ギニア	50	64	68	70		3.2	4.1	4.3	4.4
リベリア	2	2	4	5		0.5	0.5	1.1	1.3
マリ	135	170	260	350		7.7	9.2	12.7	16.9
モーリタニア	4	7	8	8		1.4	3.6	4.1	4.1
ニジェール	4	6	12	14		0.1	0.3	0.3	0.4
ナイジェリア	22	160	760	1,280		0.1	0.5	2.5	4.1
セネガル	110	160	170	175		2.3	3.2	3.3	3.3
シェラレオーネ	6	13	15	16		0.4	0.8	0.8	0.9
トーゴ	4	6	3	2		0.3	0.4	0.2	0.1
(東アフリカ)	277	338	428	490	4.6	1.0	1.1	1.4	1.6
ケニア	29	40	40	40		1.4	1.8	1.8	1.7
タンザニア	38	52	120	140		0.8	1.0	2.3	2.7
(マダガスカル等)	351	512	841	1,042	9.8	13.9	17.5	26.6	32.5
マダガスカル	330	490	820	1,020		13.9	17.8	27.3	33.6
(中央アフリカ)	8	10	20	21	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
(南アフリカ)	1,144	1,229	1,427	1,513	14.3	3.6	3.8	4.4	4.6

【マダガスカル】

マダガスカルにおいても、灌漑は積極的に推し進められている。特に、水田灌漑が中心で、次いでサトウキビ、綿となっている。灌漑面積はここ15年間に年率平均7.8%の伸びをみせている。1985年における灌漑面積は102万haであり、灌漑耕地率は33.6%とアフリカではエジプトに次いで高い¹⁵⁾。マダガスカルにおける灌漑は、約200年前に中央台地を中心に始まった。18世紀終り～19世紀初頭のアンドリアナムボニメリナ朝時代にも、タナナリブ(Tananarive)周辺の平野を中心にかなり大規模な灌漑排水事業が実施されている。また、この時代にこの国で最初の水法が公布されている。台地に加えて灌漑面積は海岸地域やアラオトラ(Alaotra)湖地域に広げられていったが、マハバビー(Mahavavy)計画(1万ha)、マロボアイ(Marovoay)計画(3万ha)、モロンダバ(Morondava)計画(1.5万ha)、フィヘレナナ(Fiherenana)計画(6千ha)などの大規模事業が実施されたのは1920年以降である。しかしながら、大規模灌漑排水事業が、農村地域の経済・社会開発の目玉として本格的に推進されたのは第二次大戦後である。主なプロジェクトを以下に列挙する¹⁸⁾。

- サンビラノ(Sambirano)計画(排水面積:1.35万ha)
- アンカイジナ(Ankaizina)計画(排水面積:10万ha)
- アラオトラ(Alaotra)干拓計画(干拓面積:10万ha)
- ソアビナ(Soavina)湿地干拓計画(1,220ha)
- マンゴキィ(Mangoky)下流開発計画(8万ha)
- アンビラ(Ambila)湿地干拓計画(4,500ha)
- タヘザ(Taheza)計画(灌漑面積:1万ha)
- ベツィミタトラ(Betsimitatatra)計画(2万ha)
- ランエラ(Laniera)計画(泥炭質土壌の改良9万ha)

【中央、東アフリカ】

中央アフリカ、東アフリカの国々では、灌漑計画は主にサトウキビのプランテーションを対象として実施される場合が多かった。一つの例外として、ケニアのムエア・テベレ(Mwea-Tebere)計画を挙げることができる。この地区は水稲生産を対象とし、各耕区は1.5ha区画として実施されている¹⁴⁾。現在用水改良および拡張の計画が進められている。

【西アフリカ】

西アフリカでは、ニジェール河内陸デルタ計画とセネガルのリシャートル(Richard-Toll)計画の改修と拡張に努力が払われている。そのほかには、ガーナのアクラ(Accra)平野プロジェクト、ナイジェリアのイバダン地区用水補給計画などがある。

図I-2にアフリカにおけるダムと大規模プロジェクトを示す¹⁹⁾。

(3) 水田開発

水田のみについて見れば、表I-10に示すように全水田面積は約5百万haであり²⁰⁾、全耕地面積の2.7%に当たる。このうち灌漑水田は1.5百万haであり、その灌漑率は30%となる²⁰⁾。すなわち、全灌漑耕地の14%強が灌漑水田ということになる。また、表I-11は灌漑の水稲生産に及ぼす効果を示したものである²⁰⁾。これによれば、わずか30%の灌漑水田でアフリカの全生産量の58%を生産していることが分かる。収量は非灌漑水田では1.0t/haそこそこであるのに対し、灌漑水田では3.3t/haと3倍以上多くなっている。水稲二期作について

表I-10 灌漑水田面積と収量(1984)²⁾

国名	面積(ha)		計 ^u	生産量 ^u (トン)	収量 ^u (kg/ha)
	灌漑 ^a	%			
アルジェリア	600	100	600	2,000	3333
アンゴラ	-	-	20,000	22,000	1100
ベニン	2,400	40	6,000	8,000	1204
ブルキナファソ	6,000	20	30,000	40,000	1333
ブルンディ	2,000	100	2,000	9,000	4476
カメルーン	5,300	23	23,000	40,000	1739
中央アフリカ	-	-	15,000	13,000	880
チャド	3,300	6	51,000	29,000	569
コモロ	-	-	13,000	15,000	1169
コンゴ	-	-	4,000	2,000	500
エジプト	420,000	100	420,000	2,230,000	5310
ガボン	-	-	550	1,000	1800
ガンビア	2,700	14	20,000	22,000	1100
ガーナ	2,000	4	57,000	66,000	1157
ギニア	9,100	2	400,000	400,000	1000
ギニア・ビサオ	4,200	3	145,000	105,000	724
コートジボアール	30,000	8	400,000	490,000	1225
ケニア	8,000	89	9,000	31,000	3489
リベリア	4,000	2	210,000	230,000	1095
マダガスカル	460,000	38	1,200,000	2,132,000	1777
マラウイ	2,675	6	42,000	33,000	786
マリ	38,100	29	130,000	125,000	962
モーリタニア	2,700	54	5,000	14,000	2800
モーリシャス	-	-	-	-	-
モロッコ	2,000	100	2,000	10,000	5000
モザンビーク	16,000	23	70,000	55,000	786
ニジェール	4,700	20	23,000	51,000	2217
ナイジェリア	265,000	44	600,000	1,100,000	1833
ルワンダ	3,000	100	3,000	6,000	2000
セネガル	10,900	17	66,000	136,000	2055
シェラ・レオネ	100,000	25	400,000	450,000	1125
ソマリア	1,000	100	1,000	3,000	3000
南アフリカ	1,000	100	1,000	3,000	3000
スーダン	4,000	100	4,000	7,000	1750
スワジランド	-	-	-	3,000	-
タンザニア	75,600	28	270,000	400,000	1481
トーゴ	1,500	12	13,000	10,000	790
ウガンダ	-	-	20,000	25,000	1250
ザイール	7,000	2	325,000	260,000	800
ザンビア	-	-	8,000	5,000	585
ジンバブエ	-	-	1,000	500	500
計	1,494,775	30	5,008,000	8,582,000	1713

出典 1)FAO,1984.

2)推定

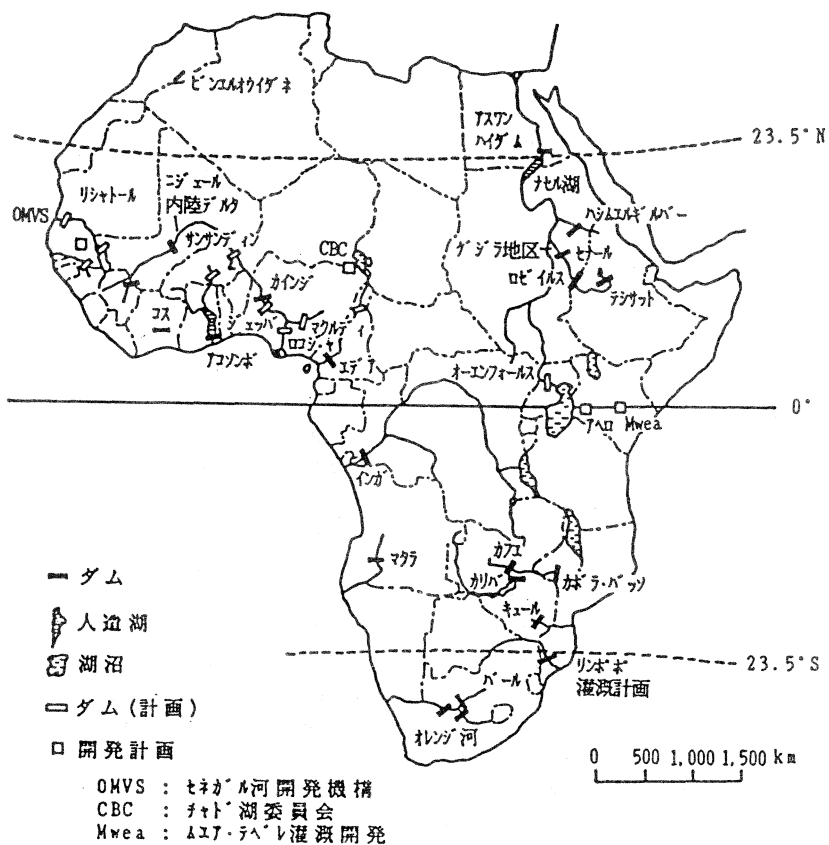


図 I-2 アフリカにおけるダムと大規模プロジェクト¹⁹⁾

表 I-11 灌漑がアフリカの水稲生産に及ぼす効果²⁰⁾

地域	総生産量 (1000t)	灌漑生産量 (1000t)	総生産量に占 める割合(%)
地中海沿岸および北アフリカ	2,406	2,406	100
スーダン気候・サヘル気候 ^{a)}	425	276	65
湿潤・半湿潤西アフリカ ^{b)}	2,749	263	10
湿潤中央アフリカ ^{c)}	320	35	11
半湿潤・高原部 東アフリカ ^{d)}	2,127	1,787	84
半湿潤・半乾燥 南アフリカ ^{e)}	538	159	30
計	8,565	4,926	58

a) カーボ・ヴェルデ, チャドを除く

b) ギニア・ビサオを除く

c) 赤道ギニア, サントメ・プリンシペを除く

d) コモロ, セイシェルスを除く

e) ナミビアを除く

出典: FAO, 1986

は、その面積と生産量について正確な情報はないが、灌漑水田の大半で行われていると推定される²⁰⁾。また二期作が行われていない灌漑水田では、メイズ、トマト、食用豆類などを水稲の裏作とする二毛作が営まれているものと思われる。

アフリカにおいて、米の重要度はここ10年間で急激に高まっている。アフリカの米の輸入量は1974年から1984年の間に4倍に増加しているのに対し、生産量はこの間わずか8%しか増加していない。これはアフリカの稲作は主に天水依存の状況下で行われていることと、消費者の嗜好が在来型食物から米に移り、その消費量が着実に増加しているためである。米不足の発生により、アフリカ各国は水稲二期作あるいは三期作を可能ならしめる灌漑施設の整備にかなりの精力を集中している。しかしながら、この灌漑面積を拡大しようとする努力は、まだ生産量の増大という面ではさほど効果が出ていない。この理由は、灌漑稲作は多くの農民にとってまだ経験が浅く、水稲二期作は技術的、社会経済的、経営的な多くの問題に直面しているためである。

アフリカの水田開発には、次の3つの型があると言われている^{21) 22)}。

①大規模灌漑計画：生産力の高い土地に農家を移住させて開発する形態のもので、スーダンのゲジラ計画にその範を取っている。マリのニジェール河沿岸、セネガル河沿岸の諸計画、マダガスカルのアラオトラ湖周辺の計画、ケニアのタナ河開発計画、タンザニアのルフィジデルタ開発計画などが挙げられる²²⁾。

②天水田の稲作開発計画：西アフリカ諸国では、1950年代～1960年代に農民のために大規模な農業機械による請負耕起サービスを導入して、天水田を相次いで開発している。シエラレオーネのボリ計画、ナイジェリア北部開発計画、ギニアのファラナ計画などがこれに該当する²²⁾。

③小規模灌漑計画：地区面積10～20ha程度の小規模な稲作灌漑計画で、多くの国で成功している。特に、コートジボアールでは顕著な成功を収めている。これは中国人専門家が農家と密接に接触しながら創案したもので、灌漑稲作を強化し、集約したものである。大規模灌漑計画では多くの場合、圃場レベルでの高収量を得るための諸問題を軽く取り扱う傾向がある。その結果、計画した収量を確保するためにより多くの費用と時間をかけてしまうこととなる。小規模灌漑計画は、このような大規模灌漑計画の欠点をかなり是正している²²⁾。

(4) 灌漑開発上の留意事項

今後アフリカで灌漑開発を推進していく上で、留意すべき事項を整理すれば次のようになるだろう。

①過去の経済分析から、アフリカにおいては維持管理が容易で、安上がりな小規模の村落型灌漑計画が優先的に進められるべきであろう。FAOは小規模な計画に加えて、100～10,000エーカー(40～4,000ha)の中規模灌漑計画を推奨している⁸⁾。

②費用便益の面から、極力低い投資で効果の上がるものから優先的に進めるべきであろう。例えば、大河川の氾濫原で見られる伝統的な半灌漑はかなり不安定なものであるが、若干の改良を加えるだけで効果の上がるものが多い。さらに、アフリカには簡単な灌漑あるいは水制御を行うことにより、少なくとも30百万haの湿地において水稲や他の食用作物の生産が可能であると言われている²⁰⁾。また、老朽化した既存の灌漑システムのリハビリテー

ションも、少ない投資額で高い効果が期待できる。リハビリテーションの成功例として、ケニアのミアンザ州バレーボットの田水田灌漑地区が挙げられる²³⁾。

③水文気象データなど正確な基礎的資料の収集整備の拡充が必要である。特に、灌漑水の供給に都合のよい中小河川のデータは今後重要となろう。また、灌漑計画に当たっては長期的な気候変動にも十分注意を払う必要がある。リモートセンシング技術も今後大いに活用すべきである。

④灌漑開発に必要なコストをカバーするためには、作物生産収量を可能な限り高める努力をしなければならない。したがって、計画当初から工事と営農を一貫したものとして捉え、検討していくべきである²³⁾。特に、農民の灌漑に対する理解が低い場合が多いので、徹底する必要がある。

⑤乾燥地域では、灌漑は塩類集積やウォーターロギング(Waterlogging)の原因となり易いので計画に当たっては十分な対策が必要である。特に、排水施設の適正な配置と水管理に留意すべきである。

⑥灌漑開発に伴い水が媒介する疾病、風土病の発生が有り得るので、十分な防疫対策が必要である。エジプトでは、アスワンハイダムおよび用水路開発による巻貝を中間宿主とするビルハルツ住血吸虫の発生と伝染が挙げられる。また、ガーナのアコソボダム(ボルタ湖)では、ブヨや砂蠅が媒介する川盲症(オンコセルカ症)が大発生している。これはWHOによる防疫プロジェクトによって、ようやく抑止されつつある²⁴⁾。

3. 国際水利協定

アフリカ大陸には56の国際河川があり、このうち流域が4カ国以上にまたがるものは12河川あると言われている²⁵⁾。大陸全域の約40%は国際河川流域である⁸⁾。アフリカの国際河川の初期の協定は航行と境界に関するものであったが、最近の協定は一般に経済開発が中心となっている。アフリカ大陸においては、前述のように河川流出量が他の大陸に比べ少ないこともあって、国際河川の水資源の配分の問題に対しては関係各国共極めて神経質になっている。協定を結ぶ上で関係国が最初に出くわす障害は、流量データ不足という問題である。そのため協定に先だって、水文気象データの収集・交換が重要な意味を持つ。表I-12は熱帯アフリカの国際河川流域に関する情報を整理したものである⁸⁾。

アフリカの河川に関する国際協定は1885年までさかのぼり、コンゴ河とニジェール河の船舶航行に関してベルリン委員会で声明を発表したことに始まる。さらに英国とポルトガルでザンベジ河、シーレ河の航行について同様の協定が調印されている⁸⁾。

ナイル河の管理に関する協定は英国とエジプトの間で1929年に調印された。流域開発の技術協力に関する同様の協定は、スーダンとエジプトの間で1959年に調印されている。セネガル河流域開発計画は流域4カ国により1969年に公表され、設立された委員会は全流域の総合的開発方針を検討している。ニジェール河流域においては、まず1963年に協定が交わされたが、翌1964年の協定では前年の協定が廃止され、複合的水利用について宣言されている⁸⁾。チャド流域委員会は1964年の特別協定により設立された⁸⁾。アフリカの国際河川において、調印されている国際協定の数は1972年時点で34である²³⁾。しかしながら、ア

表 I - 1 2 アフリカの主な国際河川⁸⁾

No. 河川	関係国	流域面積 (Km ²)
1 Senegal	ギニア, マリ, モーリタニア, セネガル	441,000
2 Gambia	ガンビア, ギニア, セネガル	77,000
3 Geba(別名Kayanga)	ギニア, ギニア・ビサオ, セネガル	8,000
4 Corubal	ギニア・ビサオ, ギニア	20,000
5 Kolenta(Great Scarcies)	ギニア, シェラ・レオーネ	8,000
6 Little Scarcies	ギニア, シェラ・レオーネ	15,300
7 Moa	ギニア, リベリア, シェラ・レオーネ	17,900
8 Mano Roro	リベリア, シェラレオーネ	9,000
9 Loffa	ギニア, リベリア	8,700
10 St. Paul	ギニア, リベリア	18,300
11 St. John	ギニア, リベリア	15,000
12 Cestos	コートジボアール, リベリア	10,300
13 Cavally	ギニア, コートジボアール, リベリア	22,400
14 Bia	ガーナ, コートジボアール	9,320
15 Tano	コートジボアール, ガーナ	15,000
16 Volta	コートジボアール, ガーナ, マリ, ブルキナファソ, ベニン	390,000
17 Mono	ベリン, トーゴ	22,000
18 Oueme	ベリン, ナイジェリア	50,000
19 Niger	カメルーン, チャド, ベニン, ギニア, コートジボアール, マリ, ニジェール, ナイジェリア, ブルキナファソ	1,100,000
20 Cross River	カメルーン, ナイジェリア	48,000
21 Chad	カメルーン, チャド, 中央アフリカ, ニジェール, ナイジェリア	不明
22 Ntem	カメルーン, ガボン, 赤道ギニア	31,000
23 Benito	ガボン, 赤道ギニア	14,000
24 Utambori(Rio Temboni)	ガボン, 赤道ギニア	5,000
25 Ogooue	カメルーン, コンゴ, ガボン	205,000
26 Nyanga	コンゴ, ガボン	18,000
27 Chiloango	カビンダ, コンゴ	13,000
28 Congo	アンゴラ, ブルンジ, カメルーン, 中央アフリカ, コンゴ, ザイール, ザンビア, タンザニア, ルワンダ	3,820,000
29 Cunene	アンゴラ, ナミビア	100,000
30 Cuvelai-Etosha	アンゴラ, ナミビア	不明
31 Okavango	アンゴラ, ボツワナ, ナミビア	不明
32 Orange	ボツワナ, 南アフリカ, レソト, ナミビア	640,000
33 Maputo	モザンビーク, 南アフリカ, スワジランド	35,000
34 Imbuluzi	モザンビーク, 南アフリカ, スワジランド	6,400
35 Incomati	モザンビーク, 南アフリカ, スワジランド	30,000
36 Limpopo	ボツワナ, モザンビーク, ジンバブエ, 南アフリカ	358,000
37 Sabe(Save)	モザンビーク, ジンバブエ	101,000
38 Buzi	モザンビーク, ジンバブエ	32,000
39 Zambezi	アンゴラ, ボツワナ, マラウイ, モザンビーク, ジンバブエ, ザンビア	1,250,000
40 Ruvuma	モザンビーク, タンザニア	140,000
41 Lake Natron	ケニア, タンザニア	不明
42 Lagh Bor	エチオピア, ケニア, ソマリア	不明
43 Lake Rudolf	エチオピア, ケニア, スーダン	不明
44 Juba	エチオピア, ケニア, ソマリア	200,000
45 Shebile(Wabi Shebele)	エチオピア, ソマリア	260,000
46 Gash	エチオピア, スーダン	21,000
47 Baraka	エチオピア, スーダン	不明
48 Nile	ザイール, エチオピア, ケニア, スーダン, タンザニア, エジプト, ウ ガンダ, ルワンダ, ブルンディ	2800,000

フリカの国際河川の中には、ザンベジ河などのようにまだ関係国間で幾つかの論争を抱えているものもある⁸⁾。

国際水利協定は、関係国の利益の相互理解に基づいて取り交わされるものであるため、水資源のより一層の開発を促進すると共に、そのための調査や事業のための資金確保あるいは水文情報の交換を積極化する。国際水利協定が調印された国際河川における計画は、多くの場合準備期および初期の段階で国連機関の協力のもとに推進され得る。そのような計画の典型的な例として、ビクトリア湖、キョウガ(Kyoga)河、アルバート(Albert)河の水文気象調査が挙げられる⁸⁾。これはWMOによって組織化され、ウガンダ、タンザニア、ケニア、スーダン、エジプト、ルワンダ、ブルンジの協力のもとに行われたものである⁸⁾。なお、ナイル河をめぐる国際水利協定については、次の「Ⅱ. ナイル河流域の水資源と灌漑開発」において詳しく述べている。

引用文献

- 1) United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific(UNESCAP). 1984. State of the environment in Asia and the Pacific. Vol.2, UNESCAP, Bangkok.
- 2) Falkenmark, M. 1977. Water and mankind--a complex system of mutual interaction. AMBIO, Vol. 6, No. 1.
- 3) Biswas, A. K. (Ed) 1978. Water development supply and management. United Nations Water Conference: Summary and Main Documents, Vol. 2, Mar Del Plata, Argentina, Pergamon Press, Oxford.
- 4) Baumgartner, A. and Reichel, E. 1975. The world water balance. Elsevier, Amsterdam.
- 5) USSR, National Committee for IHD. 1974. World water balance and water resources of the earth. Leningrad.
- 6) L'vovich. 1974. Global water resources and the future. Moscow.
- 7) Balek, J. 1983. Hydrology and water resources in tropical regions. Elsevier, Amsterdam.
- 8) Balek, J. 1977. Hydrology and water resources in tropical Africa. Elsevier, Amsterdam.
- 9) Kimble, G. T. 1960. Tropical Africa. The Twentieth Century Fund., New York.
- 10) Hindson, J. R. E. 1955. Protection of dambos by means of contour seepage furrows. Minist. Agric. Int. Rep., Lusaka.
- 11) Balek, J. and Perry, J. 1973. Hydrology of African headwater swamps. Journal of Hydrology 19 : 227~249
- 12) 瀧嶋康夫 1989. 南アフリカの稲作, 国際農林業協力. Vol. 12, No. 2 : 48~67.
- 13) Anon. 1974. World water balance and resources of the earth. (in Russian). Gidrometeoizdat, Leningrad.
- 14) O'Conner, A. M. 1981. The geography of tropical African development: A study of

spatial patterns of economic change since independence (second edition).
Pergamon Press, Oxford.

15)FAO 1987. 1986 FAO production yearbook. Vol.40, FAO statistics Series No.76,
FAO, Rome.

16)FAO 1986. State of irrigation - Facts and figures. Consultation on irrigation
in Africa. FAO, Rome.

17)Framji,K.K., Garg,B.C. and Luthra,S.D.L. 1983. Zimbabwe, Irrigation and
drainage in the world. ICID.

18)Framji,K.K., Garg,B.C. and Luthra,S.D.L. 1983. Madagascar, Irrigation and
drainage in the world. ICID.

19)UNEP 1981. Environment and development in Africa. Pergamon Press, London.

20)Dat,V.T. 1986. Major constraints on rice double cropping in tropical Africa.
Tropical Agriculture Research Series No. 20.

21)Budeenhagen and Persley 1978. Rice in Africa. Academic Press, London.

22)矢野信一 1986. アフリカの水田農業—水田開発の事例—. 農業土木学会誌 Vol.
54, No.1 : 41-46.

23)農業土木学会 1986. 座談会「アフリカ農業事情」. 農業土木学会誌 Vol.54, No.1 :
61-68.

24)湯浅満之 1986. アフリカ農業水利開発の可能性. 農業土木学会誌 Vol.54, No.1 :
19-30.

25)Widstrand,C. (ed.) 1980. Water conflicts and research priorities, Water and
society, conflicts in development. Water Development, Supply and Management. Vol.
8, Pergamon Press, Oxford.

Ⅱ. ナイル河流域の水資源と灌漑開発

1. ナイル河流域の水資源

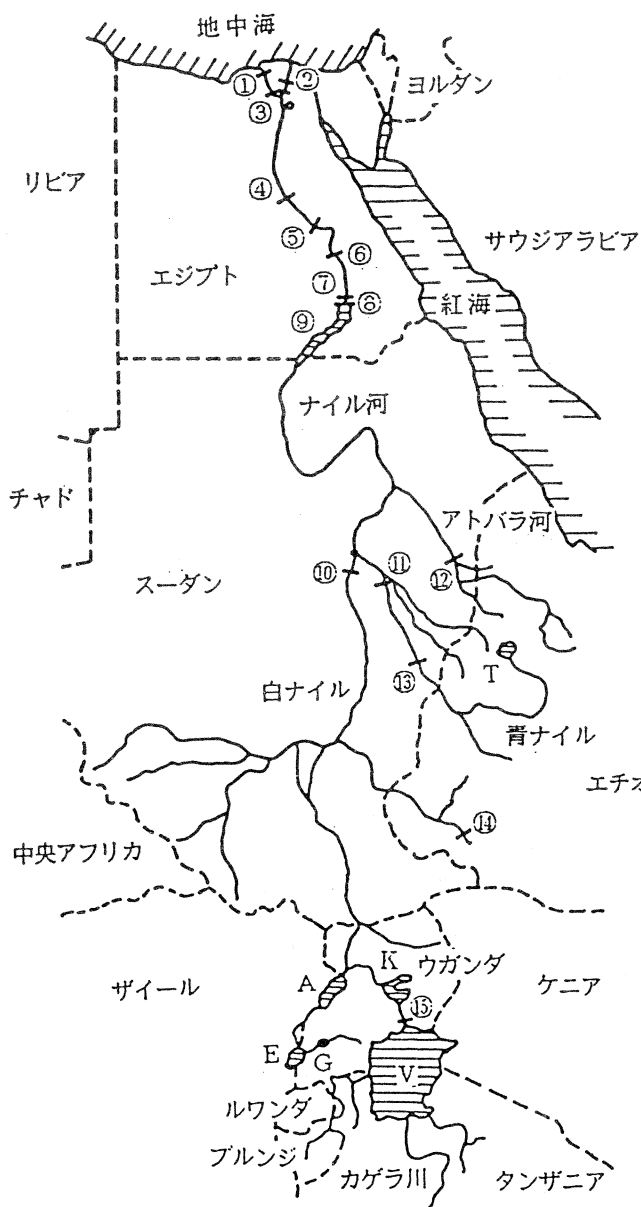
(1) ナイル河をめぐる水利（現況）

エジプトおよびスーダンにおいて、最も重要な水資源はナイル河である。ナイル河は、ピクトリア湖に水源をもつ白ナイル、エチオピア高原を水源とする青ナイルおよびアトバラ河がスーダン国内で合流した世界最長(6,700km)の国際河川であり、流域はウガンダ、ケニア、タンザニア、ルワンダ、ブルンジ、ザイール、エチオピア、スーダン、エジプトの9カ国(約288万km²)に及ぶ(図Ⅱ-1)。しかしながら、その水資源はもっぱらエジプトおよびスーダンの2カ国のみが利用し、他の7カ国とはわずかにウガンダとのオーエンフォールスダムに関する協定が成立しているだけである。ナイル河の流況は、図Ⅱ-2に示すように比較的安定した周期性を呈し、7月半ば頃から増水しはじめ、9月頃ピークに達し、10月には減水しはじめる。3支川が本川にもたらす年間流量の比率は青ナイル56%、白ナイル30%、アトバラ河14%であるが、最も流量の多い月においては青ナイル68%、アトバラ河22%、白ナイル10%であり、2月から7月の低水期流量においては白ナイルが83%を占め、青ナイルは17%で、アトバラ河はこの間干上がってしまう。従って、青ナイル、アトバラ河はナイル河の洪水の主要因となり、白ナイルは低水期の流量確保に貢献している(図Ⅱ-2参照)。

ナイル河の年間の総流出量は、アスワン地点において平均840億m³であり、この流量を基にスーダン、エジプト両国間の水利協定がなされている。図Ⅱ-3は、アスワン地点流出量の年変化を示す¹⁾。両国は古くからナイル河の有効利用と相互便益を図るため、両国間で水利慣行が尊重され守られてきた。1929年に、ナイル河の水利用に関する第1回目の両国間協定が成立し、その後1959年にアスワンハイダムの建設計画を前提とする水利用協定が締結され今日に至っている。協定の詳細については、付録1に記す²⁾。この協定では、まずアスワンハイダム建設前における既得水利権として、スーダン40億m³/年、エジプト480億m³/年を認めるとともに、同ダム建設による新規水利220億m³/年をスーダンに145億m³/年、エジプトに75億m³/年を配分することを取り決めた。この結果、両国の水利権はスーダン185億m³/年、エジプト555億m³/年となっている。もし流量が840億m³/年を超える場合は、超過分は両国で均等に配分される。表Ⅱ-1に

表Ⅱ-1 ナイル河国際協定における水利配分(アスワン地点流量)

項目		水利配分(億m ³ /年)		
		スーダン	エジプト	計
水利権	既得権	40	480	520
	新規権	145	75	220
	小計	185	555	740
蒸発損失		100		
計		840		



主要水利施設

- ①エドフィナ堰
- ②ジフタ堰
- ③デルタ堰
- ④アシュート堰
- ⑤ナガ・ハマンドイ堰
- ⑥エスナ堰
- ⑦アスワンダム
- ⑧アスワンハイダム
- ⑨ナセル湖
- ⑩ジュベルオーリアダム
- ⑪セナールダム
- ⑫ハシムエルギルバーダム
- ⑬ロゼイルスダム
- ⑭バロダム (計画中)
- ⑮オーエンフォールスダム

湖沼

- V : ビクトリア湖
- K : キョーガ湖
- G : ジョージ湖
- E : エドワード湖
- A : アルバート湖
- T : タナ湖

図Ⅱ-1 ナイル河流域と水利開発⁶⁾

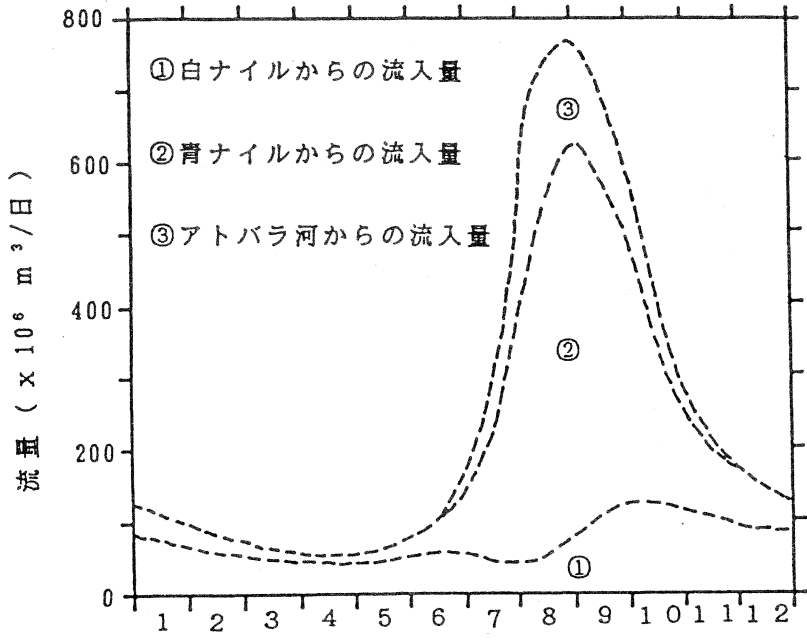


図 II - 2 青ナイル, 白ナイル, アトバラ河の流況⁷⁾

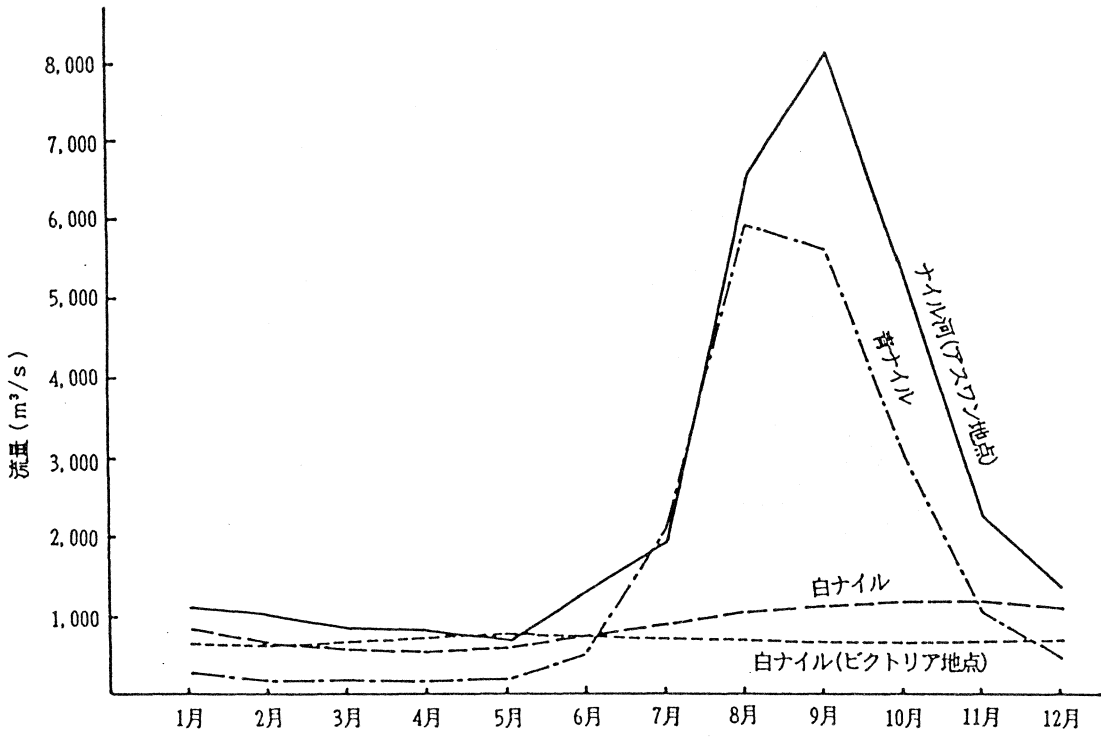


図 II - 3 ナイル河 (アスワン地点外3地点) の流況⁸⁾

ナイル河の国際協定における水利配分を示す。

この協定の円滑な運用を図るため、両国政府は恒久的な合同技術委員会(Joint Technical Commission)を設置し、同意された技術的事項を監理する体制を取っている。両国以外の国からナイル河の水利使用の要求があがった場合は、同委員会で協議し統一見解が出される。また、スーダン、エジプト双方の年間および月間取水量は同委員会であらかじめ決められており、それぞれ相手国の取水地点に技術者を派遣して監視体制を取っている。

(2) 上流ナイル計画(Upper Nile Projects)

スーダン、エジプト共に国内の水需要はますます増加の傾向にあり、ナイル河の現況水利だけではこれをカバーすることは極めて困難である。この予想される水不足に対処するため、両国は新規の水資源開発を図っている。このことは水利協定でもうたわれており、この計画に必要な資金および開発水量は、両国で折半することとしている。

スーダン南部の白ナイル上流域には、サッド(Sudd)地域と呼ばれる約6,000km²の広大な湿地帯があり、年間平均420億m³もの河水が蒸発あるいは浸透により失われている。この湿地帯からの損失水量を減少させ、利用可能水量を増加させるため、湿地をショートカットする導水路を建設する計画が幾つか検討されている(表Ⅱ-2)。このうち、ジョングレイ(Jonglei)運河計画は既に1977年より第1期事業が進められている。この計画は、バハル・エル・ジュベル(Bahr el Jebel)およびバハル・エル・ゼラフ(Bahr el Zeraf)両湿地への河水の流入量を削減するため、白ナイルをジョングレイ地点よりマラカル(Malakal)地点へショートカットする導水路(容量:230m³/s、延長:280km)を建設し、新たにマラカル地点で44億m³/年(アスワン地点換算36億m³/年)の水源地を開発するものである。

この一連の計画は、資金面の問題に加え、漁業あるいは放牧との利害の問題、さらに南北スーダン問題もからんで、調整に時間を要するため、今世紀中に実現されそうな計画はこのジョングレイ第1期計画だけと思われる。

表Ⅱ-2 上流ナイル計画²⁾ (億m³/年)

プロジェクト名	予想開発水量
ジョングレイ第1期計画	40
ジョングレイ第2期計画	30
マシャール湿地開発計画	40
バハル・エル・ガザル計画	70
計	180

注) この予想開発水量は、どの地点の水量なのかははっきりしない。エジプトでは、この数値の半分90億m³/年を潜在水資源として、そのまま同国の水資源計画に計上している²⁾。

(3) その他の水資源

① スーダン

スーダンにおける地下水の全賦存量は、420億m³に上ると推定されるが、本格的な開発はまだ行われていない³⁾。地下水位は沖積地帯で3~20m、その他の地域で10~100mであり、

水質は概して良好である。天水農業の限界地における補助的灌漑への地下水利用は現実的な問題であり、早急な開発が強く望まれる。

②エジプト

地下水はかなり古くからオアシスにおいて利用されてきた。最近では、デルタやナイルバレーで積極的に井戸が掘られ、補助的灌漑に利用されている。地下水賦存量は、1978年で5億 m^3 と見積られる。これは2月～7月の渇期に帯水層に悪影響を及ぼさないで揚水できる量である。このほかニューバレー(New Valley)、西砂漠の窪地などの地下水ポテンシャルはかなり高いものと推察される²⁾。

さらに付加的な水源として、排水の再利用を考慮することができる。調査によれば、下エジプトの年間の利用可能流量は76億 m^3 で、上エジプトでは44億 m^3 であり、合計120億 m^3 の水が利用可能である。現在のところ、約50億 m^3 の排水が再利用されている²⁾。

したがって、近い将来エジプトで利用可能な水資源を整理すれば、表Ⅱ-3のようになる。

表Ⅱ-3 エジプトで利用可能な水資源 (億 m^3 /年)

項目	水量
ナイル河水利権分	555
上流ナイル計画による増分	90
デルタ等での地下水開発分	5
排水の再利用分	120
合計	770

2. ナイル河流域の灌漑形態

(1) スーダン

スーダンでは、ダム建設を含む水利施設の整備とエジプトとの水利協定に代表される水利環境の改善に伴い、急速に灌漑農地が拡大している。過去50年間で168万haの農地が灌漑されている。年率5.9万haという驚異的な速度で灌漑開発が行われた訳である。灌漑開発の方式については、青ナイルおよびアトバラ河沿岸では重力灌漑、ナイル本流および白ナイル沿岸では地形上の制約によりポンプ揚水灌漑が行われている。ナイル水系以外では、フラッシュ灌漑と呼ばれる氾濫灌漑が行われている。また、地下水灌漑は始まったばかりである。

スーダンにおける灌漑方式別の灌漑面積を表Ⅱ-4に示す³⁾。

①重力灌漑(gravity irrigation)

[灌漑面積：109.2万ha]

表Ⅱ-4 灌漑方式別灌漑面積³⁾

方式	灌漑面積	割合
重力灌漑	109.2万ha	62.2%
ポンプ揚水灌漑	58.8	33.5
フラッシュ灌漑	4.6	2.6
ベイスン灌漑	2.1	1.2
地下水(深井戸)	0.9	0.5
合計	175.6	100.0

青ナイル沿いのゲジラ (Gezira) 地区 (46.8万ha)、その南西に隣接するマンギル (Mangil) 地区 (39.7万ha)、青ナイルの東に位置するラハド (Rahad) 地区、およびアトバラ河沿いのハシムエルギルバー (Khashm el Girba) ダム地区などがこれに該当する。ゲジラ地区は青ナイルに建設されたセナール (Sennar) ダムを主水源とし、ロゼイルス (Roseires) ダムを補助水源としている。マンギル地区はセナールダムを主水源とし不足分をジュベルオーリア (Jebel Auliya) ダムとロゼイルスダムに依存する。ラハド地区は青ナイルのロゼイルスダムを水源としている (図 II-4⁴⁾ 参照)。

特にゲジラ地区はスーダンの灌漑農業の原点であり、全ての計画の手本となっている。この地区では、土地は私有地もすべて政府が借り上げて、その経営はスーダン・ゲジラボード (Sudan Gezira Board) に委ねられている。幹線水路の最大通水量は168m³/sで、用水路網の延長は5,030kmに達する。地形は極めて平坦であるため整然とした区画割がなされている。幹線水路は支線水路に分水され、さらにアブイシュリー (Abu Ishreen) に分水される。アブイシュリーは37.8haに7日かけて約10cmの給水を行うため、12時間に5,055.5m³を送水できる大きさに設計される⁴⁾。アブイシュリーからは自然取水によりアブシッタ (Abu Sitta) という小水路 (4.2haを支配) に分水され、さらにガドワル (Gadwal) と呼ぶ耕地内最末端水路 (0.26~0.53haを支配) に分かれて、畝間灌漑により耕地へ灌水される。支線水路には夜間貯留堰が設けられ、ユニークな水管理が行われている。すなわち、水源に直結する幹線には24時間通水を行って水路断面の縮小化を図り、一方耕地への灌漑時間は昼間12時間と定めて、夜間に幹線から来る水を支線水路に貯えることにより、水源からの用水到達遅れの問題をカバーするという極めて合理的なものである。ただし、支線水路を夜間調整池として機能させるため、水路内堆砂が発生し易くその除去が大きな問題となっている。

②ポンプ揚水灌漑 (pumping irrigation)

[灌漑面積： 58.8万ha]

主に北部ナイル本流沿いおよび白ナイルのジュベルオーリア (Jebel Aulia) 貯水池周辺で行われている。青ナイル沿岸においては水位変動が激しく、従来この種の灌漑は限られていたが、貯水池の建設と共に今後急速に進展するものと考えられる。クナナ (Kenana) 砂糖きび開発計画は、白ナイルより直接揚水し3.3万haを灌漑するものである⁴⁾。アトバラ河においては、12月以降干上がってしまうため、この方法は導入できない。この灌漑方式による重要な栽培作物は綿、ミレット、小麦、メイズである。

③フラッシュ灌漑 (flush irrigation)

[灌漑面積： 4.6万ha]

東部スーダンのガッシュ (Gash) 川、およびバラカ (Baraka) 川のデルタ部において主に行われている。両河川共に一年のほとんどの期間は干上がってしまうが、雨季 (7~9月) にはシルトを大量に含んだ猛烈な出水に見舞われる。この出水を溢流させて綿とミレットを作付する方法である。原始的ではあるが、その水管理には多大の経験を要する。灌漑可能面積は年々の出水状況によって変動する。ガッシュ・デルタ地区ではこの方法で年間16,800~29,400ha、バラカ川のトカー (Tokar) デルタ地区では12,600~52,500haの灌漑がそれぞれ行われている⁴⁾。

④ベイスン灌漑 (basin irrigation)

[灌漑面積： 2.1万ha]

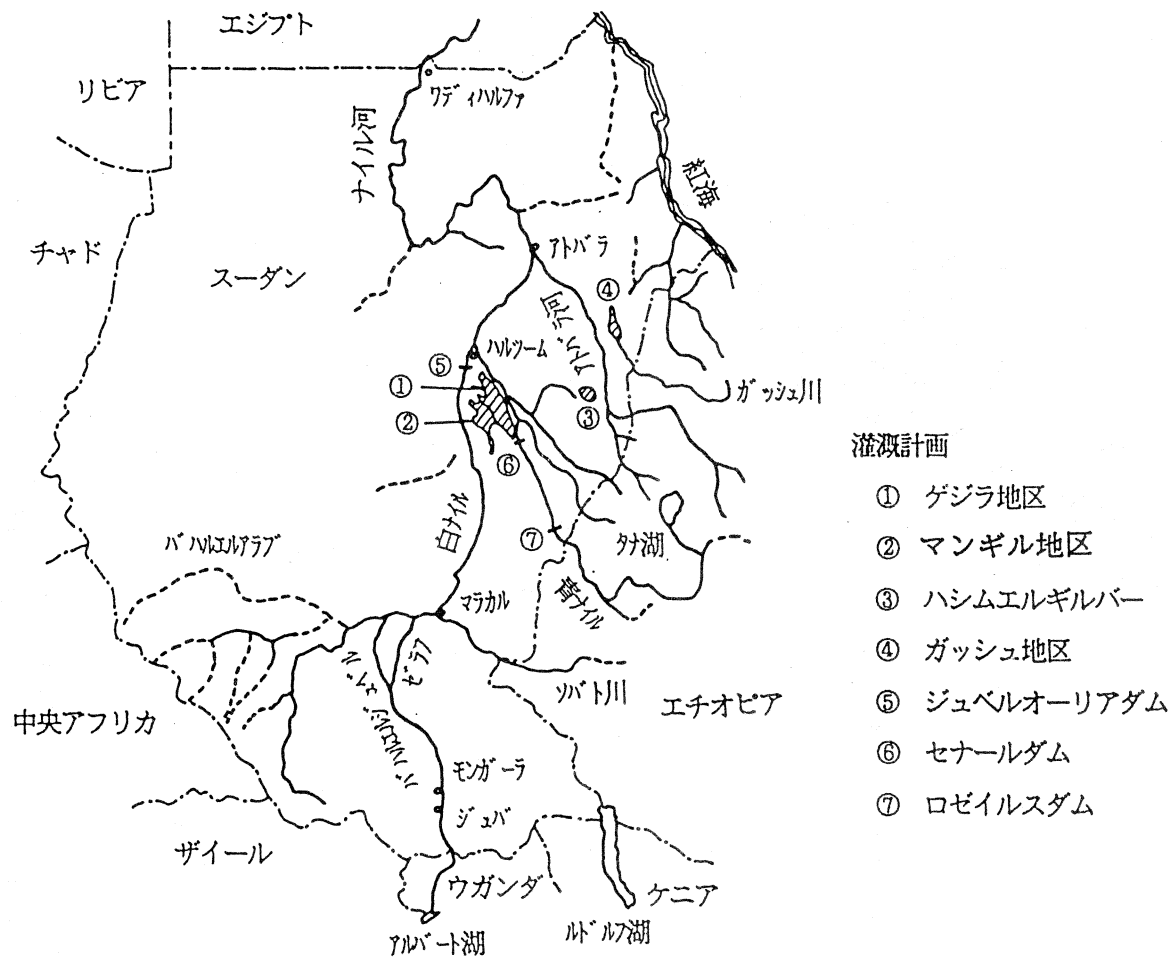
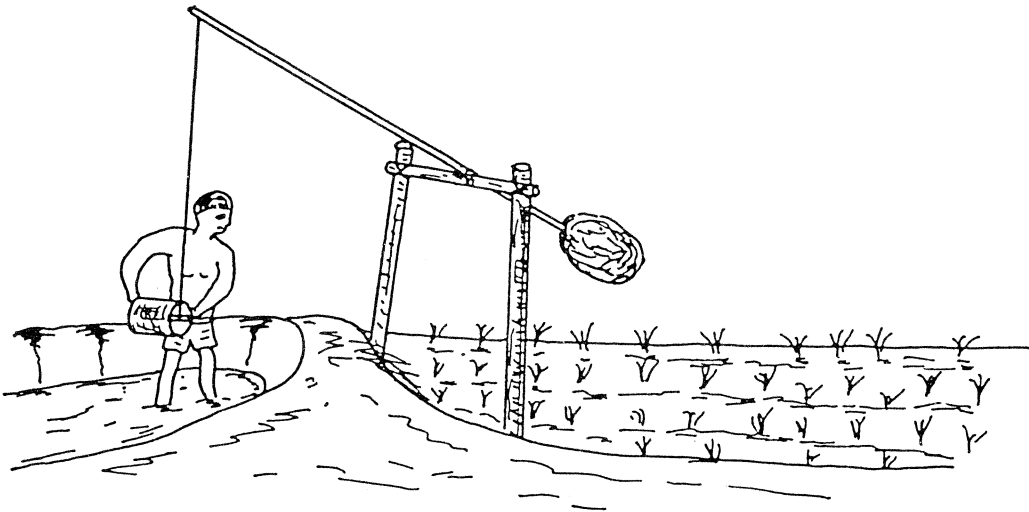


図 II - 4 スーダンの灌漑計画⁴⁾



図Ⅱ-5 サキア（上）およびシャドーフ（下）による灌漑

この灌漑方法は、今世紀初頭に始まった比較的新しい灌漑方法である。1919年のエジプトとの水利協定では、洪水期に自然に溢流した水の利用については制約を加えないこととしているが、スーダンのナイルバレーは狭くこの灌漑方法に向かない。わずかに北部スーダンで行われている程度である。灌漑面積はナイル河の水位により、年によって大きく変動する。豊水年には42,000ha、渇水年には4,200ha、平年で33,600haである⁴⁾。主にミレット、豆類、小麦、大麦等が栽培される。この方法も次第にポンプ揚水灌漑に変換しつつある。

⑤サキアおよびシャドーフ灌漑(saqiya and shaduf irrigation)

ポンプが導入される以前には、揚水はもっぱら畜(役牛)力によるサキア(水車)あるいは人力によるシャドーフ(釣合おもり揚水)によって行われていた(図Ⅱ-5参照)。現在ではポンプの普及が著しいが、北部スーダンを中心にいまなお広く用いられている。サキアはスーダンで約10,000台あるが、その揚程は3~8mであり、灌漑能力は1台で揚程にもよるが0.42~0.63ha、ときには1.68~2.1haにも達する。シャドーフは普通野菜栽培に用いられ、スーダンで1,750台(1952年)ある。その能力は揚程2mの場合1人1日24.27~30.3m³の揚水が可能である⁴⁾。

(2) エジプト

「エジプトはナイルの賜物」といわれるように、その農業は全くナイル河に依存している。現在の農耕地はナイルバレーとデルタおよびその周辺の約240万haで、国土面積の3%にすぎない。それ以外は砂漠である。現在のエジプト農業で重要な役割を演じているのは、北部のデルタ堰(Delta Barrage)と南部のアスワンダム、アスワンハイダムである。前者はデルタ地域の水管理の集約化、後者は国全体の水資源の増強という点でそれぞれ資するところが大きい。

デルタ堰の築造された1863年までは、1年周期の洪水に依存する「ベイスン(basin)灌漑」により、年1回の作付が行われていた。この灌漑法は、洪水を広い集水池に1~2mの深さで2~3カ月間貯留し、その後落水し土壌を耕作しうる程度にまで乾かし作付する方法である。この方法では耕地が疲弊することなく、また土壌中に塩類が集積するという乾燥地域特有の問題も生じなかった。デルタ堰完成後、この灌漑法は「周年(perennial)灌漑」へと移行していった。1965年にハイダムの第1期工事が完成したことに伴い、ベイスン灌漑はエジプトから完全に姿を消した。

ハイダムの完成により、約55万haの開拓地の灌漑と42万haの既耕地をベイスン灌漑から周年灌漑に転換し得た。しかしながら、ベイスン灌漑が姿を消したことに伴い、ウオーターロギング(Water logging)や塩害が顕在化していることも事実である。そのため、灌漑にもまして排水には格別の配慮がなされ整備が進められている。

①水管理

現在の周年灌漑においては、用水供給はハイダムからの計画放流によって賄われる。放流された水は、ナイル河に築かれた頭首工(堰:barrages)により幹線水路に導水される。以下、支線水路、圃場用水路(Meska)へと導かれる。頭首工は公共事業・水資源省の直轄管理下にあるが、幹線水路以下の管理は県(Directorate)、郡(District)レベルで行われ、

圃場用水路以下は農民の管理に委ねられる。幹線水路への水供給は、2あるいは3交代の輪番方式で行われる。間断日数は、作物および天候によって決められるが、4日～7日間断が一般的である。例えば3交代の輪番の場合、水路の上流域、中流域、下流域はそれぞれ所定の間断日数毎に順次灌漑されることになる。次に輪番灌漑の例を幾つか示す。

2交代輪番	水稲	4日灌漑	4日間断
	綿	7日灌漑	7日間断
3交代輪番	夏作物	4日灌漑	8日間断
	冬作物	5日灌漑	10日間断

一般に末端水路水位は圃場面より50～70cm程度以上低く設定されているため、各農民あるいは農民団体は揚水作業を余儀なくされる。揚水は普通畜力、人力によるサキア、シャドーフ、タンボール(tamboor)などが用いられるが、ときには電力ポンプ、ディーゼルポンプも用いられる。この末端における水頭を低く抑える設計方式は、農民による過剰灌漑を抑制し、かつ土壌表面への塩類集積を防止するという効果をねらったものである。しかしながら、水路システムは24時間連続灌漑を前提にしているのに対し、農民の揚水作業は午前中に集中して下流部では取水不能となり、午後および夜間はメスカ(miskas:水を圃場へ取水・供給する主水路から引水するための溝)を通して用水が無駄に排水路に流れ込むため、用水の利用効率は著しく下がる⁵⁾。

揚水された水は圃場内用水溝(マルワ:marwas)を通じ主に2つの方法で灌漑される。1つ目の方法は水盤灌漑(basin irrigation)といい、稲やクローバーのような作物に対し圃場を非常に細かい2～15m²程度の区画(basin)に分割して給水する方法である。2つ目は圃場を約220m²の区画に分割し畝を作って給水する方法で、畝間灌漑(furrow irrigation)といい、綿や多くの畑作物の灌漑に用いられる。

エジプトにおける全体の灌漑効率は低く、45～50%程度と推定される²⁾。

②排水

塩害対策はエジプト政府にとって、用水対策と共に最大の関心事である。そのため、1950年頃より灌漑地に排水路網の整備が進められ、現在ではその総延長は1万7千kmに及んでいる。さらに土管暗渠の効果が政府に強く認識され、1970年以来その敷設も精力的に推進されつつある。ちなみに土管暗渠が敷設された地区では、次のような効果が確認されている²⁾。

(a)メイズと小麦の平均収量は50%増加している。(b)作物の平均収量の増加は、土管暗渠網整備後3年目に最高に達している。(c)土壌分析によれば、塩分濃度は約55%減少している。

最近ではコンクリート管、P.V.C管も暗渠排水に使われている。1980年までに全部で84万haの暗渠排水が施工され、現在デルタの50%をカバーしているといわれる。これらの結果、年平均地下水位はナイルバレーで1.2～1.9m、デルタ頂部で0.7～0.9m、デルタ下流部で0.2～0.8mに保たれている⁵⁾。2000年までに210万haの暗渠排水整備が計画されている。

引用文献

- 1) Shahim, M. 1985. Hydrology of the Nile Basin, Elsevier, Netherlands.
- 2) Framji, K. K., Garg, B. C. and Luthra, S. D. L. 1983. Arab Republic of Egypt, Irri-

gation and drainage in the world. ICID.

3) IBRD 1979. Sudan agricultural sector survey.

4) Framji, K. K., Garg, B. C. and Luthra, S. D. L. 1983. Sudan, Irrigation and drainage in the world. ICID.

5) 海田能宏ほか 1987. 昭和62年度水管理技術研究会「エジプト現地調査報告書」, 農用地開発公団。

6) 湯浅満之 1986. アフリカ農業水利開発の可能性, 農業土木学会誌, 54(1):19~30。

7) Hurst, H. E. 1952. The Nile: A general account of the river and the utilization of its waters. London, Constable (2nd edition 1957).

8) Balek, J. 1983. Hydrology and water resources in tropical regions. Elsevier, Amsterdam.

Ⅲ. 西アフリカ地域の農業環境と灌漑開発

1. 環境条件

(1) 地理的条件

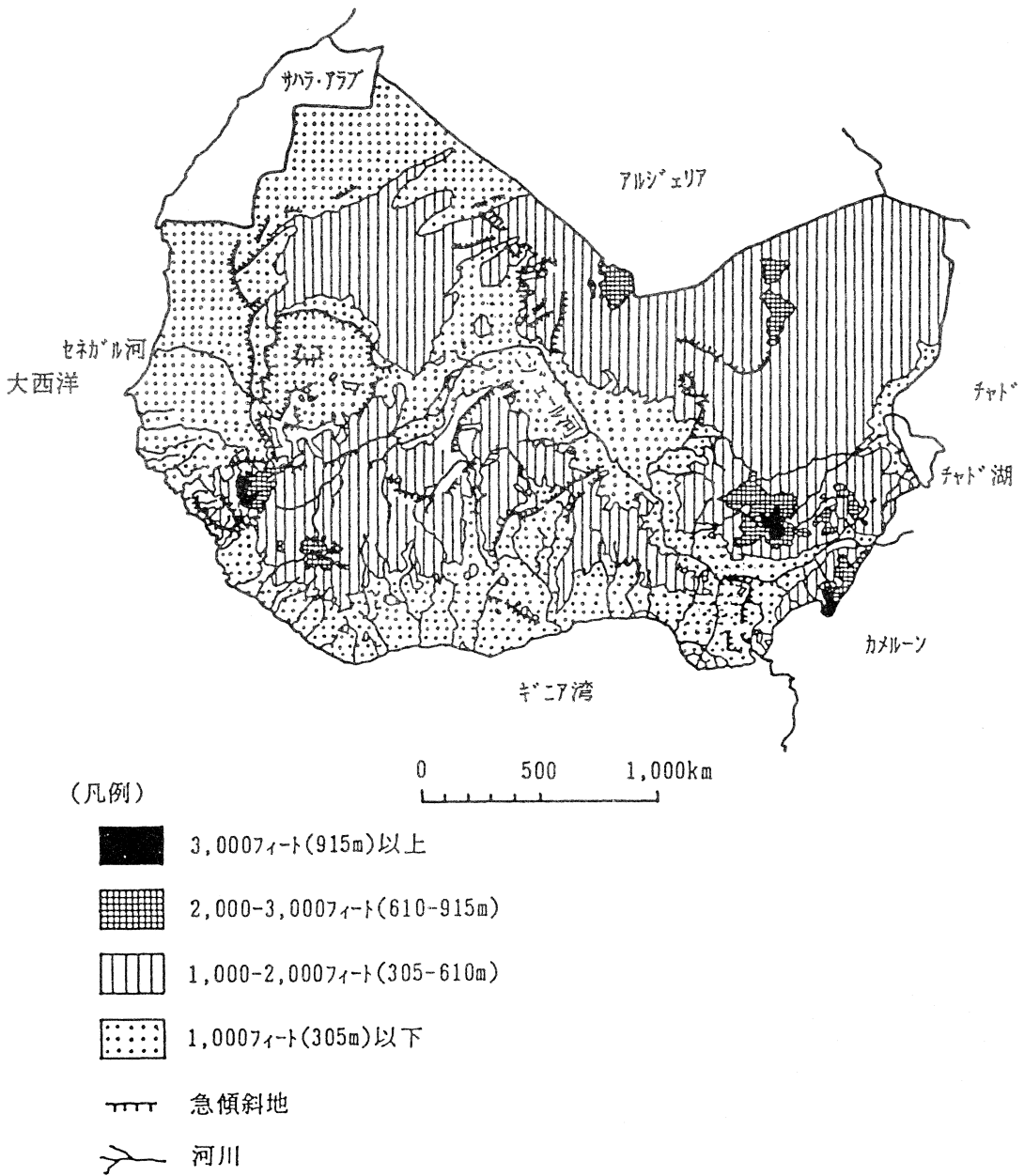
西アフリカは一つの広大な低い台地であり、アフリカ大陸の他の地域のように狭い海岸平野、狭い大陸棚、多くの台地および未発達河川で特徴付けられる地形とは様相を異にする。西アフリカ地域は、主に3つの地形に区分できる。すなわち、海拔1,000フィート(305m)を超えない低地、海拔1,000フィート以上の内陸平野、高地である(図Ⅲ-1¹⁾参照)。

低地は海岸沿い、およびチャド低地、さらにニジェール河の内陸デルタに分布している。水稲作は主にこの地域に集中している。海岸沿いの低地は平坦な平野ではなく、どちらかと言えば起伏に富んでおり、セネガル、ガンビア、コートジボアール、ナイジェリア東南部など内陸に160~240km広がるものを除き、一般に極めて狭い。このうちマングローブなどの繁茂する湿地帯は一般にマングローブ沼沢地と呼ばれる。マングローブ沼沢地はセネガル、ガンビア、ギニア・ビサウ、ギニア、シエラレオーネ、ナイジェリアなどの海岸沿いに分布し、西アフリカで100万haあるといわれている。このマングローブ沼沢地では、約1世紀ほど前から農民により開墾が進められ、水稲作が行われている。現在では21%に当たる21.4万haで水稲が作付されているが、WARDAによればさらに21万haの開田が環境を破壊することなく可能であるといわれている²⁾。チャド湖流域とニジェール河内陸デルタの2つの主要な内陸低地は内陸排水流域を形成している。これらの流域では地形の均一性が顕著であり、雨季には広大な面積が湛水してしまう。

海岸平野から内陸のより高い平野への移行部は、侵食の1つのサイクルから次のサイクルへの接点でもあるため段差があり、河川はこの部分を急流あるいは滝の形で流下する。各平野の表面は侵食面であり、普通起伏があるが比較的開けていて単調な地形である。基盤岩の上に発達した平野は、堆積層の上に発達した新しい平野とは明かに種類が異なり、水食だけでなく風食の影響を強く受けている。この平野には、インゼルベルグ(inselberg)という非常に急傾斜の側面を持つ孤立した丘があちこちに存在する(巻末写真参照)。また、ガリ侵食も所々で見かけられる。

西アフリカの主要な高地としては、標高1,200~1,300mのジョス(Jos)高原、アダマワ(Adamawa)高原、標高750~920mのフータ・ジャロン(Futa-Jallon)、ギニア高地、標高700mのビウ(Biu)高原、標高450mのシカソ(Sikasso)高原などがある。これらの高地は、多くの主要河川の水源地を形成している。

西アフリカにおける河川の特徴の1つとしてとして、その多くが過去に別の河川と結合(river captures)して流域を拡大してきた点を挙げる事ができる¹⁾。すなわち、バンドアマ(Bandama)河、ボルタ(Volta)河、オクパラ(Okpara)河のようなまっすぐ海に向かって流れる河川は、内陸部を緩やかに流れる河川と結合しながら、その源流を内陸に伸ばしてきた。この現象は、この地域の分水嶺の標高が高くないことによるもので、ニジェール(Niger)河もその典型であろう。過去において、ニジェール河は内陸デルタ地域の内陸排水流域に流入していたが、ゴア(Goa)でローアニジェール河とつながり海に流れるようになった。そのほかの例として、エンヨンクリーク(Enyong Creek)とイモ(Imo)河の結合、黒ボルタ(



図Ⅲ-1 西アフリカの地勢図¹⁾

Black Volta)河とボルタ河の結合、あるいはかつてチャド湖に流入していたアッパーゴングラ(Upper Gongola)河とベヌエ(Benue)河の結合などが挙げられる。現在でもこの河川結合は進みつつあり、ロゴヌ(Logone)河とアッパーベヌエ(Upper Benue)河の結合は今にも起こりそうである。チャド湖はその水源の約3/4をロゴヌ河とシャリ(Shari)河から受けており、もしこの河川結合が防止できなければ、その水量の大幅な減少は確実である。このように西アフリカにおいては、河川結合は水資源の乏しい内陸乾燥地域からの水の収奪そのものであり、慎重な対応が必要である。

(2) 気象条件

この地方は、気候型が緯度とともに比較的規則正しく変化するところにその特徴がある。気候帯については、(1)半赤道気候、(2)ギニアまたは湿潤熱帯気候、(3)スーダン気候、(4)サヘル気候、(5)砂漠またはサハラ気候、(6)高地気候の6つに分けられる。この地方の気候には2つの気団が深く関わっている。すなわち、湿気を帯びた南西モンスーンで代表される赤道海洋気団(equatorial maritime air mass)と、乾いてほこりっぽい北東貿易風(northeast trades)あるいはハルマッタン(harmattan)で代表される熱帯大陸気団(tropical continental air mass)である。この2つの気団が合流するところは、熱帯収束帯(ITCZ: intertropical convergence zone)と呼ばれ、どちらの気団が卓越するかによって南北に移動する。ITCZは海岸にまで及ぶことはめったにない。雨はITCZの南側の地域のみ以降るので、海岸沿いの幾つかの地域ではほぼ年間を通して雨が降る。1月にITCZはおよそ北緯9° 辺りに横たわる。このため海岸部を除く全ての地域は暑くて乾燥した北東風の影響を受ける。8月には、ITCZは大体北緯20° の位置にあり、この地域全域は湿った南西および西風の影響下に入る¹⁾³⁾。

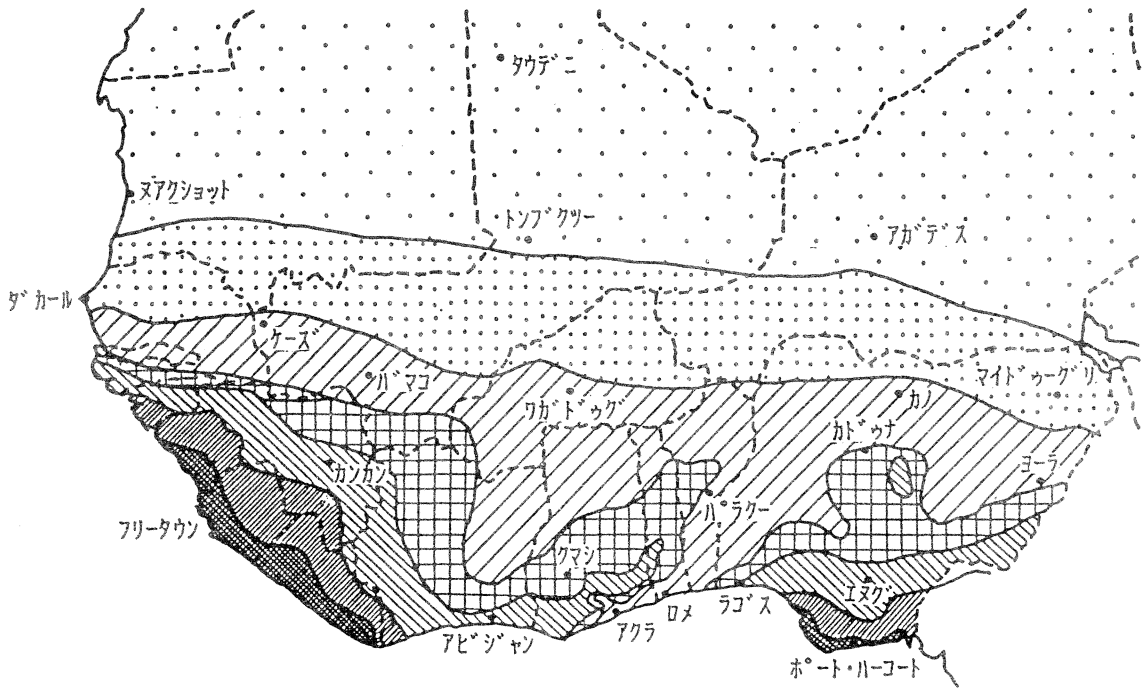
年平均降雨量の分布を図Ⅲ-2に、各季節の降雨分布を図Ⅲ-3に示す¹⁾。図Ⅲ-4は降雨量、気温の緯度に伴う変化を示したものである⁴⁾。また、表Ⅲ-1に幾つかの地点の気温と降雨量を示す¹⁾⁵⁾。

この地域の降雨特性を整理すれば、次のようになる¹⁾。

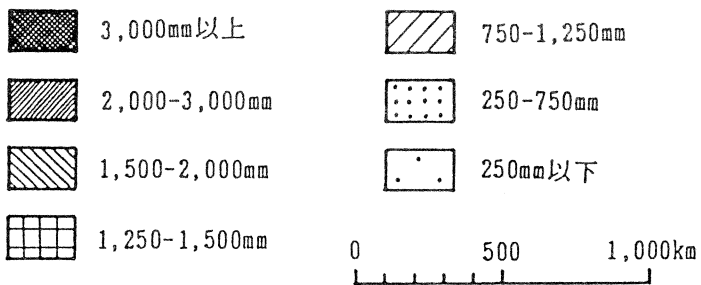
(a)アクラ乾燥帯(Accra dry belt)を除く海岸地域は、降雨量が最も多い。シェラレオーネやリベリア、そしてニジェールデルタなど海岸沿いの地域では、年降雨量は約3,050mmであるが、北緯15° 地域では約250mmとなり、降雨量は一般に内陸に入るに従って減少する。緯度が1℃(約110km)高くなる毎に年降雨量が約200mmずつ多くなる。

(b)地形的降雨はジョス高原やトーゴ高原のような内陸地域で見られる。カメルーン山(Mt. Cameroon)の麓のデブンチャ(Debunsha)では、年降雨量10,000mmという値が記録されている。(c)アクラ乾燥帯のすぐ北では、降雨量が多くなっているが、この乾燥帯の存在理由として次の点が挙げられる。①海岸線が雨を含んだ風の方向と平行しているため。②この付近ではベングエラ(Benguela)寒流とギニア暖流が合流し、冷水が上方へ持ち上げられ、その上を通過する風を冷たくする。そのため、この地域の海岸沿いには降雨をもたらさないうで、霧の発生を促す。

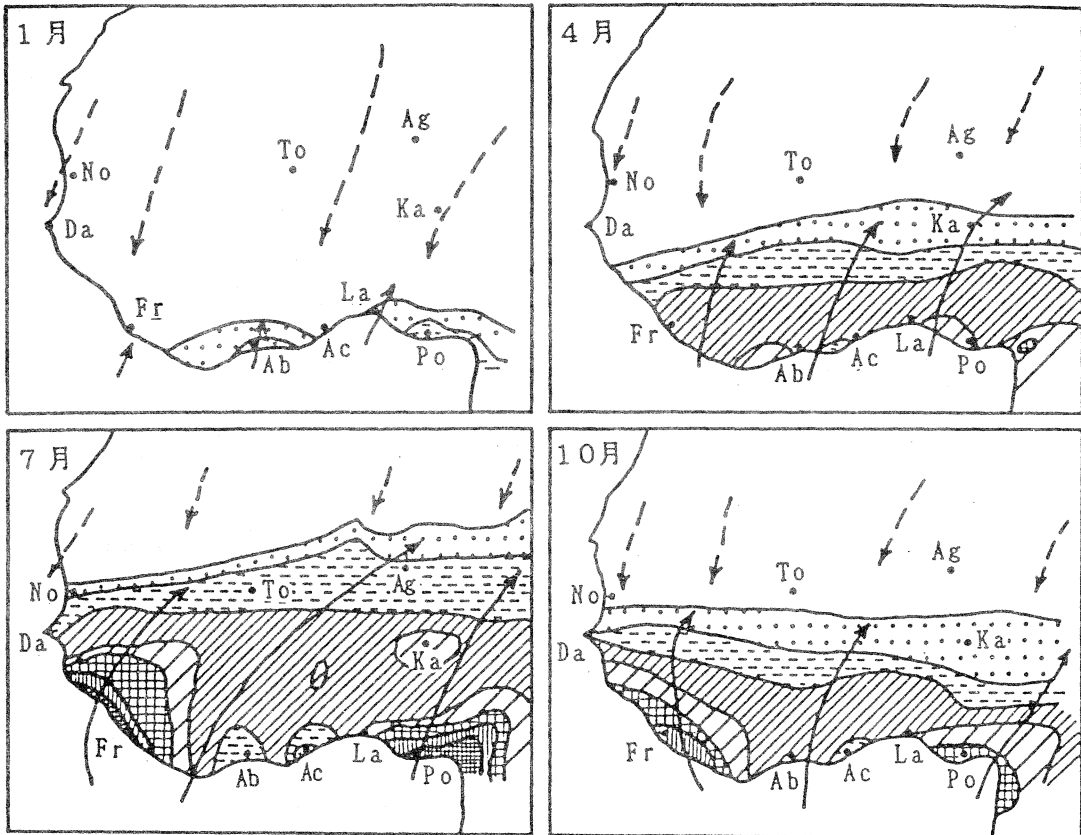
(d)雨季の期間は海岸から内陸に行くにしたがって短くなる。森林の多い南部の多くの地域は、100mm以上の降雨のある月が約7カ月ある。これに対し、北方内陸地域では100mm以上の降雨のある月は3カ月未満である。南部では雨季の始まりは大体3月と早く、終りは10



(凡例)

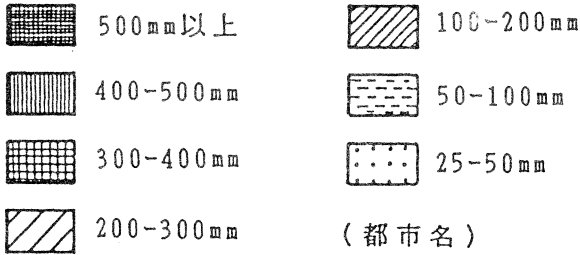


図Ⅲ-2 年平均降雨量の分布¹⁾



0 500 1,000 1,500km

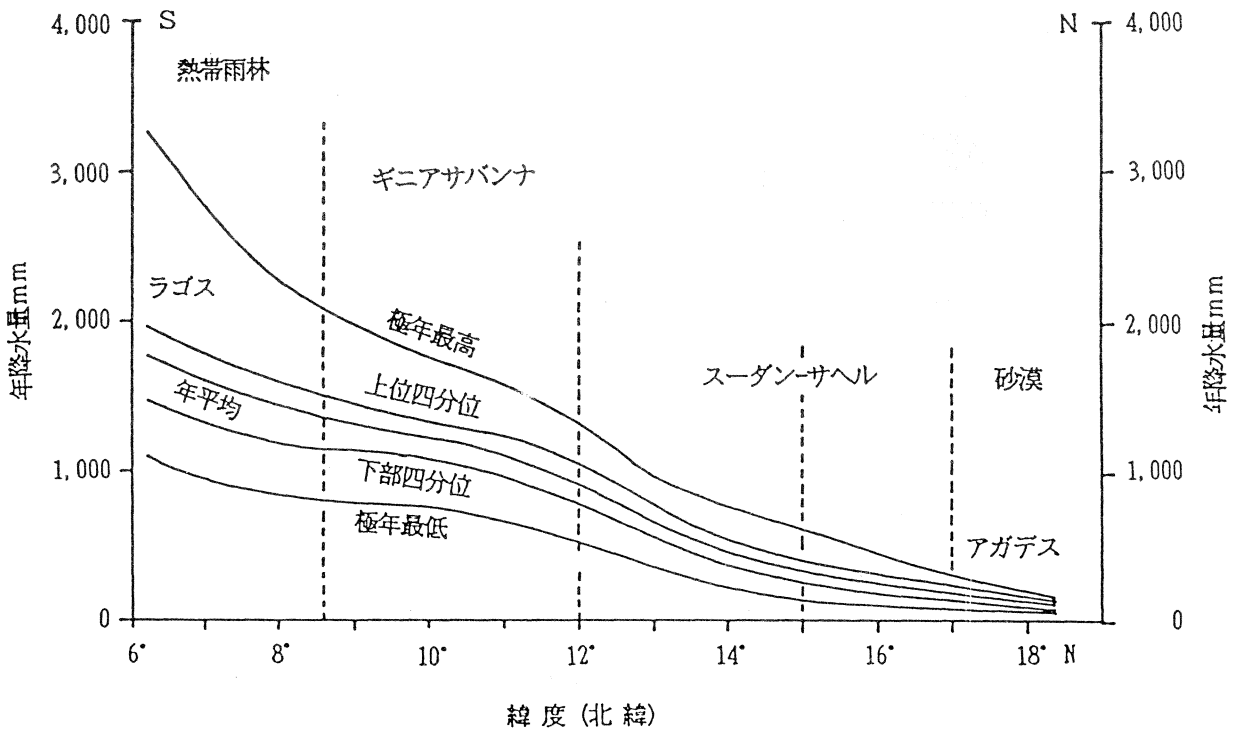
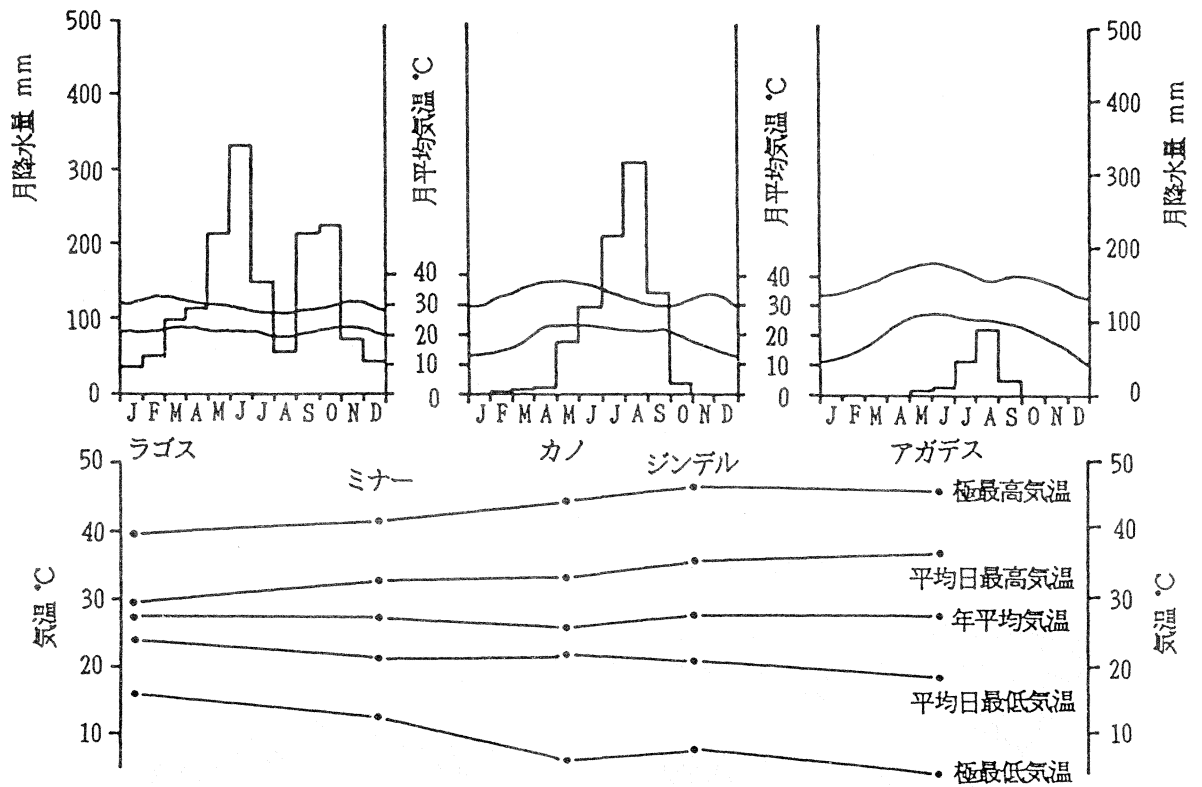
(凡例)



(都市名)

Ab: アビジヤン	Ka: カ
Ac: アクラ	La: ラコス
Ag: アガデス	No: ノアクショット
Da: ターカル	Po: ポートハーコート
Fr: フリータウン	To: トンブクツー

図Ⅲ-3 各季節の降雨分布¹⁾



図Ⅲ-4 降雨量と気温の緯度に伴う変化⁴⁾

表Ⅲ-1 西アフリカ各地の気温と降雨量¹⁾⁵⁾

上段: 日平均最高気温(°C)

中段: 日平均最低気温(°C)

下段: 降雨量(mm)

観測点	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年	気候型
コナクリ 標高4.9m 9°31'N 13°45'W	31 23 2.5	32 23 2.5	32 24 10	32 24 22.5	32 24 155	31 24 550	28 23 1,278	28 23 1,038	29 23 673	30 23 367	31 24 120	31 24 10	31 23.5 4,228.5	モンスーン
ウォーリ 標高6m 5°31'N 5°44'E	31 22 32.5	33 22 52.5	33 23 132.5	33 23 225	31 23 270	30 22 372.5	28 22 385	28 23 295	29 22 427.5	30 22 317.5	32 22 110	32 22 35	31 23 2,655	半赤道
ブアケ 標高338m 7°41'N 5°02'W	33 21 10	34 22 37.5	35 22 102.5	35 22 145	33 22 132.5	31 21 150	29 21 80	29 21 115	30 21 205	31 21 130	32 21 37.5	33 21 25	32 22 1,170	湿潤熱帯
タマール 標高194m 9°24'N 0°53'W	36 18 2.5	38 21 7.5	38 23 55	37 23 80	34 23 117.5	32 22 137.5	31 22 137.5	30 21 202.5	31 21 222.5	33 22 92.5	35 21 17.5	34 21 5	34 22 1,077.5	ギニア・サバンナ
ジョス 標高1,289m 9°52'N 8°54'E	28 14 2.5	30 15 2.5	31 18 27.5	32 19 85	29 18 200	27 17 222.5	24 17 325	24 17 287.5	26 17 210	28 17 40	28 21 2.5	28 14 2.5	28 17 1,407.5	高原
ダカール 標高32m 14°39'N 17°25'W	28 18 0	28 18 0	28 18 0	27 18 0	28 20 0	31 23 30	31 25 87.5	31 24 260	31 25 142.5	31 24 42.5	31 23 5	28 20 0	29 22 567.5	セネガル 海岸
カノ 標高472m 12°02'N 8°32'E	30 13 0	32 16 0	36 19 2.5	38 22 7.5	37 24 67.5	35 23 112.5	31 22 200	29 21 310	31 21 127.5	34 20 12.5	34 17 0	31 14 0	33 19 840	スーダン サバンナ
ケーズ 標高56m 14°24'N 11°26'W	35 17 2.5	38 19 0	41 22 0	44 25 0	43 28 25	40 26 95	34 24 157.5	32 23 237.5	33 23 185	35 23 42.5	38 18 0	34 18 0	37 18 745	サヘル
ヌアクシヨット 標高20m 18°06'N 15°59'W	29 14 0	31 15 2.5	32 17 2.5	32 18 0	34 21 2.5	33 23 2.5	32 24 10	32 24 100	34 24 22.5	33 22 10	32 18 2.5	28 13 2.5	32 19 157.5	砂漠海岸
アガデス 標高520m 16°59'N 7°58'E	28 10 0	33 12 0	38 16 0	42 21 0	44 25 5	44 24 7.5	41 23 50	39 23 92.5	41 23 17.5	41 20 0	34 15 0	32 12 0	38 18 172.5	砂漠

月と遅い。一方北部では、雨季は5月に始まり、9月に終わる。

(e) 南部では降雨のピークは6月と10月の2回見られる。これに対し西部および北部では、ピークは9月に1回見られるだけである。

(f) 降雨の年変動はかなり大きい。特に北部地方では年変動が大きく、変動係数は50%に及ぶ。気温については、次のような点が確認されている¹⁾。

(a) 気温は年間通して高く、各地点での期別変動はほとんどない。南部では日平均気温は、雨季に少し下がる以外は年間通して約27℃である。

(b) モーリタニア、セネガル、ガンビアの海岸沿いは、乾季の日平均気温が雨季のそれより低くなるという奇妙な現象がみられる。この乾季における低温は、カナリア寒流とそれを横切る海風の冷却効果によるものである。

(c) ジョス高原などの高原部を除き、気温は内陸部ほど高くなる。また、気温の日較差も内陸部に入るに従って増加する。

(d) 1月の日平均気温は、北部で低くなる。例えば、タマレ(Tamale)とトンブクツー(Timbuktu)の1月の日平均気温はそれぞれ27℃と21℃である。一方、7月には気温は北方に行くほど高くなり、タマレで26.5℃、トンブクツーで31℃である。

2. 水利条件

西アフリカの河川は図Ⅲ-5³⁾に示すように、西アフリカ最大のニジェール河水系とセネガル河、ボルタ河など大西洋、ギニア湾に直接流出する大小数多くの河川群の2つの系統に大きく分けることができよう。

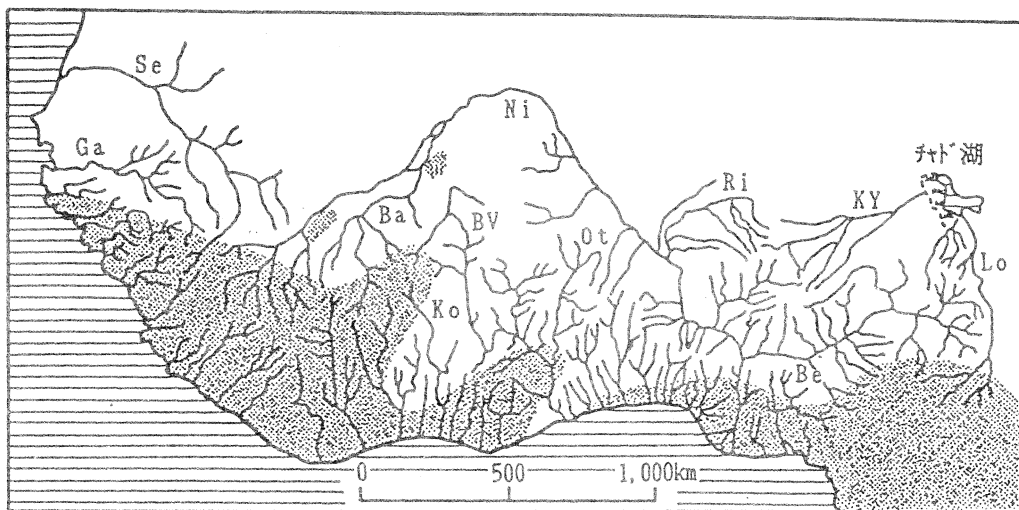
(1) ニジェール河流域

① 流出特性

ニジェール河は大西洋から250km離れた標高800mのギニアの山岳地帯に源を発し、マリ、ニジェールを経てナイジェリアでギニア湾に注ぐ国際河川である。流路延長は4,160km、流域面積は109.1万km²、流出量は平均2,200億m³/年(7,000m³/s)である⁶⁾。その特徴は、1万分の1という極めて緩やかな河川勾配と、内陸デルタ地域に2.5万haという広大な氾濫原を有することにある。すなわち、この両者の影響により下流域における流水の到達時間は大幅に遅れ、流出形態は非常に複雑なものとなっている。ニジェール河の流況を上流域から下流域に向かってみていけば、次の様に整理できよう。

[上流域～内陸デルタ地域]

雨季に源流の山岳地帯を流下してきた洪水は、クーリコロ(Koulikoro)では6月～11月に集中する(図Ⅲ-6)^{3) 6)}。9月に最高となるが、ピーク流量は8,000～10,000m³/sに達することもある⁷⁾。セグー(Segou)から下流のトンブクツーまでは内陸デルタ地域で、河川の通水能力も低いことから、河川水は氾濫原に溢れ出て貯留される。源流からの流下流量の減少とともに、氾濫原の貯留水が本流に還流し始めるため、トンブクツーでは流出のピークは12月～1月に現れる(図Ⅲ-6)。この結果、トンブクツーでは9月に乾季が始まるが、その後4カ月間も河川流量は上昇し続け、渇水期は3～4カ月で終わってしまう。トンブクツーにお



(凡例)

河川名

Ni: ニジェール河

Ot: オーティ河

Be: ベヌエ河

KY: コマククヨハ河

Ba: バルニ河

Lo: ロゴヌ河

Ri: リマ河

Se: セネガル河

Ga: ガンビア河

点を施している部分は、支川など

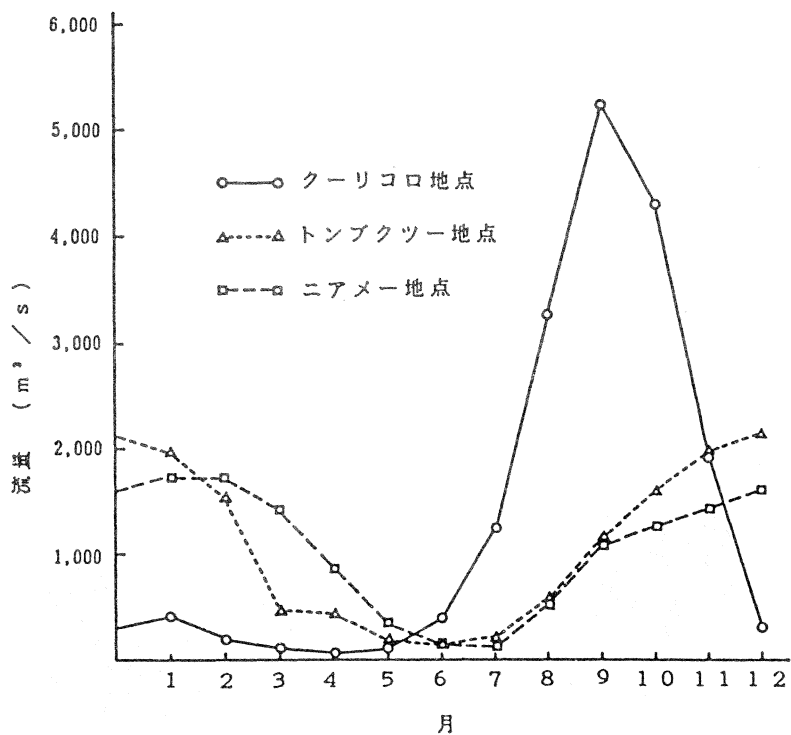
Ko: コモエ河

小河川流域の地下水流出が乾季を

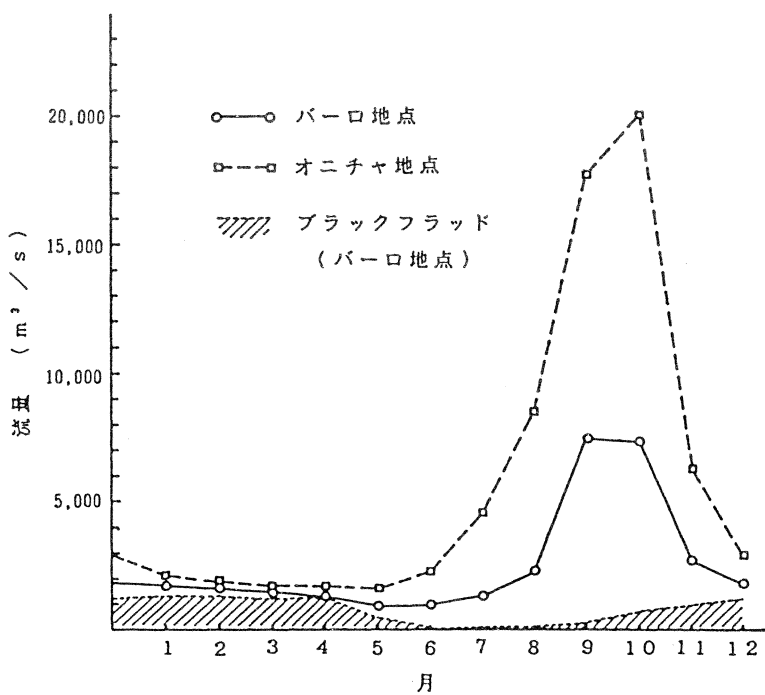
BV: 黒ボルト河

通して起こる地域を示す。

図Ⅲ-5 西アフリカの河川³⁾



図Ⅲ-6 ニジェール河上・中流域の流況³⁾⁶⁾



図Ⅲ-7 ニジェール河下流域の流況³⁾

ける全流出量の85%は乾季に流出することになり、乾季の貴重な水資源となる。この広大な氾濫原の貯留機能のメリットは大きいですが、この間蒸発と浸透により莫大な水量損失が生じていることも忘れてはならない。この内陸デルタ地域における損失水量は50%にもものぼると言われている³⁾。

[中, 下流域]

トンブクツーからニアメー(Niamey)の区間では、涸川のみが合流するため、ニアメーの流況はピーク流量がさらに約1カ月遅く出現するほかは、トンブクツーのそれとほとんど変わらない(図Ⅲ-6)³⁾。ニアメーからバーロ(Baro)の区間では、アリボリ(Alibori)河のような支流が次々と流入し始める。これらの支流の出水期は6月～10月であるため、ニジェール河本川の流量ピークの時期もこれとほぼ一致するようになる(図Ⅲ-7)。乾季における流出量がかかなり高くなっているのは、この地方でブラックフラッド(Black Flood)として知られる上流域からの洪水が到達するためである(図Ⅲ-7のハッチ部)³⁾。なお、ブラックフラッドに対して、ニアメーの下流域から流入するものはホワイトフラッドと呼ばれている⁷⁾。この区間には巨大なカインジダム湖があり、調整が行われているため、ダム下流域では流況が大きく変化している。その後、ベヌエ(Benue)河が合流し、広大な三角州を形成してギニア湾へ至る。ベヌエ河合流点と三角州の間にあるオニチャ(Onitsha)における流況は図Ⅲ-7に示す。

②ニジェール河をめぐる国際協定

ニジェール河は西アフリカの内陸乾燥地域にとって貴重な水の供給源であり、しかもその流域は9カ国にまたがるため、関係国の間で調和のとれた水源開発が重要である。このため、まず1963年10月に関係9カ国^{*)}により、ニジェール河の内陸航行と流域内での経済協力に関する国際法(通称ニアメー法)が制定された。翌1964年には、ニジェール河委員会(Niger River Commission)の設置に関する協定が結ばれている⁸⁾。また、1980年11月にはニジェール河流域機構(NBA)が設置されている⁷⁾。ニジェール河沿岸における稲作は、従来の高水を利用した伝統的浮稲農法が基本であり、沿岸の高水敷において行われてきた⁷⁾。また、近代的灌漑施設が整った耕地は、本川沿岸の高水敷、あるいは支流におけるダムプロジェクトの下流においてのみ存在する。整備された灌漑施設をもつ地域では、普通政府の管理組織により管理されている。

③水利開発と灌漑形態

ニジェール河沿岸4カ国の水利開発と灌漑形態を他水系も含めて以下に概観する。

【ギニア】

ギニアは豊富な降水量と多くの河川(25河川)に恵まれており、水資源開発のポテンシャルは極めて高い。しかしながら、現在までの水資源の開発は水力発電が中心で、灌漑の土地率は4.4%に過ぎない。今後、ニジェール河水系を中心に豊富な水資源を生かした灌漑開めの開発はまだ緒についたばかりといえる。灌漑耕地面積は約7万haと推定され⁹⁾、灌漑耕

注) *) 関係9カ国：ギニア、マリ、ニジェール、ナイジェリア、コートジボワール、ブルキナファソ、ベニン、カメルーン、チャド

発が期待される。

水稻の灌漑方式としては、大西洋岸のマングローブ沼沢地帯では潮の干満を利用した潮汐灌漑が行われている。内陸の沼沢地では、雨季の自然湛水を待って作付する利水形態が一般的である。

【マリ】

マリにおける降雨量は、南部では1,400mmであるが、北部に行くに従って少なくなり、200mm以下となっている。気候帯もこの降雨分布に応じて、ギニア、スーダン、サヘル、砂漠と南から北へ変化している。主要河川はニジェール河とセネガル河であり、この国の農業開発はこの両水系の開発いかにかかっている。

特に、ニジェール河沿岸にはセゲーとトンブクツーの間に広大な内陸デルタがあり、1929年以来綿、水稻を対象とした約100万haの灌漑計画が実施されてきた。これはニジェール計画と呼ばれ、現在マリで実施されている灌漑計画の中で最大のものである。主な施設としては、1929年に完成したソツバ(Sotuba)ダム、1948年完成のマルカラ(Markala)堰があるが、最近さらに上流の支流サンカラニ河に建設されたセレンゲダムにより、より安定した水資源の確保が可能となっている。この他のポテンシャルの高い灌漑計画として、セグ米作開発計画(35,000ha)、モプティ米作開発計画(18,000ha)、バギンダ開発計画(3,300ha)がある。いずれもセレンゲダムの完成に伴う渇水期流量の増加の恩恵を受ける計画であり、灌漑面積の拡大と栽培作物の二期作化あるいは二毛作化が可能となる。

灌漑耕地面積は約35万haと推定され⁹⁾、灌漑耕地率は17%となっている。マリにおける灌漑形態として以下のものが挙げられる¹⁰⁾。

(a)大規模灌漑： 河川に頭首工あるいはポンプ場を設けて取水し、幹線水路、支線水路を経て灌漑地区に導水する典型的な方式のものである。灌漑地区内では水は直接各圃場に給水されないで、田越しで導かれる。事業コストは、地区により大きく変動するが、ディーレ、トンブクツー地区(土水路、整地なし)の事例ではUS\$5,000/ha、年間維持管理費は建設コストの1~2%である。ガオ地区(コンクリートライニング、整地なし)の事例では、事業コストがUS\$6,300~7,400/haであった。整地を含む他のニジェール流域での事業のコストは、US\$8,400/haにもものぼる¹¹⁾。最近、この形態の灌漑開発はほとんど進められておらず、既存事業の復旧により精力が注がれている。

(b)制御冠水灌漑(controlled submersion)： ここでは制御湛水灌漑(controlled flooding)と同義語として扱う。主要河川沿いで行われるもので、基本的には堤防を築いて自然の洪水をある程度制御し、灌漑に活用する形態である。浮き稲の栽培などもこれに含まれる。この方式の一般的な形態は、次の施設および機能を持つ¹¹⁾。①河川沿いに堤防を築き、灌漑地を洪水から守る。必要に応じて灌漑地の周辺にも堤防を築く。②手動もしくは自動のゲートで取水量および排水量を調節する。ゲートは一般に取水と排水兼用であるが、排水専用ゲートを設ける場合もある。③幹線水路は普通底勾配のない水路で、取水ゲートから地区内縁の幾つかの低位部にのびる。これには2次水路が接続され、地区内の湛水深を調節する。④水深に応じて異なる水稻品種を作付するため、地形に応じて畦で仕切る。地区内の整地は行わないため、湛水深はまちまちである。そのため、地形に応じて異なる品種を用いる必要がある。最も低い箇所には浮稲が作付される。浮稲は一般に1.3m(

最大2.5~3.0m)の湛水のもとで生育する。次の水深60cmの箇所では、多少の水位変動にも耐性がある在来の低地品種が作付される。15cm以下の湛水が見込まれる区域は、普通予備地として残される。この理由は、局所的な起伏と湛水深の年変動により、この区域が実際に適当な水位を確保できるかどうか見極めがつかないためである。この形態の灌漑システムは、普通超過確率90%の洪水位を対象に設計されている¹¹⁾。マリにおけるこの方式の灌漑面積は、7万haあるといわれる。しかしながら、この方式には2つの限界がある。第1に、収量は水位の変動に左右され、かつ深い水深のため在来の長稈品種や浮稲種のみが栽培可能である。第2に、雨季が十分な湛水をもたらすまで播種ができないことである。これらの問題の解決法として2つの改良法がある。すなわち、さらにきめ細かく畦を設けることと、部分的な事前湛水を行うことである。これにより高収量短稈品種の導入が可能となるが、畦等によるつぶれ地が増える。多くの事例研究から、この改良法によりつぶれ地をカバーするだけの収益が得られることが確認されている。

(c)小型ポンプ揚水灌漑： 小型のモーターポンプを用いて河川から直接取水する方法である。筏にポンプを乗せて河川に浮かべ、揚水するものもあり、セネガル河沿いのケーズ(Kayes)周辺で見かけられる。北部マリでは、制御冠水灌漑の改良法である事前湛水、あるいは水稲の補給灌漑用として低馬力の移動型ポンプが併用されている。しかしながら、ポンプの維持管理コストが高く、雨季作水稲の補給灌漑だけでは経済的に釣り合わない。野菜や小麦など乾季作の灌漑にも適用してはじめて経済的に釣り合う。

(d)小ダムによる流出捕捉灌漑： いわゆる spate irrigationで、runoff farming あるいはrain harvestingとも言われる。小ダムで雨水や流出水を捕捉し、作物栽培に当てる形態で、ドゴン(Dogon)高原などに見られる。ドゴン地区では、ダムは一般に石造りである。この地区は割れ目の多い砂岩地帯に位置するため、水保全の点で多くの技術的問題に直面している。ここでみられるダムの規模は、堤高3~6m、貯水量数10~数10万m³で、灌漑面積は3~6haである¹¹⁾。ここでは、玉ねぎの栽培が中心である。

(e)残留氾濫水灌漑(Recession irrigation)： 氾濫水が引く時に残った水溜りを利用して、メイズ、ソルガム、ミレットを作付する伝統農法である。内陸デルタとニアメー間の地域では、この方式で主にソルガムが栽培されている。ソルガムの播種あるいは移植はニジェール河の氾濫が減衰する2~3月に行われる。7月頃までは残留土壌水分や地下水で栽培され、生育後期は降雨による水補給が期待できる。収穫は、9月下旬から10月上旬となる。グランドナッツ、メイズ、カウピーなどの氾濫原作物は、1月~5月の乾季に残留水のみにより栽培される。ニジェール河左岸にあるホロ、ファグイビネの池敷においては、土壤の毛管現象によりソルガムよりも高いところで他の作物の栽培が可能である。ソルガムよりも低いところでは、普通浮稲が栽培されている。残留氾濫水灌漑は、①システムへの給水速度を早めるための水路や、②排水を遅延させるため、あるいは収穫直前の作物をその語の洪水から保護するための畝、③さらに水供給を調節するための制御施設や二次水路などを建設することにより改良が可能である¹⁵⁾。しかしながら、改良事業に伴って従来の氾濫原での慣行的土地配分のルールが崩れる場合、重大な社会問題ともなり得るので注意が必要である。

上記の灌漑形態の中で、マリにおいては(a)と(b)が面積的に大部分を占める。

以下に、大規模灌漑の形態をとるバギンダ地区とニジェール計画の概要を述べる。

《バギンダ(Baguineda)地区 (図Ⅲ-8, 巻末写真参照)》

この地区は首都バマコよりニジェール河下流30kmの右岸に位置する。施設は1929年にニジェール開発公社によって完成し, 1961年に国有化されている。水源は, ニジェール河に天然岩の堰上げを利用して建設された不完全締切のソトバ(Sotuba)堰で, 発電と共用となっている。しかしながら, 発電側の優先取水, 取水量の7割にも及ぶ水路ロス, 末端整備水準の低さ, 入り組んだ土地問題等により, 計画面積3,300haに対し, 400ha程度の灌漑しか行われていなかった。その後, 上流側にセレンゲダムが建設されたことにより, バギンダ地区の水源が確保されたため, 老朽化した施設を改良し, 末端整備を進める計画が現在進行中である。現在までに幹線用水路約36kmの改修, 二次用水路約53kmの改修がほぼ完成している。今後は約4年かけて幹支線排水路約70kmの改修と末端圃場施設約2,450haの改修がアフリカ開発基金の融資を受けて実施される予定である。

(農家経済分析)

現状: 雨季作付面積1,421ha, 農家数 818戸, 平均経営規模1.7ha/戸

計画: 雨季作付面積2,400ha, 農家数2,000戸, 平均経営規模1.2ha/戸

『現状及び将来の平均経営規模の収支』

	現状(CFA)	将来(CFA)
A) 粗収入	850,000	1,990,000
(1) 農業粗収入	750,000	1,890,000
(2) 農外粗収入	100,000	100,000
B) 総支出	800,000	1,610,000
(1) 生産費	200,000	738,000
(2) 生計費	600,000	720,000
(3) 雑費	-	152,000
C) 農家余剰(A-B)	50,000	380,000

(設計諸元)

ソトバ幹線水路: 全長約19km, 流量10.34~9.27m³/s, 勾配1/77,500

底幅15m, 提高3.1~3.2m, 法勾配1:2.5

バギンダ幹線水路: 全長約17km, 流量7.69~1.26m³/s, 勾配1/20,000~1/6,000,

底幅2.0~8.0m, 提高1.5~2.7m, 法勾配1:2.0

許容最大流速: 0.7m/s, 許容最小流速: 0.3m/s, 粗度係数: n=0.035

単位計画用水量:

幹線用水路: 二次用水路の合算値を幹線用水路の送水効率0.8で除した値
q=3.461ℓ/s/ha

二次用水路: q=2.769ℓ/s/ha (支配面積約100ha)

三次用水路: 代掻き用水量130mm/10d q=2.01ℓ/s/ha
(支配面積7.2ha)

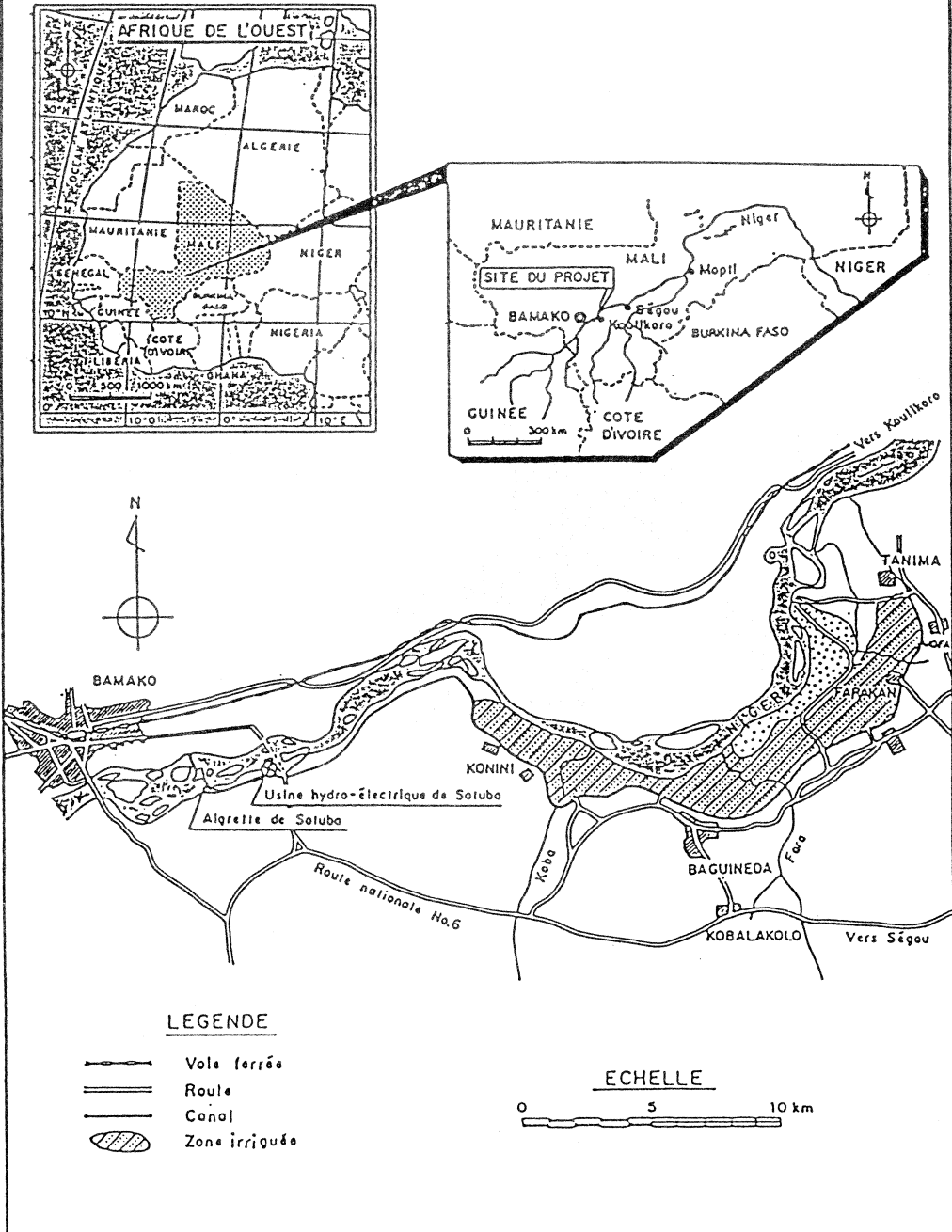
用水量: 代掻き用水量=130mm/10d, 耕起用水量=50mm/3d

浸透損失 = 12mm/10d (洪積土壌)

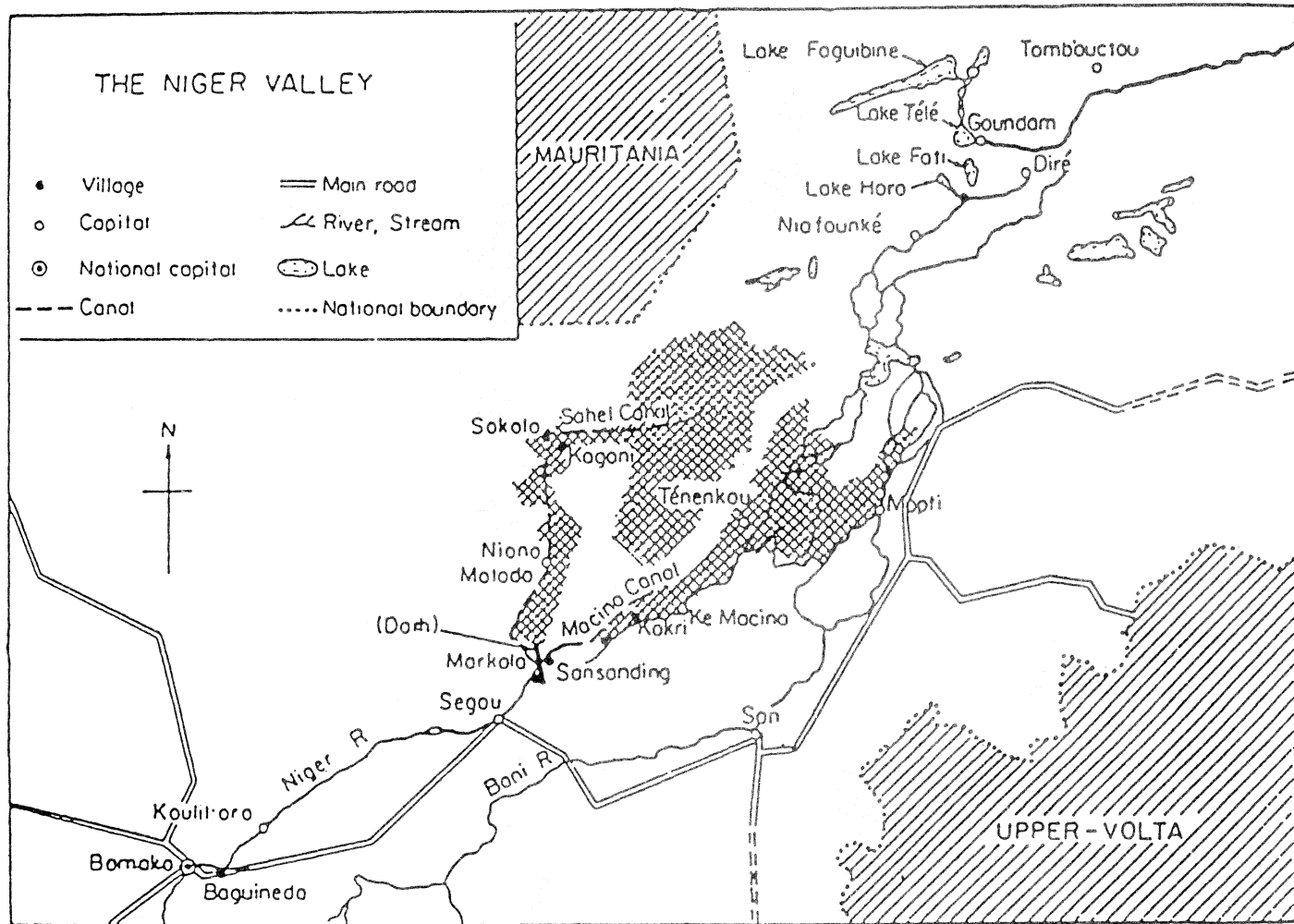
= 5mm/10d (沖積土壌)

灌漑効率: 52%

CARTE DE SITUATION



図Ⅲ-8 バギンダ地区平面図



図Ⅲ-9 ニジェール河中流域デルタ開発計画

(=適用効率90%×水管理効率85%×幹線水路送水効率80%×二次用水路以下送水効率85%)

(灌漑方法および水利費)

二次用水路までは連続分水とし、三次水路ではその支配面積7.2haを6区画に分割し、各区画に5日間断のローテーション灌漑を行う。

水利費としては、収量の約25%を管理事務所に収める。

《ニジェール計画(図Ⅲ-9, 巻末写真参照)》

この計画は、ニジェール河中流域デルタの開発計画であり、1932年に設立されたニジェール公社によって進められている。この地域は上流から運ばれてきた肥沃な土壤に恵まれており、全体面積146.6万haのうち96万haを灌漑開発する計画である。当初、51万haに綿、残り45万haに水稻を作付けする計画であった。しかしながら、厳しい国家財政のため現在までに、約6万haの面積が開発されているに過ぎない。土地利用は水稻作がほとんどで、あとはサトウキビが約5,000ha作付されている。このサトウキビのプランテーションは、1985年に設立された砂糖公社(SUKALA)に移管され、管理されている。

(稲作の現況)

90%以上が撒播直播で、移植は10%以下である。ほとんどが雨季作のみで、乾季作はニオノのRetail地区で試験的に行っているだけである。雨季作の播種は6月中旬～7月中旬、移植は8月、収穫は11～12月である。乾季作は冬季の低温を避け、2月下旬の播種が試みられている。品種としては、BG90-2, BH2, Gombiaka, D5237などが採用されている。ニジェール公社の資料によれば、収量は約2.3t/haであり、米の生産コストは約60CFA/kgである。米の公定価格は125CFA/kgであるから、生産コストは約50%である。Retail地区の収量は、乾季作3.4t/ha、雨季作5.6t/haと高い。

(主要施設)

◎マルカラダム：1947年完成

延長 右岸側可動部815m, 左岸側固定部1,800m

スパン 57m×14スパン(1スパン当り堰板35枚)

各堰板は3段階に調節可能(倒伏を含めて4段階)

魚道 可動部中央に設置

堰上げ高 5m

◎導水路：土水路

延長 9km(マルカラダム～Point A)

通水能力 150m³/s(現況), 280m³/s(計画)

◎幹線水路： Point Aで3つの幹線水路に分水

※サヘル水路

延長 75km(幹線), 108km(支線)

通水能力 20m³/s(現況), 150m³/s(計画)

受益面積 39,000ha(現況)

※コステオンゴイバ水路

延長 19km

通水能力 13m³/s (現況), 49m³/s (計画)

受益面積 5,000ha (現況)

※マシナ水路

延長 20km

通水能力 35m³/s (現況), 75m³/s (計画)

受益面積 15,000ha (現況)

(水管理及び施設の維持管理等)

土地はすべて国有地であり、ニジュール公社の区域内はすべて公社が管理している。従って、農民は公社と契約を結び耕作を行うこととなる。マルカラダム、導水路、幹線水路(235km)、二次水路(720km)、排水路(760km)の管理はニジュール公社が行い、三次水路以降は「トン」と呼ばれる農民組織が管理することとなっている。農民が公社に支払う水利費は、米400kg/ha/年(ただし、Retail地区については米600kg/ha/年)である。地区内の水管理は極めて悪い状況にある。特に管理用道路の劣悪さが、施設の維持管理を困難にし、多大の管理ロスを発生させている。また、排水制御が非常に困難であることから、畑作には不向きで周辺地域に塩類集積をもたらす危険がある。

(Retail地区の概要)

ニジュール公社により経営がなされている稲作農場で、1987年現在の造成面積1,400haに対し、379戸が入植している。土地の配分は15~55才の男子1人に対し、1haが割り当てられる。土地利用は、一期作のみが71%、二期作が22%、畑作(野菜等)が7%となっている。圃場区画は30aが標準となっている。収量は他地区に比べて高く、乾季作3.4t/ha、雨季作5.6t/haである。生産コストは約50,000CFA/tで、このうち約6割を肥料代が占める。農作業に対しては、1人月額18,000CFAの労賃が支払われる。

(サトウキビ農場の経営)

農場は、Siribala(1975年設立)とDougabougou(1965年設立)の2カ所に各々2,500haずつある。当初ニジュール公社が経営していたが、現在はSUKALA(カラ流域製糖会社)が経営を委譲されている。植え付けは10月~2月の間に行われ、翌年の10~3月に収穫される。特に10~12月が最も多忙な時期となる。圃場は1区画500m×100mの5ha区画であり、畝間灌漑により15日ローテーションで灌漑が行われている。収量は約80t/haで、生産コストは収穫量1t当たり10,000CFAである。肥料は850kg/ha使用し、うち400kg/haは尿素である。

【ニジュール】

ニジュールにおける降雨量は、南部で850mm北部ではほぼ0に近い。気候帯は南からスーダン、サヘル、砂漠と変化し、砂漠気候帯が国土面積の2/3を占める。ニジュール河はこの国の貴重な水資源であり、国の南西部を南東方向に流れる。ニジュール河沿岸には河岸段丘が発達しているため、水利用が行われるのは河沿いの狭い範囲に限られるが、そこでは河川水を利用した集約的な灌漑事業が進行中である。本流域では、灌漑農業開発公団(ONAH)を中心に、1983年までに24地区(計5,035ha)が整備され、ポンプ施設を有し水稻二期作の可能な圃場が造成されている。また、年1,000haの造成が目標とされている⁷⁾。この国の灌漑耕地面積は約1.4万haと推定され⁹⁾、灌漑耕地率は0.4%に過ぎない。

《ONAHAによる農業開発》

灌漑事業の実施機関であり、先進諸国等からの援助をベースとして開発を行っている。開発後の管理はUNCという農民組合によって行われ、農民は収穫量のかなりの部分（60～75%）を水利費等としてUNCに収めなければならない。

（ヌドゥンガ(N'dounga)地区（巻末写真参照））

この地区は、1967～1978年にかけて中国の援助を受けて開発された、560haの水田灌漑地区である。田面区画は25aが標準である。水源はニジェール河に設置したポンプ場で、揚水量400ℓ/sの電気ポンプが4基据えられている。最大時で3基(1.2m³/s)を運転するが、通常は2基(0.8m³/s)だけ運転させる。当初水稻とナス、ソルガム等畑作物との二毛作を行っていたが、最近は水稻の二期作を行っている。品種はBG系統が多く、収量は大体4t/haとのことであった。幹線用水路と二次用水路はコンクリートライニングが施され、三次用水路は素堀りである。各圃場への灌漑は6日間断の1週間ローテーションで行われ、各分水工地点には灌漑日を色で指定する表示板が立てられている。聞き取りによれば、灌漑時に約10cmの湛水深を確保すれば1週間後にちょうど湛水深が0cmとなるそうである（減水深16.7mm/日に相当）。

【ナイジェリア】

ナイジェリアにおける降雨量は南部で約1,500mm～3,000mm、北部では600mm程度となる。蒸発散量の等高線分布は降雨量のそれとほぼ同じ形状を呈するが、南縁部で1,400mm、北縁部で635mmとなる。ナイジェリア全体の平均降雨量は1,400mmであるが、このうちの約1,067mmは蒸発散量として消費され、残りの330mmが表面および中間流出量となる。気候帯は南から半赤道、ギニア、スーダンと変化する。主要河川はニジェール河とベヌエ河である。この国は降雨に比較的恵まれているが、雨季に偏るため乾季の水補給が課題である。そのため河川水をベースとした灌漑事業が進められてきたが、その数はまだ少なく、降雨量および河川流量からみれば、その開発ポテンシャルはかなり大きい。灌漑耕地面積は1985年で128万haと推定され⁹⁾、灌漑耕作率は約4%となっている。

(2) セネガル河流域

①流出特性

セネガル河は、ギニアの比較的降雨量の多い標高850m程度の高原から発するバファン（Bafing）河を源流としている。バファン河は孤を描いて北流し、マリ東部でバコエ（Bakoye）河と合流し、セネガル河となる。合流点付近から流れは緩やかとなり、セネガル・モーリタニア国境沿いを流れる下流域は平均河床勾配が1kmにつき数cmと極めて小さく、広大な氾濫源が形成されている。下流域では海水の逆流が顕著である。平水期に約500kmもの海水湖上が認められ、河口から約250kmにわたり季節的な汽水湿地が形成される⁷⁾。

セネガル河は、流路延長1,630km、流域面積44.1万km²、年間総流出量232億m³である⁷⁾。流出量は流域面積に比して極めて少なく、比流量は0.0017m³/s/km²に過ぎない。これは流域北部の降雨量が少なく、かつ年平均流出率も約10%と低いためである。また、流出量の季節的変動も大きく、流量の最小月(5月)と最大月(9月)の比率は1:310と極めて大きい。表Ⅲ

-2にバケル(Bakel)地点の月別流量分布を示す³⁾。

表Ⅲ-2 セネガル河(バケル地点)月別流量分布³⁾

[流域面積: 232,700Km²]

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均	乾季流出量の割合
流量(m ³ /s)	129	77	46	22	11	122	569	2,351	3,429	1,710	560	230	774	30%
比率(%)	1.4	0.8	0.5	0.2	0.1	1.3	6.1	25.4	37.0	18.5	6.1	2.5		

②水利開発と灌漑形態

セネガル河はギニア, マリ, モーリタニア, セネガルを流れる国際河川である。特に国土の大部分が降雨の不十分な気候条件下にある後者3カ国にとって貴重な農業生産地帯となっており, 河川沿いに古くから水利開発が行われていた。セネガル河流域の総合開発計画は, 1968年の「セネガル河沿岸諸国機構(OERS)」の設立に始まり, 1972年の「セネガル河開発機構(OMVS: Organization Pour la Mise en Valeur du Fleuve Senegal)」設立により, 計画推進の基盤を確立した¹²⁾。

この流域で実施済の計画としては, セネガルにおける稲作開発の成功例として有名なりシャトール(Richard Toll)灌漑計画がある。この計画はデルタ灌漑計画とも呼ばれ, 防潮堰を建設して海水の溯上を防ぐと共に, 洪水をギエール(Guier)湖に貯留して水源とし, 沿岸の塩害地5,600haを水田化したものである¹⁾。

現在計画中の計画としては, OMVSによるマナンタリ(Manantali)多目的ダム建設計画とディアマ(Diama)多目的ダム建設計画がある¹²⁾。前者はバフィン河流域マナンタリに総貯水量111億m³のコンクリートダムを建設し, 発電, 灌漑, 洪水調節を行うものである。後者はサン・ルイの上流30kmのディアマ三角州に総貯水量10億m³のフィルダムを建設し, 灌漑と海水溯上を凶るものである。この両計画の連動により, 最終的には303,500haの灌漑が可能であるとされている⁷⁾。また, 両計画には欧州開発基金, アフリカ開発銀行, イスラム開発銀行, フランス, 米国等から援助が行われている。

セネガル河流域で最も代表的な灌漑形態は, マリのニジェール河沿岸でも見られる自然の洪水を利用した制御冠水灌漑である。

【セネガル】

セネガルにおいては, 幾つかの灌漑プロジェクトが現在計画中であるが, そのほとんどはセネガル溪谷で進められている。セネガル河流域と共に灌漑計画上重要な流域は, ガンビア河流域である。ガンビア河は, ギニア, セネガル両国に源を發し, ガンビアの中央部を西流して大西洋に注ぐ国際河川である。流域面積は7.5万km²で, ゴウロンボ(Goulombo)地点における年平均流出量は95億m³(300m³/s)である。ガンビア河流域においても「ガンビア河開発機構(OMVG: Organisation Pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambia)」という関係諸国による総合開発計画がある。

セネガルにおいては、灌漑耕地面積は1985年で17.5万haと推定され⁹⁾、灌漑耕地率は約3.3%である。稲とサトウキビが主要作物である。水稻作は、南部のカザマンス河およびセネガル河流域が中心となる。また、セネガル河沿いでは伝統的なソルガムの残留氾濫水利用栽培が行われている。10月から1月にかけて河川沖積地数万haに氾濫した水がひくと同時に作付が行われる。このシステムは上流のマナンタリダムの調整機能により、いずれはこの地域から消える運命にある¹¹⁾。セネガルで直面している灌漑上の主な問題点は、河川沿いの塩水潮上と土壌塩類の集積である。

(3) その他の水系

①流出特性

ニジェール河およびセネガル河を除く西アフリカの河川のほとんどは、海岸線に対しほぼ直角に流下し大西洋、ギニア湾に直接流出する。これらの流域は半赤道、ギニア、スーダンの3つの気候帯にまたがり、雨季には比較的降雨が多く流出量も多いが、乾季には降雨がなくなり流出量が大幅に減少する場合が多い。乾季における河川の流出は地下水流出にかかっているため、流域の大きさと地下水貯留能力さらには雨季における降雨量の多寡によって決まる。

[小河川流域]

本川に合流する前の支川など小河川流域においては、雨季が終了し乾季の始まりと共に流出は急激に減少してしまう。この理由は、この地域に分布する土壌の浸入能が低く、かつ乾季の蒸発損失が大きいからである。図Ⅲ-5は支川などの小河川流域の地下水流出が乾季を通して起こる地域を示したものである³⁾。これによれば、シェラレオーネ、ギニアの大部分、リベリア、コートジボアールの南部と西部、ガーナの南西部、ナイジェリアの南半分、カメルーンの中部および南部が含まれる。しかしながら、コートジボアールの中部、東部、ガーナの南東部、トーゴの南部、ベニンの南部などは、雨季が長いにも関わらず、地下水涵養をするだけの十分な余剰水がないため、乾季の流出は起こらない³⁾。

[大河川流域]

西アフリカ南部地域における大河川の乾季の流況は、それに流入する小河川の流量の挙動に非常によく似ている。しかしながら、大河川では小河川と異なり雨季の高水流出から乾季の低水流出への移行にかなりの時間遅れを生ずるため、低水流出の期間は小河川に比べ遅く始まり短く終わる。表Ⅲ-3に西アフリカ南部地域の大河川の流況を示す³⁾。これらの河川では、乾季の流出量の年間流出量に占める割合は約15~20%である。黒ボルタ河などは比較的大きな氾濫原を有し、高水期間を1~2カ月長くし、ピーク流量の通過をほぼ同じ期間遅らせ、基底流量をかなり増加させる機能を持つ。黒ボルタ河では全流出量の50%は乾季に流出している³⁾。

図Ⅲ-10は乾季に入って4カ月目(a)、6カ月目(b)、8カ月目(c)における西アフリカの河川の流況を示す³⁾。この図から、西アフリカにおいて、ニジェール河が他の河川に比べいかに重要な位置を占めているかを理解することができる。

②水利開発と灌漑形態

各国の水利開発の歴史は新しいが、水資源に恵まれており開発のポテンシャルは比較的高いと思われる。しかしながら、過去に行われた開発では、発電が主で灌漑は従であった。例えば、ボルタ河総合開発計画はアコソボ(Akosombo)ダムの建設によりボルタ湖(貯水量:1,480億 m^3)を出現させたが、水力発電(年54億kwh)が主で灌漑は従となっている。従って、アクラ平野6万haの灌漑計画もボルタ湖からの直接取水による重力灌漑ではなく、アコソボダムの放水を揚水灌漑する方向で計画されている。リベリアとシェラレオーネ両国で計画されているマノ(Mano)河総合開発計画は、EECの援助により1975年にスタートしているが、発電が主で灌漑は従となっている。コートジボアールでも、水資源の開発は発電を中心に進められてきている。

この地域における農地は天水に依存したものがほとんどであり、近代的な灌漑農地の占める割合はごくわずかである。灌漑形態としてはマングローブ沼沢地、デルタ地帯での潮汐灌漑、河川氾濫原での制御冠水灌漑、さらに窪地などでの残留氾濫水利用農法などが挙げられよう。1985年の統計⁹⁾によれば、この地域の国々の灌漑耕地率は、ガンビアの20%を除き、0.1~1.6%と極めて低い。従って、水資源に恵まれたこれらの地域においては、灌漑のための水利開発が強く推進されるべきであろう。しかしながら、費用便益あるいは管理・運営面等から大規模な灌漑計画よりも、比較的小規模なものを今後重点的に推進していくことが望ましい。

【ガーナ】

ガーナにおいては、将来の経済計画を十分にまかなうだけの地表水資源に恵まれており、年平均の流出量は474.41億 m^3 と見積られる。最大の河川はボルタ河で、年平均流出量は370億 m^3 (過去最大962億 m^3 , 最小123億 m^3)であり、平均流出量は8.7%である。特に支流のオーティ(Oti)河流域は、ボルタ河全流域面積のわずか18%であるが、流出量は全体の30~40%をも占める。ガーナにおける灌漑目的の水使用は1970年で1.62億 m^3 であったが、1980年には3.49億 m^3 に増えている。西暦2000年までには約17.8億 m^3 が見込まれている¹³⁾。

ガーナにおける灌漑の歴史は新しく、近代的灌漑事業は1953年の北部サバンナ地域の小規模灌漑事業をもってスタートしたといえる。南部においては、ボルタ河から水を15mポンプ揚水し、16,190haを灌漑しているといわれる。北部においては、2つの形態がある。1つは、多数の小ダムによる重力灌漑であり、ベア(Vea)計画、パサム(Pasam)計画、トノ(Tono)計画などがある。2つ目の型は、ボルタ湖周辺地域における灌漑計画であり、ボルタ湖から揚水し、灌漑するものである。灌漑面積は1978年で2.2万ha、灌漑耕地率は0.8%となっているが¹³⁾、1987年のFAOの推計によれば、1985年でそれぞれ7千ha、0.2%とかなり低く見積られている⁹⁾。

灌漑開発上の主な課題は、ダム等の開発に伴う湛水域でのビルハルツ住血吸虫およびマラリアの防除対策と、農民の灌漑農業に対する基礎的知識の普及を如何に推進するかにある¹³⁾。

【コートジボアール】

主要河川としては、最大の流域面積を有するバンドマ(Bandama)河、コモエ(Komoe)

河、ササンドラ (Sassandra) 河、カバリー (Cavally) 河が各々北から国土を南下し、ギニア湾に注いでいる。各河川の中下流での高水期は夏の雨季が終る9~10月であり、年平均流出量は各々129.6億 m^3 、77.3億 m^3 、95.6億 m^3 、25.2億 m^3 である¹⁴⁾。これら水資源の開発は水力発電を中心として進められており、今後灌漑のための水利開発が強く推進されるべきであろう。灌漑の導入は1970年代に始まったばかりで、現在の灌漑耕地面積はサトウキビ3.3万ha、米2万ha、果樹0.5万ha、野菜0.4万haの計6.2万haに過ぎず、灌漑耕地率は1.0%にも満たない状況である¹⁵⁾。

サトウキビの灌漑事業は、国家的規模の事業であり、地域間格差の是正を図る観点から国土の中央部と北部で行われており、国の公社によって実施、管理されている。灌漑方法は古典的散水灌漑とセンターピボット式散水灌漑が導入されている。農場での雇用は地元民にとって大きな収入源となっている¹⁵⁾。

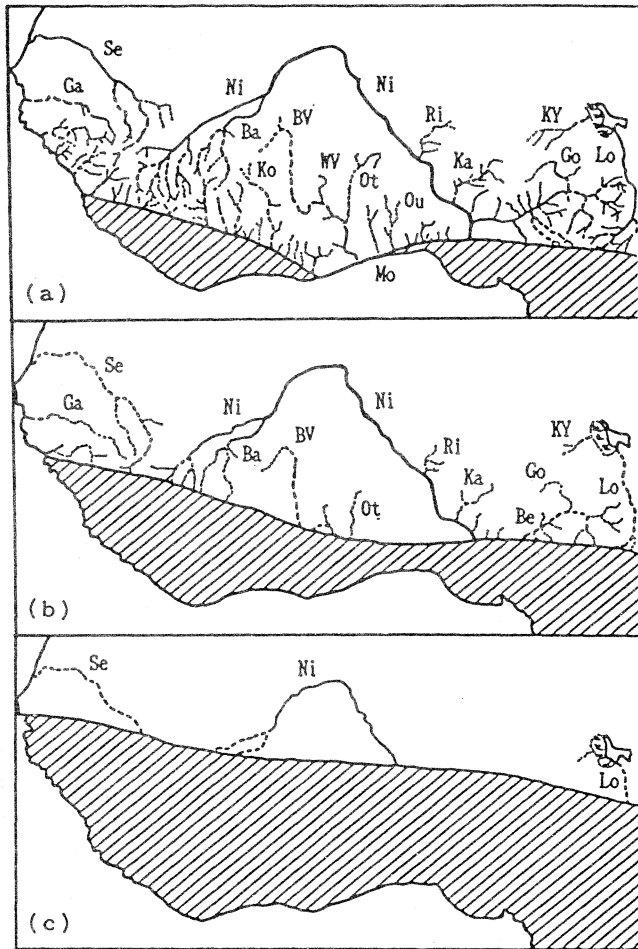
稲作灌漑は、主に南部河川流域の谷底平野等の低地 (bas-fonds) において、小河川からの分水により行われている (巻末写真参照)。この場合小ダムを有する場合もある。これらの開発は10~15ha程度と小規模で、ダムを除けば比較的安価である。低地での用水制御による稲作開発の可能性は大きく、2000年までに新規に4万haまで開発の可能性があるとされている。現在灌漑水稻の平均収量は3.5t/haで、灌漑の歴史が新しい割には満足のいくものである。天水田稲作は生育期間の短い陸稲栽培が主で、西部から北西部地域にかけて普及している。目下、天水田への灌漑水の補給の研究が試みられており、比較的高い収量 (約3t/ha) が期待できそうである¹⁵⁾。稲収穫面積は、1970年で28.6万ha、1980年で46.1万haと増大しており、1980年代以降はバンダマ河上中流、ボウ河流域、ウィンツ溪谷などで稲作開発計画が進められている⁷⁾。

果樹灌漑は、民間ベースで主にパイナップルとバナナを対象に実施されており、国の補助は行われていない。果樹灌漑は一般に補助的にしか行われていないが、ある民間企業によるバナナの点滴灌漑では満足できる結果が得られている¹⁵⁾。

コートジボアールは野菜の純輸入国であるため、野菜栽培の促進に力を注いでいる。そのため灌漑を実施し、野菜の選択・栽培・販売において耕作者を援助する特別な組織が設立されている。最大の野菜栽培園は国の北部にあり、1,800haが整備されている。そこで栽培されたトマトは、濃縮トマトの加工工場に供給される。しかし工場の処理能力に対し供給量が満たないため、トマト栽培の拡大が必要であり、工場周辺の農地での小規模農民グループによる栽培、及びダム下流域でのトマトの灌漑開発が進められている。野菜の灌漑は、畝間灌漑と古典的散水灌漑が主である。他の地域では消費向け野菜生産のため、整備が進められている。灌漑網の維持管理は、農民指導組織によって行われている¹⁵⁾。

表Ⅲ-3 西アフリカ南部地域の大河川の流況³⁾

河川	観測点	流域面積 (Km ²)	乾季の 最初の月	月別平均流量(m ³ /sec)												年平均 流量 (m ³ /sec)	年間流出 量に占め る乾期流 出量の 割合(%)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Black Volta	Kouri	20.000	10月	23	12.9	9.6	8.9	9.4	11.8	18.3	47	90	125	122	63	45	50
Black Volta	Boromo	58.000	10月	40	24	13.2	10.1	11.4	19.7	34	79	113	93	75	64	48	51
Bani	Douna	101.600	9月	177	105	69	43	31	45	187	1.250	2.535	2.546	1.261	433	726	55
Bani	Sofara	129.400	9月	405	177	100	59	38	50	174	828	1.326	1.538	1.405	938	586	62
Niger	Mopti	281.600	9月	1.031	416	190	109	82	170	689	1.774	2.585	2.814	2.687	2.027	1.219	65
Niger	Diré	330.000	9月	2.057	1.556	979	450	152	87	282	866	1.498	1.899	2.161	2.299	1.189	85
Niger	Niamey	Unknown	9月	1.736	1.725	1.419	868	347	130	124	516	1.067	1.254	1.412	1.588	1.011	90
Niger	Baro	Unknown	11月	1.710	1.600	1.485	1.280	900	1.000	1.280	2.285	7.420	7.300	2.710	1.800	2.525	35
Niger	Onitsha	Unknown	11月	2.140	1.850	1.715	1.650	1.600	2.280	4.550	8.425	17.720	20.000	6.300	2.860	7.000	22
Logone	Lai	60.320	10月	120	87	65	63	91	164	487	1.102	1.992	1.647	566	197	551	42
Logone	Bongor	73.700	10月	145	88	62	55	79	155	443	1.036	1.713	1.750	741	263	547	49
Logone	Logone Birni	76.000	10月	217	127	85	69	99	178	383	604	756	868	878	552	403	58



(凡例)

河川流量：

- 1,000 m³/s 以上
- 100 m³/s 以上
- 10 m³/s 以上
- 1 m³/s 以上

0 500 1,000km

 雨季の状態にある地域

河川名：

- | | | |
|---------------|-----------|-----------|
| Ni: ニジェール河 | Se: セネガル河 | Ga: ガンビア河 |
| Be: ベヌエ河 | BV: 黒ボルタ河 | WV: 白ボルタ河 |
| Ba: バニ河 | Ri: リマ河 | Ka: カドゥナ河 |
| Ko: コモエ河 | Ot: オーティ河 | Mo: モノ河 |
| Ou: ウェメ河 | Go: ゴンゴラ河 | Lo: ログヌ河 |
| KY: コマドゥグ ヨベ河 | | |

図Ⅲ-10 乾季に入ってから (a) 4カ月目, (b) 6カ月目, (c) 8カ月目における西アフリカの河川の流況³⁾

【リベリア】

この国における河川流量は豊富で、雨季と乾季ではその水量に大きな差があるものの、乾季でも河川水が涸れることはない。従来、大規模な構想による開発計画が主流をなしてきたが、財政事情等で必ずしも十分な成果を上げているとは言えない。近年は、中小規模の開発計画が見直されてきているが、政情不安のため思うような進展はみられない。

シェラレオーネ国境を流れるマノ(Mano)河の総合開発は、EECの援助によって1975年に開始された。これは、発電に灌漑を含めた総合開発である。この総合開発のため、シェラレオーネとの間にマノ河同盟が締結されている⁷⁾。

リベリアの開発は、豊富な水資源ポテンシャルを十分に活かした水田開発にあるといえる。この国の灌漑耕地面積はわずか5千haで、灌漑耕地率は1.3%である⁹⁾。

【シェラレオーネ】

シェラレオーネには、数多くの河川が南西方向に平行して流れており、農業だけでなく、他目的の用水をも十分まかなえる豊富な水資源を有している。しかしながら、河川流量については、あまり調査されておらず、信頼できるデータは少ない。灌漑はごく限られた規模でしか行われておらず、今後の課題となっている。灌漑面積は1.6万haで、灌漑耕地率は0.9%に過ぎない⁹⁾。稲作は、河口付近のマングローブ沼沢地を中心に雨季作が行われている。海水の潮上による塩害対策が課題となっている。

【ブルキナファソ】

1970年代初頭および1980年代のサヘル干ばつにより、上ボルタの農業生産が大きな被害を受けたことから、政府は灌漑開発の必要性を強く認識し、努力を注いでいる。政府の実施している灌漑プロジェクトは、比較的小規模なものが多い。河川沿いに小ダムを建設して雨水や流出水を捕捉し、低位部へ導いて作物栽培に当てる形態がよくみられる(巻末写真参照)。また、沼沢地あるいは低地(bas fonds)では小さな畝を15cmの標高差毎に等高線沿いに築き、雨水を捕捉して高位部から取入れ、低位部に向かって給水される。高位部の圃場が水で満たされた後、低位部の圃場に越流する。場合によっては洪水時に備え、事業地区の外側に高さ70cmの堤防を築く。さらに、地区の中央部に水路を設け、異常出水に備える形式のものもある¹¹⁾。この方式の事業により、数百haまでの開発が可能である。従来、耕地が洪水被害を受ければ耕作放棄するケースが多く、異常降雨に対する施設能力の検討は特に大切である。このため、ブルキナファソでは事業地区を取り巻く集水面積は最大30km²までとされている¹¹⁾。

この国の灌漑面積は8千haと少なく、灌漑耕地率はわずかに0.3%である⁹⁾。しかしながら、農民の灌漑農業に対する希望が強く、灌漑農業に対する適応力も高いことから、今後の進展が期待される。

引用文献

- 1) Udo, R. K. 1978. A comprehensive geography of West Africa. Africana Publishing Company, New York.
- 2) WARDA. A decade of mangrove swamp rice research.

- 3) Ledger, D. C. 1969. The dry season flow characteristics of West African rivers. Environment and land use in Africa. Thomas, M. F. and Whittington, G. W. (ed.), Methuen & Co Ltd, London.
- 4) Grove, A. T. 1978. Africa. Oxford University Press, London.
- 5) 東京天文台編纂. 1988. 理科年表. 丸善, 東京.
- 6) Balek, J 1983. Hydrology and water resources in tropical regions. Elsevier, Amsterdam.
- 7) 日本農業土木総合研究所. 1985. アフリカ農業・農村開発検討委員会中間報告書.
- 8) FAO 1978. Systematic index of international water resources treaties, declarations, acts and cases by basin. Legislative Study No.15. FAO, Rome.
- 9) FAO 1987. 1986 FAO production yearbook. Vol.40, FAO Statistics Series No.76, FAO, Rome.
- 10) Framji, K. K., Garg, B. C. and Luthra, S. D. L. 1983. Mali, Irrigation and drainage in the world. ICID.
- 11) FAO Investment Center 1986. Irrigation in Africa south of the Sahara. Technical paper 5, FAO, Rome.
- 12) Framji, K. K., Garg, B. C. and Luthra, S. D. L. 1983. Senegal, Irrigation and drainage in the world. ICID.
- 13) Framji, K. K., Garg, B. C. and Luthra, S. D. L. 1983. Ghana, Irrigation and drainage in the world. ICID.
- 14) UNESCO 1969. Discharge of selected rivers of the world. Vol. I.
- 15) Boka, E. and Bakan, K. 1989. Irrigated agriculture in Cote d'Ivoire. 7th AFRO-ASIAN Regional Conference (Tokyo), Vol. I-E, ICID.

【付録1】

ナイル河国際水利協定（1959年11月8日）

ナイル河の水使用をめぐる最初の国際協定は1929年にエジプトとスーダンの間で取り交わされた。この協定はナイル河の部分的な水使用について交わされたにすぎなかった。ますます増加する両国の農業用および他用途の用水需要を考慮すれば、ナイル河の最大限の水利用は絶対必要である。同時に、両国の相互利益のために、エジプトとスーダンは1959年11月8日に8箇条からなるナイル河水利協定を締結した。

（1条）

第1項： この協定の調印までにエジプトによって利用されていたナイル河の水量は、ナイル河治水計画（Nile Control Project）およびその利用可能量を増加させる計画、さらにこの協定にかかる全ての計画の利益を得る以前のエジプトの既得水利権として認める。

この既得水利権は、アスワン地点（換算）流量で480億 m^3 ／年である。

第2項： 上述の計画の利益を得る以前に、スーダンによって利用されていた水量は、既得水利権とする。この既得水利権は、アスワン地点（換算）流量で40億 m^3 ／年である。

（2条）

第1項： ナイル河の流れを調整し、海への無効放流をコントロールするため、両国はナイル河の一連のプロジェクトの第1段階として、エジプトが経年貯留のためのアスワンハイダム（Sadd-el-Aali）を建設することに同意する。

第2項： 両国はスーダンが新規開発水利の取り分を利用するために、青ナイルにロゼイルスダム（Roseires Dam）、および他の施設を建設することに同意する。

第3項： アスワンハイダムから得られる純効果は、アスワン地点における今世紀の年平均流量、即ち840億 m^3 ／年を基に計算することとする。この年平均流量（840億 m^3 ／年）から、第1条に述べられた両国の既得水利権（アスワン地点流量に換算）と、アスワンハイダムの経年貯留に伴う年平均損失を差し引いた残分が純効果となり、両国間でアロケートされる。

第4項： 前項で述べたアスワンハイダムから得られる純開発水量は、平均河川流量が将来も前項で示した平均流量の範囲内で続く限り、スーダン14.5に対しエジプト7.5の比率で割り当てられる。すなわち、平均流量が将来も今世紀の平均840億 m^3 で推移し、かつ経年貯留の損失が現在の見積りの100億 m^3 と同じであれば、アスワンハイダムによる純開発水量は220億 m^3 であり、うちスーダンの取り分は145億 m^3 、エジプトの取り分は75億 m^3 として配分される。この配分量に既得の水利権を加えれば、アスワンハイダム完成後の両国の水利権はそれぞれスーダン185億 m^3 、エジプト555億 m^3 となる。

しかし、もし平均流量が増加すれば、増加分は両国間で均等に配分される。

第5項： アスワンハイダムによる純開発水量（第2条第3項参照）は、今世紀のアスワン地点での平均流量から両国の既得水利とアスワンダムの経年貯留による年平均損失分を差し引いた後の流量を基準に算定されているため、この純開発水量

はアスワンハイダム運用開始後、両国の合意のもとに適当な期間を置いて見直すこととする。

第6項： エジプトは、アスワンハイダムの貯水最高水位182mまでの貯水によりこうむる被害の全面的な補償として、スーダンに1500万エジプトポンドを支払うことに合意する。補償の支払いは、両者間で別に定める協定により行うこととする。

第7項： スーダンは、ハルファ（Halfa）の住民と湛水域内に生活するスーダン人の移転移住を1963年7月までに完了させるものとする。

第8項： アスワンハイダムが経年貯留として本格的に運用される時、エジプトはゲベルオーリアダム（Gebel Aulia Dam）での貯水を必要としないことを両者理解する。そして両者は、適当な時期にこの権利の放棄に関する全ての事項を協議する。

（3条）

第3条は、ナイル河流域で損失水の利用のためのプロジェクト、建設利益、費用の分担等に関する両国の責任について述べている。

（4条）

第4条は、両国間の技術協力を論じ、両国同人数のメンバーから成る恒久的な合同技術委員会の設立をうたっている。そして、この合同技術委員会（Joint Technical Commission）の機能をさらに詳細に定義づけている。

（5条）

第1項： ナイル河の水利用に関して、両国以外のナイル河沿岸諸国との交渉の必要性が生じた場合、エジプト・スーダンは技術委員会が出された統一見解でのぞむこととする。この統一見解は委員会と当該国との交渉に基づくものである。交渉の結果、両国以外でナイル河に水利施設を建設することで合意した場合、合同技術委員会は当該国政府当局と協議の後、調査、設計、施工、維持管理など全ての技術的調整について草案を作成するものとする。そして、委員会は当該政府による承認を得た後、その技術的協定の実施を監督するものとする。

第2項： 両国以外のナイル河沿岸諸国から、ナイル河の水利使用の要求があがった場合は、両国は合同で検討し、この要求に関して一つの統一見解を出すこととする。検討の結果、沿岸国への水配分を受け入れる場合は、その配分量をアスワン地点における両国の取り分から均等に差し引くものとする。

（6条）

第6条は、アスワンハイダムからの利益が十分に上がる前の、過渡的期間における、両国の拡大プログラムの調整について述べている。

（7条）

第7条は、この協定の効力について述べている。

（8条）

第8条は、この協定の重要な部分を構成する2つの付則について述べている。

付則1は、水利負債（water loan）のための特別な規定である。

エジプトにより要求されれば（要求はこの協定の調印日から5年以内になされなければならないが）、この負債の活用は1977年11月に終わる。

付則2は、協定の第2条第6項に記されたエジプトのスーダンに対する補償の支払い計画を規定したものである。現在ではさらにザイール、ルワンダ、ブルンディなども参加している。

【付録2】

海外出張調査報告書

1989年 4月

所属 : 熱帯農業研究センター環境資源利用部 真木 太一
熱帯農業研究センター企画連絡室 北村 義信

出張国名: エジプト

出張期間: 平成元年 2月 8日 ~ 3月 4日 (25日間)

出張目的: 乾燥地の気象特性と水動態に関する研究実態調査

主要研究機関名:

- (1) 農業・土地開拓省農業研究センター (土壌・水研究所、イスマイリア試験場、米作機械化センター、塩類アルカリ土壌研究室、ヌバリア試験場)
- (2) 公共事業・水資源省水研究センター (用水配分・灌漑技術研究所、水資源開発研究所、地下水研究所)
- (3) 公共事業・水資源省アスワン・ハイダム管理事務所
- (4) 農業・土地開拓省砂漠研究所、同マリユート試験場
- (5) 航空機産業省農業気象研究所
- (6) シェルキア州カッターラプロジェクト
- (7) カイロ大学農学部 (ファユーム)
- (8) エイン・シェンス大学
- (9) アメリカ大学カイロ校

訪問日程概要:

平成元年 2月 8日 (水)	成田出国
9日 (木)	JICAカイロ事務所
10日 (金)	デルタ・バラージュ
11日 (土)	カイロ近郊農業地帯
12日 (日)	カイロ近郊農業地帯
13日 (月)	砂漠研究所
14日 (火)	水・土壌研究所
15日 (水)	カッターラプロジェクト
16日 (木)	イスマイリア試験場
17日 (金) ~ 19日 (日)	アスワン・ハイダム管理事務所
20日 (月)	砂漠研究所、農業気象研究所、エイン・シェンス大学
21日 (火)	米作機械化センター
22日 (水)	塩類アルカリ土壌研究室、ヌバリア試験場
23日 (木)	マリユート試験場
24日 (金)	カイロ市内
25日 (土)	カイロ市内
26日 (日)	水資源開発研究所、地下水研究所
27日 (月)	カイロ大学農学部

28日(火)	砂漠研究所
3月1日(水)	農業用水研究センター、用水配分・灌漑技術研究所
2日(木)	用水配分・灌漑技術研究所、アメリカ大学 カイロ校
3日(金)	カイロ発
4日(土)	成田入国

調査の概要：

I. エジプト農業の背景

「エジプトはナイルの賜物」といわれるように、その農業は全くナイル河に依存している。現在の農耕地はナイルバレーとデルタ及びその周辺の580万フェダン(約240万ha)で、国土面積の3%にすぎない。それ以外は砂漠である。現在のエジプト農業で重要な役割を演じているのは、北部のデルタ堰(Delta Barrage)と南部のアスワンダム、アスワンハイダムである。前者はデルタ地域の水管理の集約化、後者は国全体の水資源の増強という点でそれぞれ資するところが大きい。

デルタ堰の築造された1863年までは、1年周期の洪水に依存する「Basin 灌漑」により、年1回の作付けが行われていた。この灌漑法は、洪水を広い集水池に1~2mの深さで2~3か月間貯留し、その後落水し土壌を耕作しうる程度にまで乾かし作付けする方法である。この方法では耕地が疲弊することなく、また土壌中に塩類が集積するという乾燥地域特有の問題も生じなかった。デルタ堰完成後、この灌漑法は「周年灌漑(Perennial Irrigation)」へと移行していった。1965年にハイダムの第一期工事が完成したことに伴い、「Basin 灌漑」はエジプトから完全に姿を消した。

ハイダムの完成により、約130万フェダン(55万ha)の開拓地の灌漑と100万フェダン(42万ha)の既耕地を「Basin 灌漑」から周年灌漑に転換し得た。しかしながら、「Basin 灌漑」が姿を消したことに伴い、一部で塩害が顕在化し始めていることも事実である。ナイル河によって灌漑できる面積は、現在の580万フェダンに加えてさらに288万フェダン(121万ha)に及ぶとされている。さらに地下水灌漑の可能な面積55万フェダン(23万ha)を加え、合計343万フェダン(144万ha)が新規に灌漑可能であるとされている。現在、このうち161万フェダン(68万ha)が開拓適地として同定されている。

エジプトでは、農地は「古い農地(Old land)」、「古い新しい農地(Old new land)」及び「新しい農地(New land)」に分類される。「古い農地」はナイルバレーとデルタの農地であり、「古い新しい農地」は最近数十年間に開拓されたデルタ周辺の農地である。「新しい農地」は新規に開発される砂漠の開拓地である。同国では農業開発戦略において、「垂直拡大(Vertical Expansion)」と「水平拡大(Horizontal Expansion)」という語がよく用いられる。すなわち、前者は既耕地の一層の集約化を指向するもので、「古い農地」と「古い新しい農地」がその対象となる。後者は新規の農地開発を指向するもので、「新しい農地」がその対象となる。これら2つの開発のどちらに重点を置くか意見が分かれるところであるが、深刻な財政難に陥っているところから国家財政の配分問題を考慮すれば、「水平拡大」は「垂直拡大」に比べて優先度を下げざるを得ない状況にある。

II. 乾燥地の気象特性と水動態に関する研究実態

エジプトにおいて「乾燥地の気象特性と水動態に関する研究」を実施している上記の各試験研究機関を訪問したが、その印象は次のように整理される。

- ①一部の研究機関を除き、行政とかなり密接に結びついており、総じて応用研究に主眼が置かれている。
- ②先進各国、国際機関との共同研究が盛んで、第1級の研究成果が得られている場合が多く、それは基準化に反映されている。特に、米国のUSAIDの研究援助などは息の長い本格的なものであり、エジプト人の若手研究者・技術者の教育にもかなり力を注いでいる。
- ③先進各国は、共同研究もさりながら、研究計画・管理面でのアドバイスにも力を入れており、エジプトの研究機関等に対し強い影響力を持っている。特に、米国USAIDは NARP (National Agriculture Research Project) に11人のスタッフを駐在させ、資金援助と研究管理面の強化を中心とする活動を進めている。1989年度においては、NARPの資金援助を得るため、関係研究機関等から611件の研究計画が提出され、うち約500件が認められている。
- ④各研究機関とも学位取得者の占める比率が極めて高い。先進諸国との共同研究の一環として海外留学し、取得するケースが多いようである。
- ⑤各研究機関とも研究項目があまりに細分されており、しかも多くの研究機関同士似たような研究を手懸けている場合が多く、研究内容に重複が目立つ。特に、土壌・水研究所、水研究センター、砂漠研究所の3機関についてはその傾向が著しい。各機関それぞれ自機関の研究領域について、他機関との境界をはっきりと主張するものの、重複は明らかに存在する。

今回の出張の主要目的は、熱研がエジプトで「乾燥地の水動態と土壌特性の解明」について、各試験研究機関との共同研究の可能性を探ることにある。当初、砂漠研究所、土壌・水研究所、水研究センターの3機関の何れか、取り分け砂漠研究所を最有力候補と考えて臨んだ。しかしながら、砂漠研究所に何度か足を運んだ結果得た感触は次のとおりである。

- ①伝統のある機関であるが、行政面とかなり遊離しているとの感が強く、予算的にも締め付けがきているようである。
- ②そのため、実験施設・器具は極めて貧弱である。
- ③先進諸国との共同研究も、他の機関と比べて少ないようである。
- ④組織としての研究の計画性と管理の面で問題があるように見受けられる。かなり個人的ペースで研究が進められているようであり、他の研究者の研究内容を互いに把握していない。このため研究に重複・欠落が生じ、非能率に感じられる。
- ⑤当初、砂漠に関する研究については一手に砂漠研究所が取り仕切っていたが、近年土壌・水研究所や水研究センターも積極的に砂漠研究に手を伸ばしてきており、むしろ押され気味である。

以上の点から、砂漠研究所は熱研が共同研究を実施する相手としては、適当ではないと判断された。

他の2機関については、共同研究の相手としては申し分無いと判断される。2機関のうちのどちらにするかは、熱研から派遣し得る研究者の専門分野によって決定すべきであろう。ただし、先進諸国との共同研究によりかなりの部分が手懸けられており、乾燥地農業

研究の経験の浅い熱研がそれなりの成果を挙げ得るテーマを、果たして見出せるかどうかという懸念がある。まだあまり手懸けられていないのは、データの取りにくい地表流出の問題とその利用法（洪水灌漑法）についての研究程度と思われる。したがって、かなり長期的な展望に立った上で、取り組んでいく覚悟が要求されよう。当面は成果を急がないで、先進諸国との間で進められている共同研究に積極的に参加し、経験を積んでいくと共に取りにくいデータを収集していくといった長期戦で臨む覚悟が必要と考えられる。

以下に今回の出張で訪問した研究機関等の概要を記す。

1. 農業・土地開拓省農業研究センター (ARC : Agriculture Research Center)

(1) 土壌・水研究所 (SWRI : Soils & Water Research Institute)

面会者 : Dr. Nabil M. El-Mowelhi (所長), Dr. Ahmed Taher A. Moustafa (副所長)

この研究所は1903年に土壌化学局として設立されたが、1971年に改組拡充されて現在の名称となっている。現在702名の研究者(うち185名は学位取得者)を擁し、ARC傘下の研究機関の中で最大の規模を誇っている。ここでは、土壌及び水資源の改良に関する基礎的、かつ応用的研究を対象としている。組織的には、次の9部からなる。

排水	Field Drainage Res. Dept.
砂質及び石灰質土壌	Sandy and Calcareous Soils Res. Dept.
塩類及びアルカリ土壌	Saline and Alkali Soils Res. Dept.
農業微生物	Agricultural Microbiology Res. Dept.
耕地土壌の改良及び保全	Improvement and Conservation of Cultivated Soils Res. Dept.
用水量	Water Requirement Res. Dept.
土壌肥沃度及び植物栄養	Soil Fertility and Plant Nutrition Res. Dept.
土壌調査及び土壌分級	Soil Survey and Classification Res. Dept.
土壌物理及び化学	Soil Physics and Chemistry Res. Dept.

用水量研究部においては、全国に分布している支所で、すべての畑作物の地域別用水量(主に蒸発散量)、灌漑方法の評価と灌漑効率、圃場レベルにおける水管理などを主要な研究テーマとしている。排水研究部では、灌漑に伴う地下水位の上昇を抑えるため、暗渠排水技術の開発研究に重点が置かれている。また、リーチング(溶脱)用水量に関する研究は、塩類及びアルカリ土壌研究部において進められており、アレキサンドリアの塩類アルカリ土壌研究室がその舞台となっている。

諸外国との共同研究は盛んで、極めて多くの貴重な成果が得られている。まず米国USAI Dとの共同研究では、4つの主要なテーマを挙げることができる。

①暗渠排水技術に関する研究。これは、1975年から進められており、基準化が最終目標である。②圃場レベルでの水管理。③土壌管理。④塩類土壌の開拓。ここでは、圃場排水、用水量、レーザービームによる圃場均平などの研究も合わせて行われている。カナダとは、圃場施設の近代化に関する研究を6つのプロジェクトで行っている。フィンランドとは、イスマイリアで圃場水管理の共同研究を進めている。イタリアとは、小型灌漑に関する研究がナイルデルタ及び砂漠の開拓地で進められている。後者については、西ヌバリアに 8

haの試験地を2カ所設けて実施している。西ドイツとは土壌肥沃度に関する研究、さらにオランダとは圃場排水の研究、及びリモートセンシング技術を用いた土壌調査がそれぞれ行われている。またこの外に、UNDP及びFAOなど国際機関との共同研究も進められている。

(2) イスマイリア農業試験場(Ismilia Agricultural Research Station)

面会者：Dr.Samy Attia(所長)外6名

この試験場は、1979年に設立され、砂質土壌に適した畑作物の研究が中心に行われている。この試験場は、デルタ東部地域6州をカバーし、ここで得られた成果は、各州政府を通して農民に伝えられる。また、農民の直面している問題を取り上げて、その解決策を見いだそうとしており、地表灌漑に対する農地保全に関する研究も実施されている。現在、ARC傘下の6研究所の14の研究部が本試験場で研究を進めている。本試験場で活動している研究所は、①畑作物研究所、②土壌・水研究所、③砂糖研究所、④作物保護研究所、⑤植物病理研究所、⑥農業機械化研究所である。職員構成は、研究者10人、研究補助1人、事務職員14人、圃場作業員50人である。

現在、小麦、大麦、飼料作物(アルファルファ、エジプトクローバー)、菜種、砂糖大根などの栽培試験、土壌の改良・保全・土壌肥沃度と植物栄養、用水量、バイオマスの利用などについての研究が進められている。特に、アンモニア態窒素の吸収性や根粒菌による窒素固定など、窒素肥料の施用量を減らす方法に力が注がれているようである。

(3) 塩類アルカリ土壌研究室(Saline and Alkali Soils Laboratory)

面会者：Dr.Mohsen khnlil(室長)

この研究室は、1957年の設立であり、SWRIの塩類及びアルカリ土壌研究部に属す。同一敷地内に農業機械化研究所や園芸研究所など5つの試験地と同居している。ここで進められている主な研究テーマとして、①塩類アルカリ土壌に特有の問題点の明確化、②塩類及びアルカリに対する各種作物の耐性試験、③塩類土壌あるいはアルカリ土壌の開拓及び管理の最適手法の確立、④組織培養技術を応用した作物の塩類ストレス及びアルカリストレスの研究、⑤灌漑目的の各種水資源の評価などが挙げられる。対象作物としては、綿、小麦、大麦、水稲、柑橘、野菜はもとより、飼料作物、鑑賞用作物、薬用作物にまで及んでいる。トマトについては、この地域で重要な作物であり、米国、イスラエルと耐塩性、排水及びピートモスの施用などに関する共同研究が進められている。また、水管理、灌漑方法、リーチング(用水量、方法)、可溶性塩類濃度が1500~8000ppmにも及ぶ高濃度排水の再利用方法などの研究も重要な位置を占めている。近年、組織培養部門の強化が図られており、目下小麦を中心に耐塩性品種が世界中から集められ、品種をスクリーニング中とのことであった。

(4) ヌバリア農業試験場(Nubaria Agriculture Research Station)

面会者：Dr.Fawzy Sallam(地域事務所長), Dr.Khamis I.Khalifa(場長)

この試験場では、石灰質土壌に適した畑作物の研究が行われている。この付近には、ヌバリア園芸試験場及びタヒール園芸試験場もあり、3者で一般にヌバリア農業試験場と呼ばれている。この地域の土壌のCaCO₃含有率は30~40%と高い。ここでは、ARC傘下の①畑作

物研究所、②土壌・水研究所、③作物保護研究所の3研究所、のべ10研究部が研究を進めている。現在、飼料作物（エジプトクローバー、アルファルファ）、小麦、大麦、砂糖大根、メイズ、豆類、ブドウ、人参、玉ねぎ、油料作物（菜種、ひまわり）などの栽培試験、灌漑方法、用水量、育種、輪作、病害虫などについての研究が進められている。試験圃場の周辺は、10～15mのモクマオウ、ユーカリの立派な防風林で囲まれており、効果を十分果たしている。しかしながら、所々で伐採されてまだらになっており、防風効果や日当りの違いが栽培試験において少なからず影響を及ぼしていると判断される。

(5) 稲作機械化センター(Rice Mechanization Center)

面会者：村上利男(チームリーダー)、枝川孝男(業務調整)、橋高昭雄(個別派遣)

このセンターは、JICAの協力によるエジプト米作機械化計画(1981年～90年)の拠点として建設されたものであり、現在は村上利男氏をチームリーダーとして、栽培1名、農業機械1名、業務調整1名で対応している。現地側スタッフは約100名である。この計画は、米穀の品質向上、増収及び労働力不足に対処するため、中小規模農業に適合する稲作機械化システムの確立を目的としている。活動内容は、センターの外に付属実験圃場と5ヵ所のサテライト圃場を設け、①稲作機械化営農に関する実証試験及び経済的考察、②稲作機械化営農体系の確立、③農業機械の操作及び保守に関する訓練への指導・助言、④稲作機械化営農法の普及に関する指導・助言などを実施している。稚苗移植機械化栽培体系については、サテライト圃場で昨年3.6t/ヘクタールの収量が得られ、目標の2.6t/ヘクタールを大きく上回ったことから、この体系は確立されたとエジプト側は評価している。エジプト側は新たに直播機械化栽培体系の確立を要望してきており、現在この実証試験に主力が注がれている。直播栽培の問題点としては、均平作業と乾田直播の場合は出芽率の低さに問題がある。現在農家では手播きが主体であるが、均平化の問題を克服するため1区画(約1ヘクタール)の圃場を半分にして作付している。また、硬盤がないことから、碎土・均平作業は水を入れる前に行う必要がある。この周辺では、塩害の問題があり、活着に影響を与えている。特に、北東部海岸沿いでより深刻である。このため、排水路は用水路と同じ位の密度で配置され、深く掘られている。水稲作はリーチング機能を有するため、輪作システムの中うまく取り入れられている。

[デルタ地域の水稲作について、橋高氏から得た情報の概要を以下に述べる。]

品種では、九州の晩生品種が7割程入っているが、イモチ病に弱いため、最近イモチ病に強いIRRIの品種が奨励されている。しかしながら、味が悪く農民は敬遠している。播種期は5月初旬～6月20日であり、最も遅い場合で7月20日の例がある。開花は、9月8～11日である。6月20日頃に植えても、9月24日頃に穂が出てしまい、収量が下がる。晩植すると極端に収量が下がる理由は、気温ではなく品種の問題である。圃場への配水は、灌漑部局で管理されており、大体4～6日の間断灌漑である。気温の変化は、5月に40℃を越すこともある。逆に、7～8月は変動が小さく、11月には10℃以下になる。1988年の気温と日射量の変化を図-1に示す。夏季に気温が35℃位になっても、高温障害はあまり出ない。また夏季には、湿度が物体表面で100%になり、結露するため、稲の葉にイモチ病菌が発生しやすくなる。病虫害による減収は、5%程度で高くても10%を越えることはない。

ウンカの害やウイルス病もほとんどない。紋枯病、白葉枯病もみられない。害虫はメイ虫が見られるが、天敵がおり平衡状態となっているので、なるべく薬剤散布はしないよう指導されている。雑草は特にヒエが多く問題となっている。移植の栽植密度は、現在30×30cm(10本/m²)であるが、20×20cm(25本/m²)の密植にすると間違いなく収量は上がるが、農家の田植労力からみて困難と思われる。早植が、多収の重要なポイントと思われるが、灌漑部局による配水計画の問題がある。収量10t/ha以上の農家が10%はであると推測されるが、これはローテーションがうまくいっているためであろう。

2. 公共事業・水資源省水研究センター(WRC:Water Research Center)

面会者：Dr. Abu Zied(センター長)

このセンターは、次に示す11の研究機関を統括する。業務は、傘下各機関の調整はもとより、他省庁及び外国の機関や国際機関との研究の企画調整を行っている。予算もこのセンターで配分され、灌漑研究の元締めとして機能している。また、研修、出版、シンポジウムの開催なども行っている。

1. 用水配分・灌漑技術研究所(Water Distribution and Irrigation Systems Res. Inst.)
2. 排水研究所(Drainage Res. Inst.)
3. 水理・流砂研究所(Hydraulics and Sediment Res. Inst.)
4. 水生雑草防除・水路管理研究所(Weed Control and Channel Maintenance Res. Inst.)
5. 地下水研究所(Groundwater Res. Inst.)
6. 水資源開発研究所(Water Resources Development Res. Inst.)
7. ハイアスワンダム周辺影響研究所(High Aswan Dam Side Effects Res. Inst.)
8. 土質・基礎研究所(Soil Mechanics and Foundations Res. Inst.)
9. 機械・電気研究所(Mechanical and Electrical Res. Inst.)
10. 測量研究所(Survey Res. Inst.)
11. 海岸保全研究所(Coastal Protection Res. Inst.)

なお、海岸保全研究所を除くすべての研究所は、相互の連絡調整をスムーズに行うため、デルタ・バラージュ近くのビルディングに統合移転しつつある。

(1) 用水配分・灌漑技術研究所(WDITRI)

面会者：Dr. Abdel Hadi Radi(所長), Dr. Moheb R. Semaika

この研究所は、1975年の設立であり、用水量、用水配分、用水損失、圃場灌漑システムの4部からなっている。また、全国に11のステーションを持ち灌漑技術に関する研究を進めている。主な研究テーマは、①地域別作物用水量の決定、②灌漑ネットワークの開発・改良に関する研究、③用水配分技術の開発、④灌漑法の開発・改良、⑤圃場レベルにおける近代的量水機器の導入、⑥水路・貯水池からの蒸発損失・浸透損失の研究などである。外国との共同研究も盛んで、米国のUSAID、コロラド大学、カナダのCAID、ハウストン大学、ハンガリーの水研究所、西独のGTZ、伊のバリ研究所、さらにUNESCOなどで行われている。特に、USAID及びコロラド大学とは、EWUPプロジェクト(Egypt Water Use and Management

Project)において、7年間に及ぶ共同研究が実施され、約80編にも及ぶ技報として第一級の業績が得られている。

(2)地下水研究所(Groundwater Res. Inst.)

面会者：Dr. Kamal Hifny(所長), Dr. A. Khater

この研究所は、1953年の設立で1975年に現在の組織に改められる。水文、地質・水質、プロジェクト評価、井戸水理の4研究部からなり、研究者25人に技術者数十名を擁している。研究活動は、①水文地質及び水質化学データの収集・整理(データベース化)、②地下水プロジェクトの設計、③アスワン・ハイダム建設による下流域の地下水変動、④開拓の帯水層及びその周辺に及ぼす影響、⑤新開拓地における地下水利用のフィージビリティ調査、⑥デルタ北部の海水侵入調査、⑦ナイルバレー、デルタの帯水層の数値モデルの開発、⑧幹線水路からの浸透、⑨ナイルバレーの垂直排水のフィージビリティ調査などに取り組んでいる。現在1,000以上のピエゾメーターが設置され、そこに400人以上のフィールドスタッフがモニタリングに従事し、日データは1カ月ごとに本局に送付される。これらのデータは、4年前に整備されたデータベースに収録されるシステムになっている。また、アスワン・ハイダム完成後は100の揚水試験井がナイルデルタに設置されている。エジプトにおける水文地質地図は、UNDPの協力で2百万分の1の全国版は完成している。10万分の1の地域版は、ナイルデルタ地域についてはここ2～3年で完成予定である。また、最近の主要成果の1つとして、管井による垂直排水法(Vertical drainage system by using tube well)が挙げられる。これは、ナイルバレーの周辺砂漠の開拓に伴う、高塩分濃度排水の既耕地流入問題を解決すると共に、既耕地への補助灌漑をも可能とする有用技術である。この技術の基準は出来上がっており、近く出版の予定である。外国との共同研究は、西独、伊、カナダ、米国コロラド州立大学、マサチューセッツ工科大学、フォード財団など極めて多い。

(3)水資源開発研究所(Water Resources Development Res. Inst.)

面会者：Dr. Hassan Ibrahim(所長), Mr. A. Awwad El-Metegy

この研究所は、1976年の設立で、36人の研究者及び技術者をもつ。主に、ナイル河の開発とシナイ半島の地下水を含めた水資源開発に関する研究が中心となっている。特に、後者が主でEECの援助を受けて1982年より、シナイ水資源研究プロジェクトが進行中である(1990年終了予定)。北シナイのEl-Arishと南西シナイのEl-Torに調査ステーションが置かれ、地下水観測、水文観測が進められている。水文観測については、半島の南西部で2流域、北東部で1流域を調査の対象として観測を行っているが、開始してまだ3年目とのことであった。流出があるのは、年2～3回程度なのでデータの蓄積が極めて困難である。外国との共同研究としては、この外に米国のコロラド州立大学などもある。また特に、洪水灌漑(Spate irrigation, Flood irrigation)など乾燥地の水文特性をうまく活かした灌漑方法についての研究を進めようとしている点に興味を覚えた。

3. 公共事業・水資源省アスワン・ハイダム管理事務所(Aswan High Dam Authority)

面会者：Eng. Ahmed Hassanein Mohamed(chairman)

アスワン・ハイダムは、10年の歳月と13億ドルの巨額な総工費をかけて1970年に完成した。アスワン地点における流出量は年平均840億 m^3 (約2,665 m^3/s)であるが、ハイダム築造前においては、利用可能量は520億 m^3 (約1,650 m^3/s)で、うち480億 m^3 (約1,520 m^3/s)をエジプト、40億 m^3 (約130 m^3/s)をスーダンがそれぞれ取水し、残り320億 m^3 (約1,015 m^3/s)は地中海に流出していた。ハイダムの築造により、840億 m^3 全量がコントロール可能となったが、貯水池(ナセル湖)からの蒸発損失100億 m^3 (約320 m^3/s)を除く740億 m^3 (約2,345 m^3/s)が利用可能量となり、エジプトが555億 m^3 (約1,760 m^3/s)、スーダンが185億 m^3 (約585 m^3/s)をそれぞれ利用することとして協定されている。アスワン・ハイダム及びアスワンダムの諸元は、次のとおりである。

[アスワン・ハイダムの諸元]

タイプ：ロックフィルタイプ、 堤高(河床上)：111m,
堤頂長：3,830m, 堤頂幅：40m,
堤底幅：980m, 貯水面積：6,000 km^2 (長：500km, 幅：10km)
総貯水量：1,620億 m^3 (死水量：300億 m^3 , 洪水調節容量：370億 m^3)
上流側水位：最高 182.00m, 通常 80.00m, 最低 147.00m
下流側水位：最高 111.00m, 最低 105.00m
発電：フランス水車 17.5万KW×12基, 346 m^3/s ×12基

[アスワンダムの諸元]

ハイダムの下流 7km, 1902年完成(1912年6m, 1929~33年8m嵩上げ)
タイプ：石造重力式, 堤高：53m(2回にわたる嵩上げ),
堤頂長：固定部長580m, 開口部長1,562m, 貯水量：50億 m^3
ナイル河の国際協定に用いられるアスワン地点の流況は、1870~99年の値では1,100億 m^3 、1900~49年の値は830億 m^3 、1950~64年では866億 m^3 である。図-2にその流況を示す。図-3にナセル湖の貯水量の年次変動を示す。この図からも明らかなように、1975~81年は比較的安定しているが、その後年々減少傾向にある。88年7月24日に貯水位も150.62mと最低を記録し、最低水位まで3.62mのところまで下がっている。しかしながら、その後スーダンで記録的大洪水があったことから、ダム流入量が増え貯水量もかなり回復している。貯水位は88年12月16日時点で168.83mであった。88年8月~89年2月のダム地点流量は1,160億 m^3 とのことであった。ナセル湖の貯水変動パターンとしては、10~11月頃最大となり、その後徐々に減少して7~8月頃最低となり、8月頃から急激に増加しはじめる。流入量のピークは、11~12月である。

スーダン、エジプト双方の年間及び月間取水量は、協定によりあらかじめ決められており、それぞれ相手国の取水地点に技術者を派遣して監視体制を取っている。また、ダム貯水は、発電に利用したのち放流される。放流計画は、1ヵ月あるいは1週間単位でたてるが、変更がある場合は最低24時間前にカイロから連絡されることになっている。水不足等の事態が発生した場合、公共事業・水資源省が農業省、工業省、カイロ市などを召集し、会議をもつことになっている。ナセル湖における堆積物は、砂質シルトが主であるが、ダム地点から250km上流までは堆砂はほとんどない。堆砂量は、年1回測定されている。貯水池管理のためのテレメトリーシステムは、現在建設中である。

4. 農業・土地開拓省砂漠研究所 (Desert Research Institute)

面会者： Dr. M. M. El-Shazli (所長), Dr. Ismail M. El-Ramly, Dr. Hamdy El-Kady

この研究所は1934年の設立で、研究者180人、技術者100人ほどを擁し、次の7つの研究部からなる。

地質部	Geology Dept.
水文部	Hydrology Dept.
畜産部	Animal Production Dept.
土壌部	Soil Dept.
土壌保全部	Soil Conservation Dept.
植物生態部	Plant Ecology Dept.
植物生産部	Plant Production Dept.

この研究所は、特に砂漠における農地開拓に必要な研究を実施している。重要課題は、水資源、土壌資源、植物・動物生産であり、研究対象地域は主として、シナイ半島(61,000km²)、ニューバレー(ヌビアン砂岩層)(50,000km²)、ナイルデルタの限界地的砂礫平原(10,000km²)、地中海沿岸地域(20,000km²)、ナセル湖周辺地域(5,000km²)である。

この研究所における業務内容は、①大学と共同して基礎的、応用的研究を行う。目的は2方面にわたり、主として農業開発のための砂漠地域の潜在力の調査を行うと共に、大学院生や研究者の訓練の両方を行う。②政府、民間団体の要求によって砂漠地域の研究、立案、行政計画を行う。この実例として、北アフリカのアステシア盆地でのUNESCOとの共同研究、ナセル湖周辺の土壌についてのFAOとの共同研究、アラブ地域への羊の普及に関する研究と塩水の灌漑への利用についてのACSADとの共同研究などである。

この研究所の傘下に、マリユート試験地(後述)とシナイ半島のスドル試験地があり、畜産(羊)、草地、園芸、塩類土壌の改良、灌漑技術、塩水の利用等の研究を行っている。特にシナイ半島では、太陽エネルギーによる地下水揚水や、ウォーターロギングの問題、さらにアリシュ・ワジの支川に37の小規模ダムを築造して地表水貯留と土壌保全に対する効果を判定する研究などを行っている。シナイ半島の西方砂漠は比較的良質の地下水(800~1500PPM)が豊富で、かつエル・サラーム水路によるナイルの水の導水計画があり、開発のプライオリティが高い。また中央部には、豊富な砂岩の帯水層があることが明らかになっている。南部においては、探査がまだあまり行われていないが、かなり期待がもてる。

土壌関係では6研究室あり、土壌調査、土壌区分、施肥、土壌改良等の研究を行っている。水資源部門(地質+水文)には45人の研究者がいて、そのうち20人が学位取得者である。ここでは蒸発散量の算定には、修正ペンマン法を採用している。また地下水探査には、早期調査のため空中写真を併用したり、リモートセンシング技術を用いている(紅海沿岸及びバハリヤ・オアシス)。

なお、今後推進したい研究テーマとして、次のものが挙げられた。①砂丘固定に関する研究(北シナイ又は西砂漠のファラ・フラ オアシス)。②塩類土壌の管理(カールガ オアシス又はダカラ オアシス又はシナイのスドル試験地)。③石灰質土壌の管理(マリユート試験地又は南ヌバリア地区)。④水管理(北ヌバリア地区：地表灌漑又はサルヘイア地区)。

(1)マリユート試験地(Mariut Research Station)

1950年の設立で、主目的は水資源のアセスメントであり、土壌、地下水、海岸、内陸を

対象としている。砂漠研究所全体としての主な部門について研究内容を記すと、土壌部ではペドロジー、土壌物理、土壌化学、土壌微生物、作物用水量などの研究を行っている。地質部では水文地質化学、地球物理、水文関係を扱っている。牧野管理部では牧草分布、適作物、適当な牧草の選定、荒地化などの研究を行っている。畜産部では家畜の寿命及び山羊、ラクダの増産、繁殖やアトリプレックスの飼料としての長期間使用の可能性などの研究を行っている。作物生産部では、作物の適応性について気象、土壌条件が大きく異なる南北の2つの砂漠地域で行っている。

特に、この試験地で扱っているテーマには次のようなものがある。①土壌保全を目的とする水食や流出に関する研究で、異なる降雨強度と地形勾配のもとでの流出、水食などの解析。②最多収をもたらす最適肥料配合(微量要素も含めて)の試験など土壌肥沃度に関する研究。③ホルモンの施用や圃場管理と生産量との関係など畑作管理に関する研究。④牧野の復旧に関する研究。⑤土地利用評価に関する研究。

共同研究は、UNESCOとの砂漠化の問題に関するものの外に、UNIPあるいはドレスデン大学などとも進められている。この試験地に関する研究者は約30名で、その内訳は水食・流出(土壌保全)4名、土壌肥料15名強、作物管理8~9名、牧野改良1~2名、管理職(常駐研究者)3名である。

5. 航空機産業省気象庁農業気象部(Ministry of Civil Aviation, Meteorological Authority, Agrometeorological Research Department)

面会者: Dr. Galal Abdel Moeti(科学研究局長), Dr. A. H. Farag(農業気象部長)外4名

気象庁の組織は、長官の下に予報部、農業気象部、大気汚染部、観測網部、外務部、研修部、制作部の7部がある。定常気象観測としての地上気象観測項目は、気圧、最高・最低・平均気温、乾球・湿球温度、日照時間、ピッチ蒸発量、雲量、降水量、風速、風向等を21ヵ所の観測所で測定しており、気象データは月報、年報として報告されている。この外に農業気象観測所があり、1981年に5ヵ所であったが、現在は9ヵ所に増加している。農業気象観測所の観測項目は、昼間・夜間の平均気温、温度区分、裸地及び芝地別の地上1.5mと地上5cmの最低気温、12時の湿度、ピッチ型とAパン型の蒸発量、地温の分布、裸地及び芝地の地温分布、昼間・夜間の平均風速、風速強度区分、10m高と2m高の風速、最大風速などである。これらの項目は全(5~9)地点で求められており、観測所付近の気象条件を推察する上で参考になる。

蒸発量は定常的には大型Aパンで観測されるが、気候的にはペンマン蒸発散式を用いて算定している。この中でアルベドと作物係数の見積りが問題になることがある。降雨強度及び流出に関する研究は、まだ歴史が浅いが重要視されており、5~10年前からシナイ半島北部などで観測が始められている。シナイ半島では降水量は少ないが、時に強い雨が降り、大量の表面流出が生じ、洪水が発生することがある。

気象測器については、大気汚染関係を中心に見学したが、その他気象計器も屋上に設置されたものが多く、また風速計なども建物に隣接して設置されておりその影響があるように感じられた。

エジプトの降水量と風速を図-4に示す。ケッペンの気候区分によれば、カイロより北部海岸寄りにはBs、以南はBwhに区分できる。

6. シェルキア州カッターラプロジェクト(Kattara Project)

面会者： Mr. Mohmoud Hassan(所長), Mr. Mohamed Maher(副所長), Mr. El-Said Draz(開拓部長)

このプロジェクトは1973年シェルキア州政府により開始され、最終的には11,200エダ(4,700ha)の砂漠開拓が計画されている。1980年からは日本からの借款により、灌漑施設、営農機械などが導入された。現在までに8,700エダ(3,650ha)が開拓されている。このうち6,000エダ(2,520ha)が耕作され、うち3,000エダ(1,260ha)に果樹(オリーブ、ぶどう、柑橘など)、3,000エダ(1,260ha)に牧草、小麦、大麦、野菜が栽培されている。灌漑は地下水が主で、現在深井戸は100ある。各井戸の揚水量は最大1.7m³/min(28.3l/sec)である。地下水の深さは場所によって6~22mであるが、地下水位そのものは年間通して安定しており、変化はほとんどない。また、地下水の水質も問題はない。さらに、1年半後にサルヘヤ水路(79,800haの灌漑)を経てナイルの水が届く予定であるが、その際はブースターポンプで水圧を高め、既設のシステムにつなぐことになる。

降雨量は年28.4mmで、そのほとんどは冬季に降る。気温は夏29(最大35)℃、冬7.5~14℃で、凍ることはめったにない。蒸発は3,029mm/年で、日当たり8.3mm(Max: 5月:11.5mm/d, Min: 1月:5.4mm/d)である。風速はKhamasin(3~4月)には30~40km/hrとなるが、大体11~17km/hr程度であり、北風が卓越する。モクマオウ、ユーカリプタスが防風林として使われる。

畜産では肉のほか、牛乳、ヨーグルト、チーズ、卵なども生産している。農場の生産物の販売システムも整備され、仲買人を経ないで冷凍・冷蔵設備を整えた30の店から直接消費者に販売される。現在、労働者は全部で3,000人おり、このうち農業関係は約1,000人である。農場経営に必要な経費は収入でカバーできるが、日本からの借款のローン返済が苦しいとのことであった。すなわち、日本から借款を受けた1981年には為替レートは100円=0.30エダポイントであったものが、1988年には100円=1.90エダポイントと6倍以上にもはね上がったことによる。

農場では、オレンジ、トマト、マンダリン、オリーブ、エジプトクローバー、グアバ、ブドウ、イチジク、マンゴー、キャベツ、小麦、大麦などが見掛けられた。ここのブドウは、エジプトで最も高品質で、生食又は干しブドウ用である。オレンジの栽植密度は4m×6mで、栽植箇所には深さ1mまで1m³の有機物を入れる。一般に、開拓後500エダ(210ha)毎に井戸を1基掘り、500エダ毎に道路で囲む。まず、防風用のモクマオウを植えてから、半年~1年後に果樹を植える。

塩類化の問題については、開拓後いくつかの心土においてプラウで硬盤を破壊し、リーチングを行ったが、排水路は掘らないで済んでいる。この地区においては、リーチングのための排水路は全くない。

灌漑は、果樹類はドリップ灌漑、牧草、小麦、大麦などはスプリンクラー灌漑、野菜類はファロー灌漑が行われている。また、防風林の育木にはファロー又はドリップ灌漑が採用されている。スプリンクラー灌漑には固定式と移動式が共に使われており、さらに移動式として手動型のものでサイドホイール型のものがある。サイドホイール型スプリンクラーは、長さ250m、ホイール数20、スプリンクラー数21、各スプリンクラーの散水半径は12mで、18m間隔で散水していく。灌水量は、スプリンクラーの場合 6,000m³/年/エダ(1,

429mm/年)、ドリップの場合 4,500m³/年/7エダン (1,071mm/年)である。

この地区が比較的うまくいっている理由の1つとして、畜産との複合経営が行われている点を挙げることができる。すなわち、畜産部門で発生した有機物を開拓地に還元することにより地力向上がうまく図られている。

7. カイロ大学農学部(ファユーム)(Faculty of Agriculture, Fayoum, Cairo University)

面会者: Dr. Saad Nassar(学部長), Dr. Mahmoud Abd. Elgawad(土壌・水部門の長), Dr. A. A. Abou-Arab 外 2名

農学部は1976年の設立で、ファユーム州及びベニスエフ州の地域農業を主な対象としている。学部には農学、植物保護、土壌・化学、食品加工、酪農、農業微生物、植物学、農業経済、園芸、畜産の10学科があり、来年から遺伝学と化学の2学科が増設される。学生数は、約700人である。農場は2つある。1つは既耕地にあり、307エダンの面積を持つ。もう1つは新規に開拓したもので、1607エダンの広がりを持つ。ここでは、ドリップ、トリクル、表面の各灌漑法が計画されている。

特に土壌と水関係について話を聞いたが、土壌水の動態、土壌構造と作物の生育の関係、土壌のアルカリ化の対策、年々進む傾向にある微量元素欠乏の対応策、土壌肥沃度の保全、マイコライザーの施用によるbio-fertilityの向上、家畜糞尿の利用、作物用水量(ブラネイ・クリドル法、ペンマン法)などの研究が進められている。

地域の特殊性を生かした応用研究としては、ファユーム州政府と進めているライアン低地における研究がある。これは南テキサス大学との共同研究で、「Ecological Investigation of Wadi Raiyan and the Impact of Inorganic Pollutants on its Aquatic and Desert Environments」の報告書がある。

ライアンプロジェクトは、ファユームの南西約50kmのところにあるライアン低地に貯水池を3つ築造し、そこに、ファユーム地域の排水をトンネル(9km)と開水路(40km)で導き貯水するものである。これは1976年に完成している。最初の池の塩分濃度は700ppm、次の池では1500ppm、最後の池では2000ppmであり、何れの水も使用可能である。従って、まず最初の池の近くにパイロット・ファームを200エーカー開拓し、うち100エーカーは今年から耕作を始めている。残り100エーカーは来年から進める予定である。この土壌はカリ質土壌である。今度5,000エーカーの開拓が計画されている。

また、ファユーム州政府は灌漑効率を高める努力を重ねている。このため、小麦を対象に研究を始めたところである。現在の灌漑効率は50%であるが、これを75%まで高めることが目標とされている。

ファユーム低地は、1/300~1/400の勾配で北東に向かって降下し、カルン湖に達する。カルン湖は塩湖で(3%)、ファユーム地域の排水の受け皿としての機能を果たしてきた。湖面の水位は海拔-45mで、深さは平均7.6mである。3月中旬に最も深く、8月下旬に最も浅くなる。年間変動は約70cmである。1970年ごろから年25cmの割で水位上昇の傾向がみられ、このため浸水によって毎年2,000エダンの農地が失われていたが、カルン湖への流入量を減少させるための種々の対策が講じられ、現在では±5cmの年変動におさまっている。

ファユームの気候は、年平均気温13.7℃、夏季平均28.5℃、最高気温48.4℃、最低気温1.2℃、冬季の温度格差14.2℃、夏季の温度格差17.0℃である。蒸発量は10.1mm/d、降雨回

数は年に1回か数年に1回である。降雨は夏季にある場合が多い。乾燥(アリッド)指数0.004、平均湿度51%(冬季64%、夏季39%)であるが、12月には100%になることもある。風向はN(NW~NE)である。

このファユーム低地への水の流入はバーヘル ユスフ水路1本だけであり、流出はライオン低地への落水だけであることから、カルン湖を含めたこの地域は広域水収支及び塩分収支に関する研究の対象地区として極めて好適であると判断される。

8. アメリカ大学カイロ校(The American University in Cairo)

面会者: Dr. Adli Bishay (砂漠開発センター所長)

アメリカ大学には砂漠行政委員会と砂漠開発アドバイザー委員会があり、有機的に結びついて活動している。また、砂漠開発センター(DDC, Desert Development Center)もあり、Adli Bishay教授が所長を務め8人の運営委員会を組織している。これには、アメリカ大学から14人、その他の大学組織から24人が参加しており、アメリカ大学が中心になって活動している。

砂漠開発センターの目的は、乾燥地農業と社会発展のために、経済的に成り立つ、総合的砂漠開発のための応用的研究を行うことである。この目的を達成するために計画立案を行うと共に、サダト市と南ツレリンに実験圃場を設置して、応用研究を進めている。砂漠開発に対するアメリカ大学の取組み等を図-5に、また砂漠開発センターの役割を図-6に示す。砂漠開発センターは、以前(1980~1983)には砂漠開発実証訓練組織(DDDT, Desert Development Demonstration and Training)と呼ばれていて、その活動結果は1983年にDDDT報告書(50p.)としてまとめられている。今回(1985年)のDDC報告書は123p.で、より詳しく記述されている。組織と研究内容は、次のとおりである。

①砂漠農業部門

水管理、土壌管理・輪作、造林・砂漠化制御、作物・園芸、耐塩植物、耐干植物、養育、植物・土壌、水エネルギー関係、砂漠開発用の草地・家畜・バイオマスシステム

②砂漠植物・再生可能エネルギー部門

灌漑システム、農業・加工機械、除塩、水浸透・風食防止用土壌管理、砂漠侵食防止物質、ナイルシルト製でない絶縁ブロック

③砂漠社会部門

農業マーケティング・価格・クレジット、新技術による費用問題、社会組織と農業労働力の動態、農家の決定過程、新技術導入による社会文化要素、定住問題、小作・土地配置、住宅計画、プロジェクト追跡・評価

④サポート部門

サポート部門は行政サポート部門とコンサルタント、普及・訓練部門に分かれており、それぞれ支援を行っている。

砂漠開発センターの組織を図-7に示す。この組織は10年の歴史をもち、かなりの成果を挙げている。熱研がエジプトで研究活動を行うには、このような組織と密接に関係を保ちながら、推進していく必要がある。

なお、アメリカ大学では「砂漠開発ダイジェスト(A-4版10p.程度)」を年3~4回発行しており、これによって砂漠開発研究に関する最新の情報が得られる。

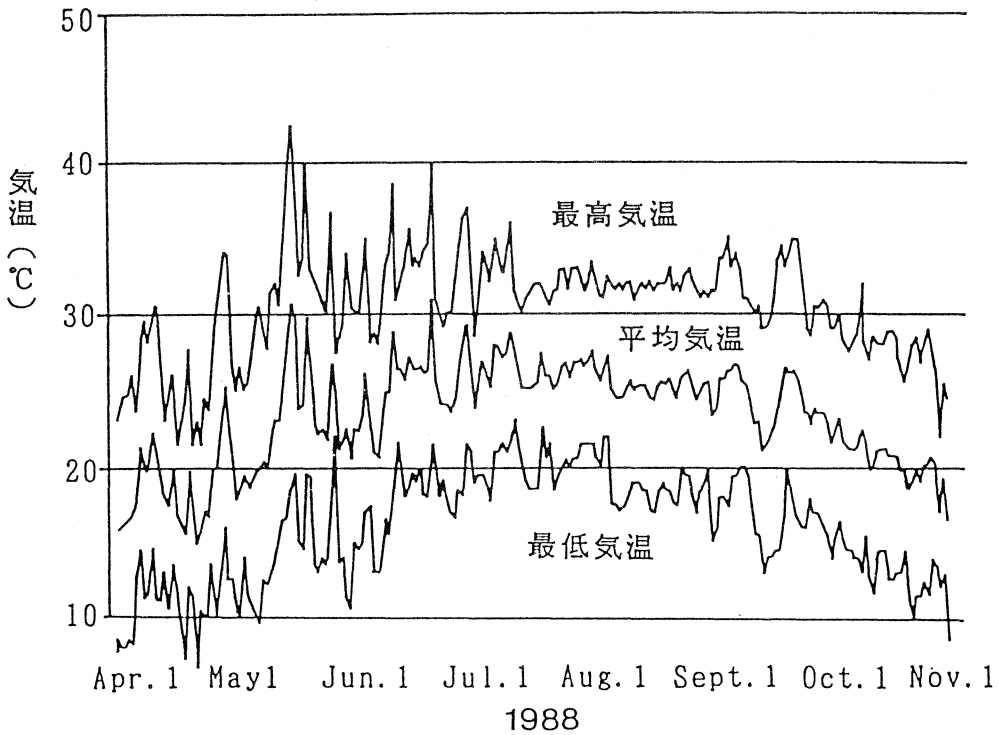
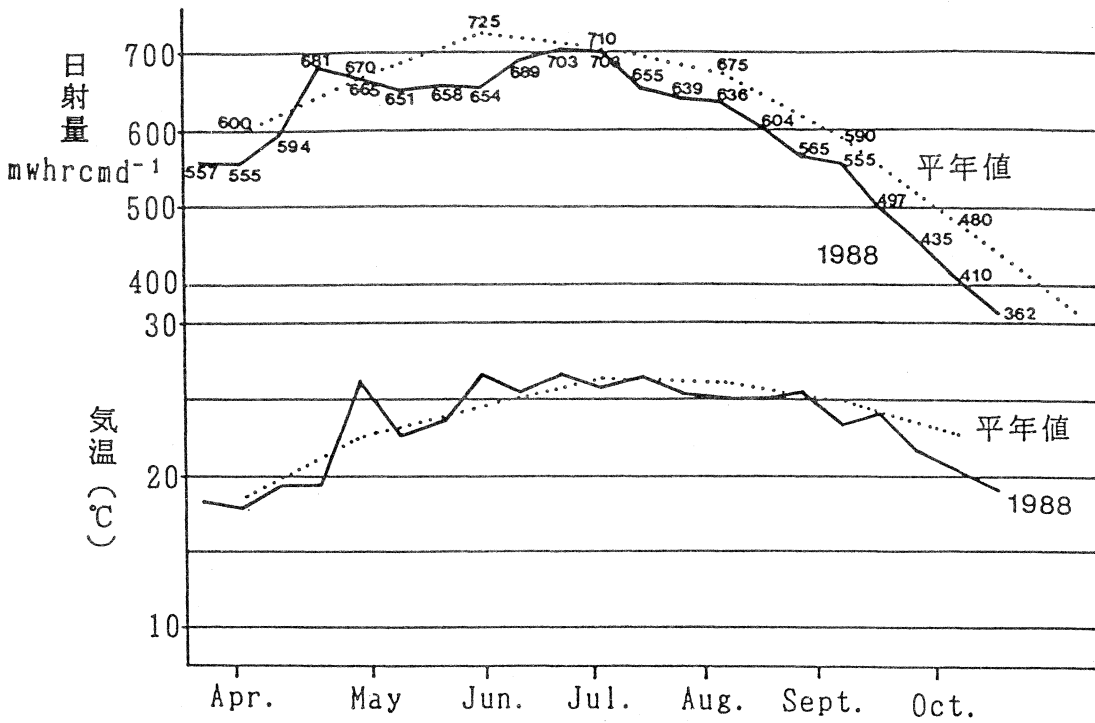


図-1 気温と日射量の変化 (カフ エル シェイク) (橋高氏 1988)

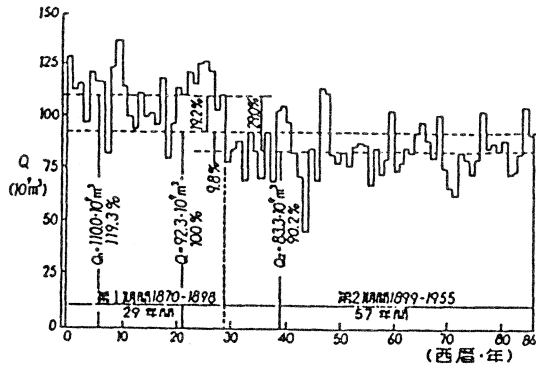


図-2 ナイル川アスワン地点における年平均流出量

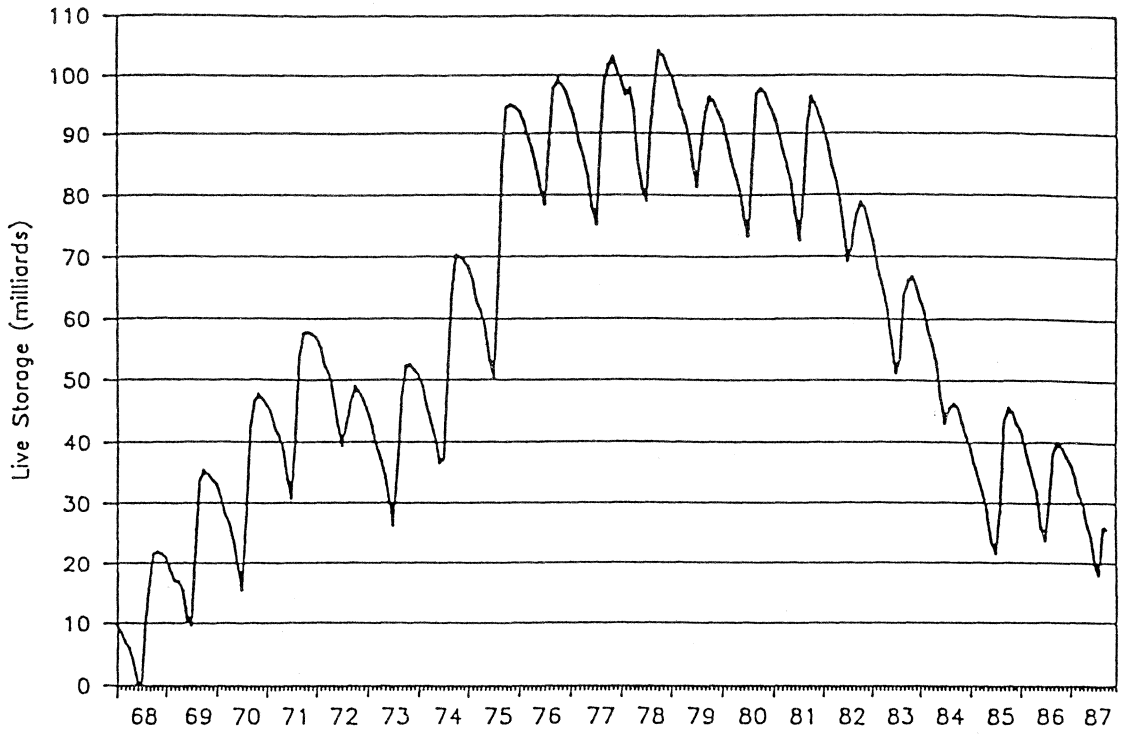


図-3 ナセル湖貯水量の変動

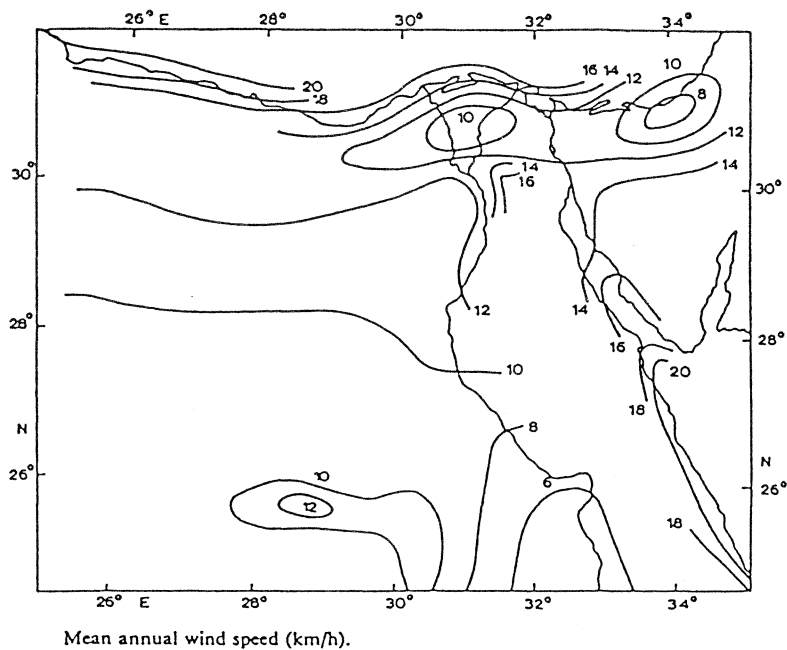
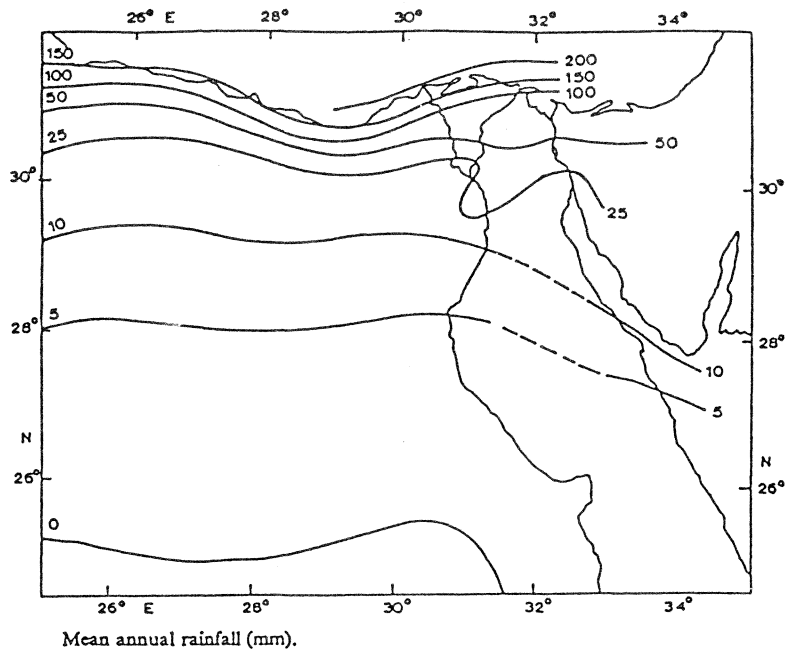


図-4 降水量と風速の分布

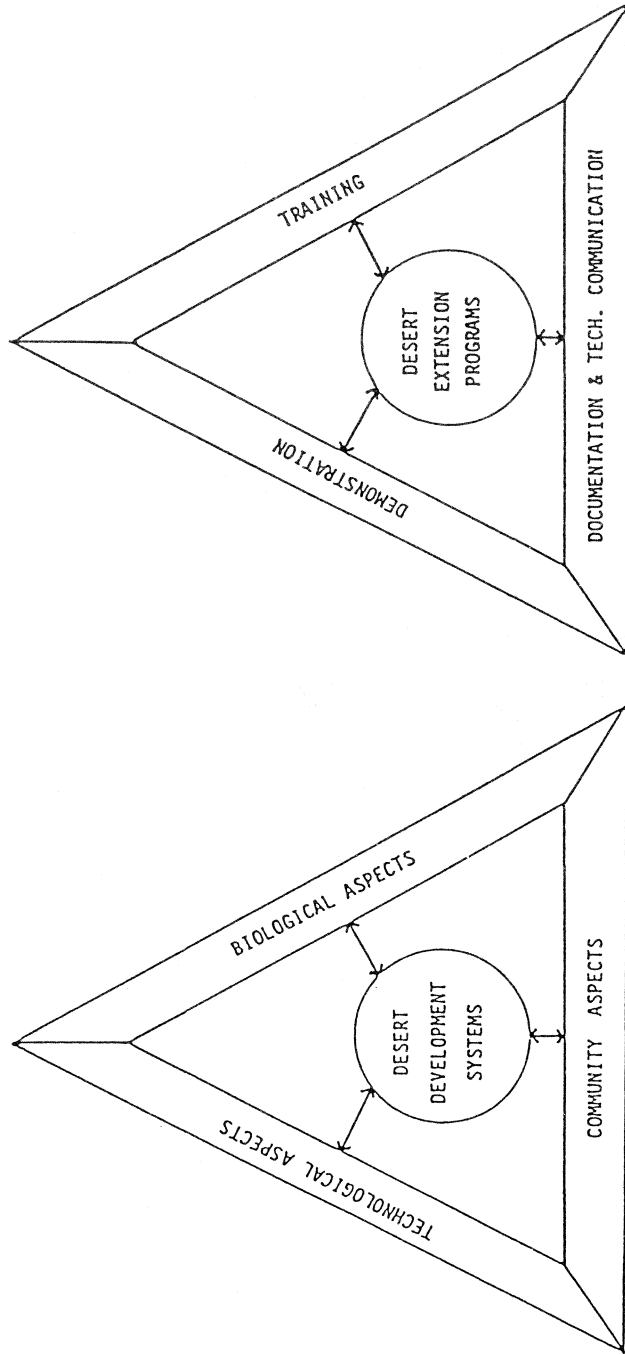


図-5 アメリカ大学カイロ校砂漠開発センター応用研究と普及段階

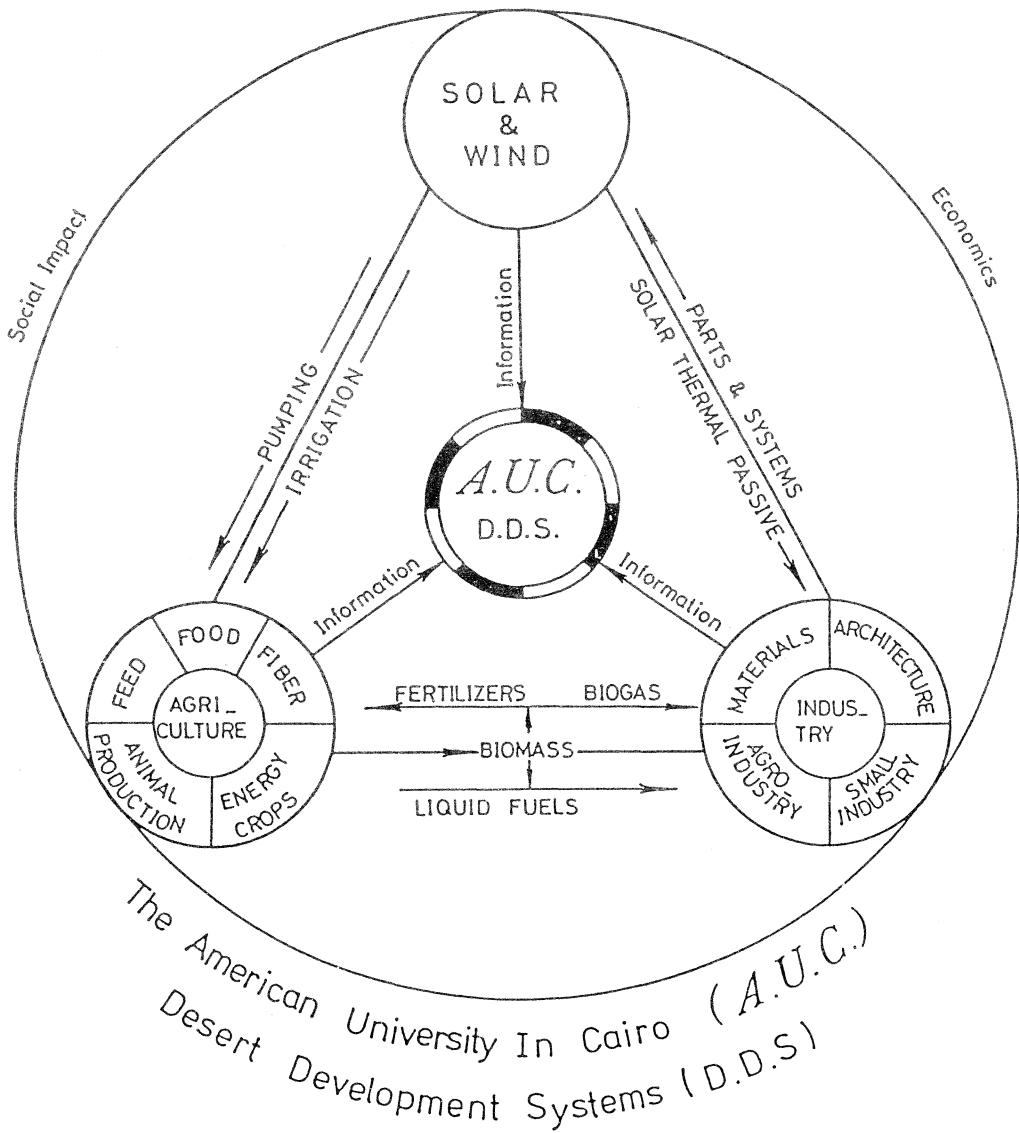


図-6 砂漠開発のための自然エネルギー利用技術の適用

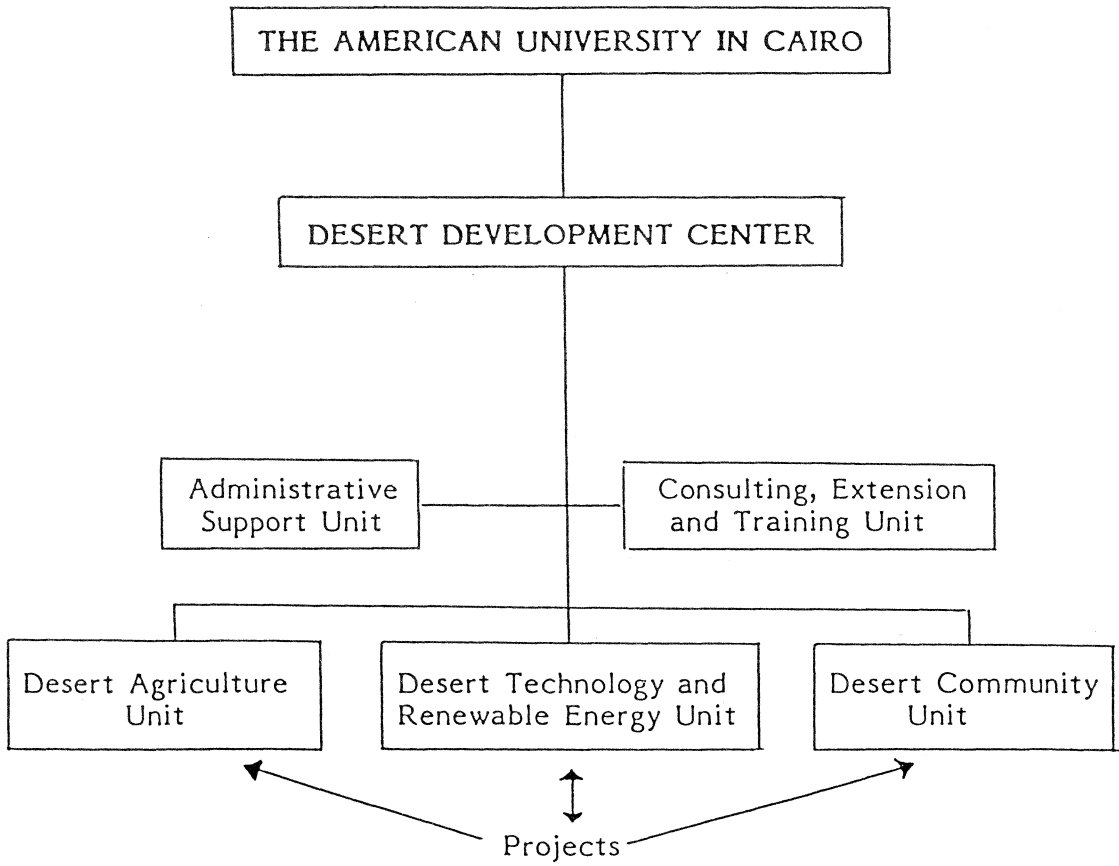


図 - 7 砂漠開発センター機構図

【付録3】

アフリカにおける小規模灌漑 －典型的な灌漑体系の分類－

- (1) 河川氾濫原あるいは河川からの水供給の可能な広大な平野
 - (i) 重力灌漑,
 - (ii) ポンプ灌漑
- (2) 季節的に深く氾濫する地域での浮き稲栽培
- (3) 季節的に浅く氾濫する地域での水稻栽培（および土手での他作物の栽培）
- (4) 氾濫後退期（減衰期）灌漑（recession irrigation）：デルタ地域，大規模な季節的氾濫原，貯水池
- (5) マングローブ沼沢地／海岸沼沢地域：重力灌漑またはポンプ灌漑
- (6) 内陸流域沼沢地域あるいは窪地（Basfond）：これらは起伏に富んだ地域にあり一般に5～100haの細長い地形である。：重力灌漑
- (7) Bolilands：排水の悪い受け皿状の広い平坦な窪地：重力灌漑
- (8) 丘陵地帯の小河川からの導水を溝で灌漑した小地域：重力灌漑
- (9) 乾燥地域：
 - (a) 季節河川からの重力あるいは揚水灌漑
 - (b) うね立てによる重力灌漑（雨水保持及びWater harvesting）
 - (c) 浅井戸からのポンプあるいは他の揚水灌漑
- (10) 急激な流出を利用した洪水灌漑（spate irrigation）
- (11) 地下水開発
 - (i) 中～深い帯水層
 - (ii) 浅井戸：ポンプあるいは他の揚水灌漑

【付録4】

灌漑開発における保健上の問題

水で伝染する病気 (water-borne disease) や媒介生物 (vector) への配慮を伴わない灌漑開発はこれらの病気の大幅な増加を招く。従って、この問題は開発の構想の段階から考慮しなければならない。

主な昆虫の媒介する病気は、マラリア (malaria) , 住血吸虫症 (schistosomiasis (bilharzia)) , オンコセルカ症 (onchocerciasis) , 川盲 (river blindness) 及び黄熱病 (yellow-fever) である。昆虫媒介病のまん延は病人と健康な人及び前者から後者に病気を伝染させる媒介生物の3つの連鎖からなる。

マラリアまたは黄熱病の場合、媒介生物は蚊の特定の種である。住血吸虫の媒介生物は特定の水生かたつむりであり、川盲のそれはブヨ (blackflies) の特定の種である。従って、昆虫の媒介する病気はこの3つの連鎖のどれかを打ち切ることによりうまくコントロールできる。即ち病気の保菌者 (sick carrier) の治療、健康な人の予防、あるいは病気媒介生物の根絶により防ぐことができる。しかしながら、今までの試みから媒介生物コントロールの導入を通して、媒介生物を根絶する方法がよい結果をもたらす傾向がある。このような方法は、特定の媒介昆虫の習性と行動の完全な知識に基づいている。昆虫媒介病は繁殖あるいは生育のために水中生息地を必要とする媒介昆虫により伝染する。もし媒介昆虫のコントロール対策が取られない場合、灌漑計画は一般に且つ豊富にこの生息地を作り出すことになる。

媒介昆虫コントロール対策は4つの主なコントロールに分けられる。即ち、化学的コントロール (chemical) , 生物学的コントロール (biological) , 遺伝学的コントロール (genetical) そして環境的コントロール (environmental) である。

これらの対策は現地の状況により、単独、あるいは幾つかを組み合わせる採用される。

- ・化学的コントロールは比較的採用し易く、一時的であるが効果がすぐ出やすい。この方法単独での効果には限界があるが、補助的方法としては非常に有用である。
- ・生物学的コントロールは媒介昆虫の生物学的天敵の利用を含む。魅力的ではあるが、まだ研究段階である。
- ・遺伝学的コントロールは媒介昆虫の数を減らすため、オスに不妊の措置を施す方法である。効果的方法であるが高価につき、まだ研究の段階である。
- ・環境的コントロールは最も効果的な方法で、工学的な環境改善を行うものである。この方法には、水路流速の変更、水生植物のコントロール、水位変動の制御、射流の発生やスクリーンの使用などが含まれる。

〈結論〉

灌漑計画の保健上の危険性を減らすため、媒介昆虫のコントロールは極めて重要である。しかしながら、これは複雑な問題であり、それぞれの状況に応じた最適の手段が取られるべきである。世界保健機構 (WHO) がこの分野での主管機関であるので、灌漑計画の企画者はその助言を求めべきである。

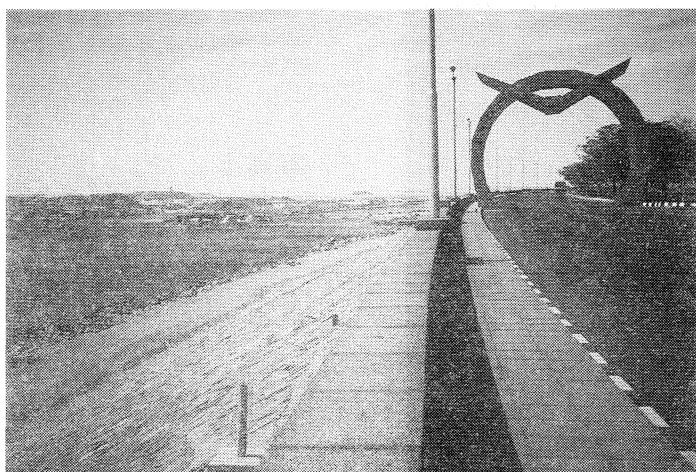


写真1

アスワンハイダム（左が
上流側で、ナセル湖）

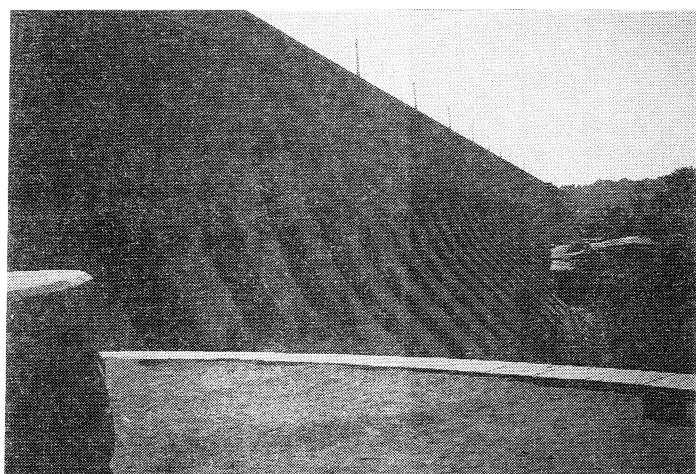


写真2

アスワンダム（右岸下流
側より）

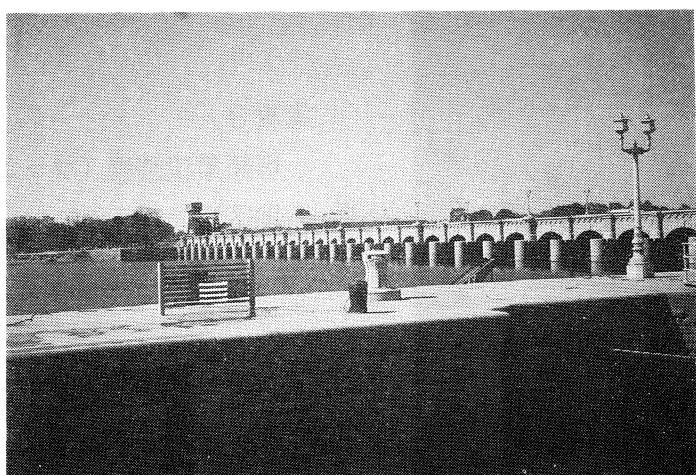


写真3

デルタ堰（ダミアッタ、
新堰）



写真4

ナイルバレーの耕地

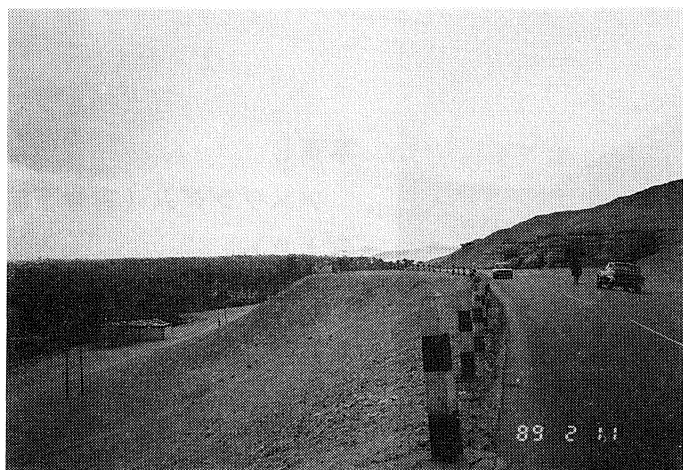


写真5

ナイルバレーと砂漠の境界
(サッカラ付近)



写真6

塩類集積圃場 (ファユーム地区)

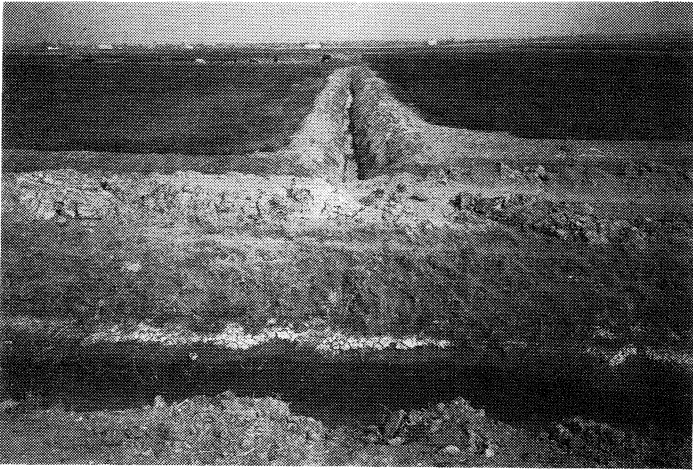


写真7

地下水位コントロールのための排水路（ファユーム地区）：ウオーターロギングと塩類集積の防止を目的とする。

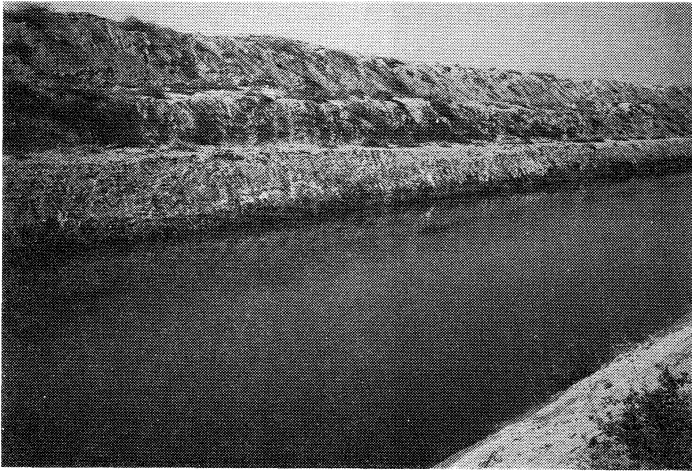


写真8

土水路フリーボードにおける塩類集積（ヌバリア水路）

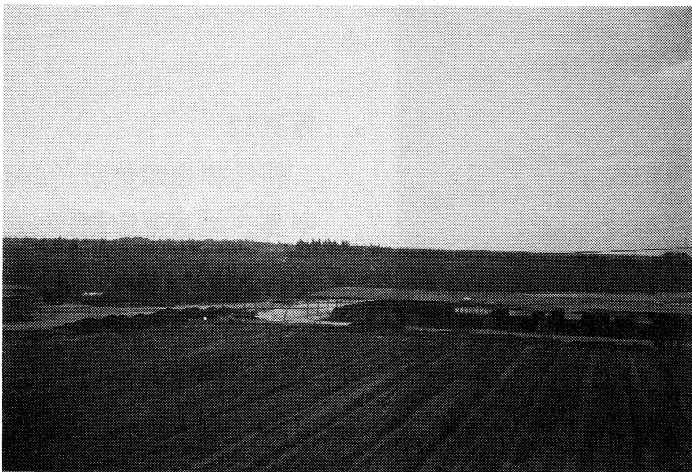


写真9

カッターラ砂漠開発プロジェクト

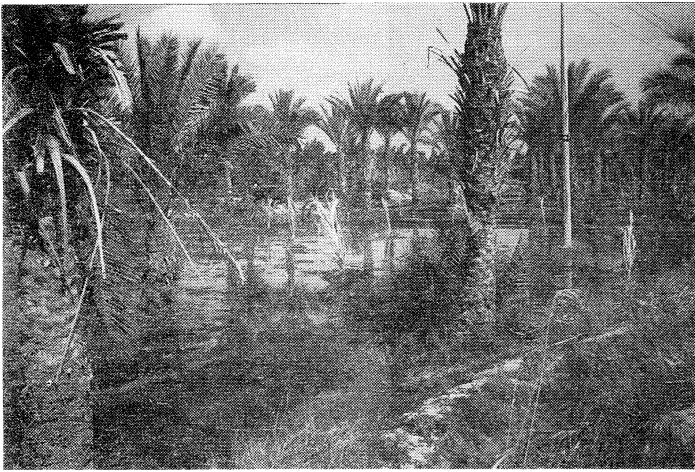


写真10

ナツメヤシの水盤灌漑

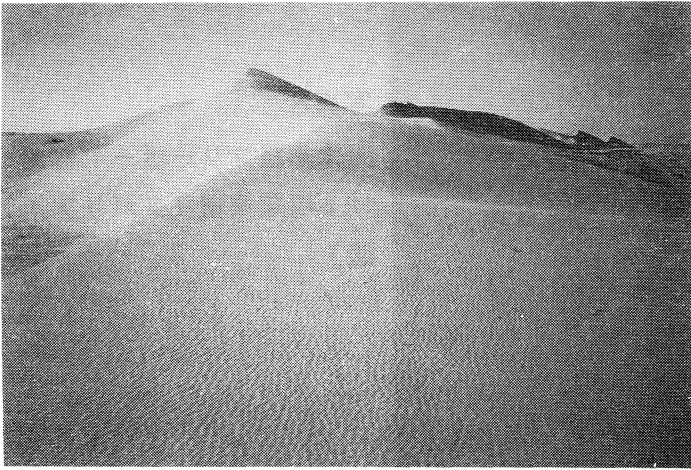


写真11

シナイ半島の砂丘



写真12

耕地の塩類集積（シナイ
半島スエズ運河側）

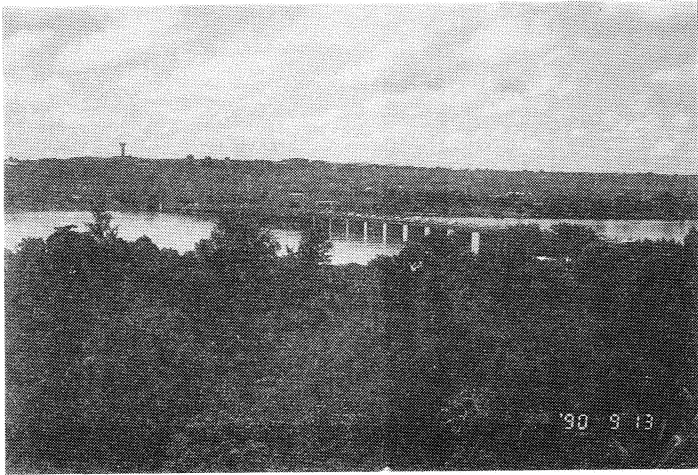


写真13

ニジェール河 (バマコ地点)

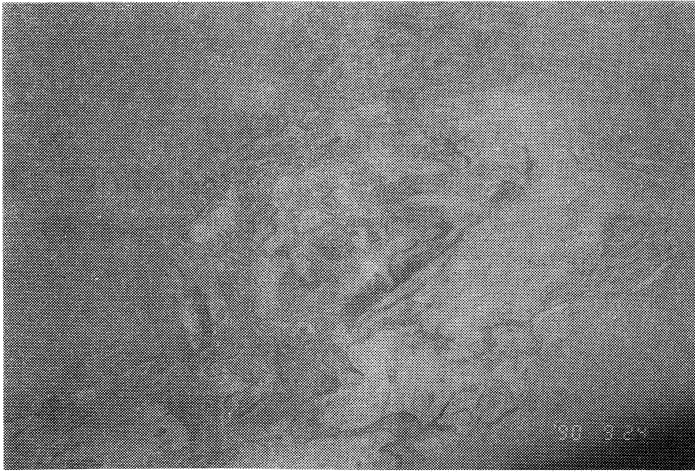


写真14

ニジェール河 (ガオ地点)

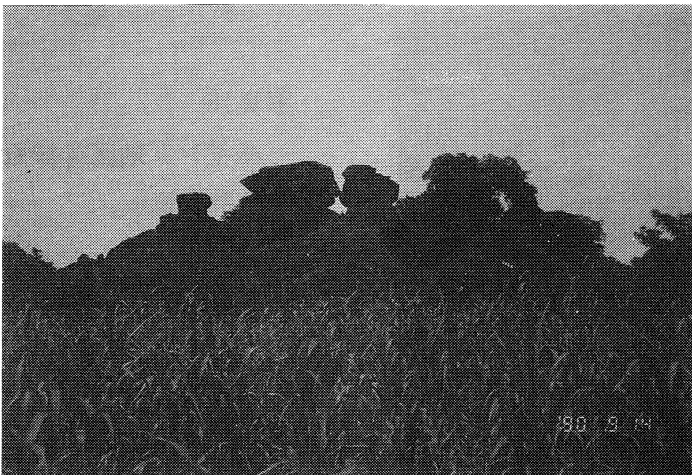


写真15

インゼルベルグ

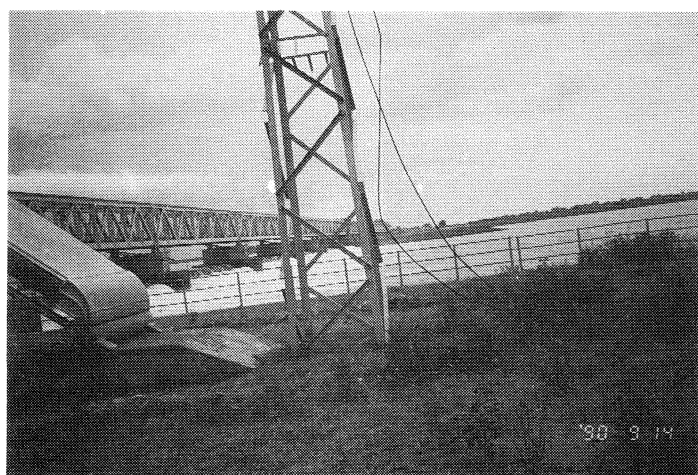


写真16

マルカラ堰（マリ共和国
・ニジェール計画）

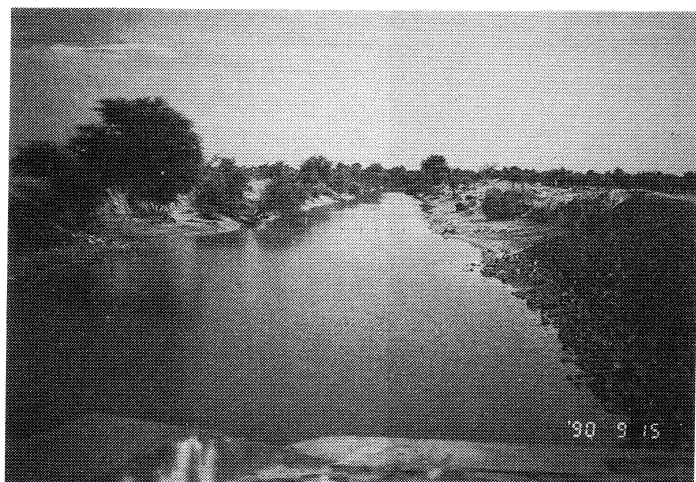


写真17

サヘル水路（マリ共和国
・ニジェール計画）

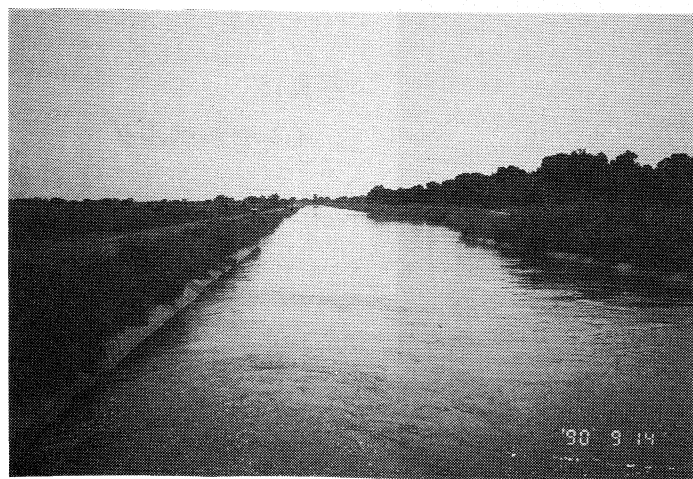


写真18

バギンダ地区幹線水路（
マリ共和国）

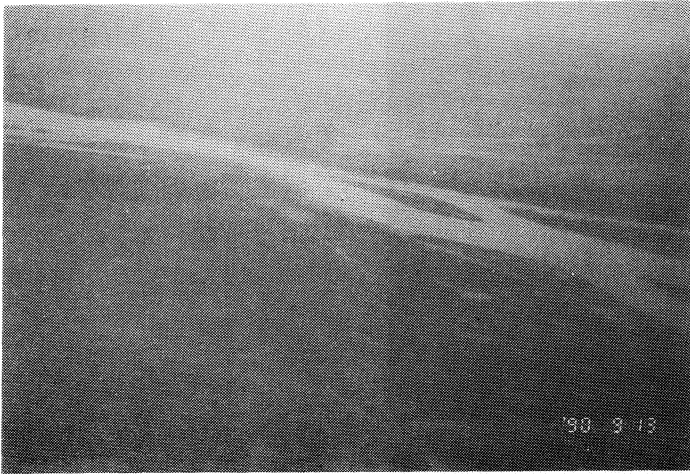


写真19

ニジェール河沿岸の水田
地帯（ニアメイ周辺）

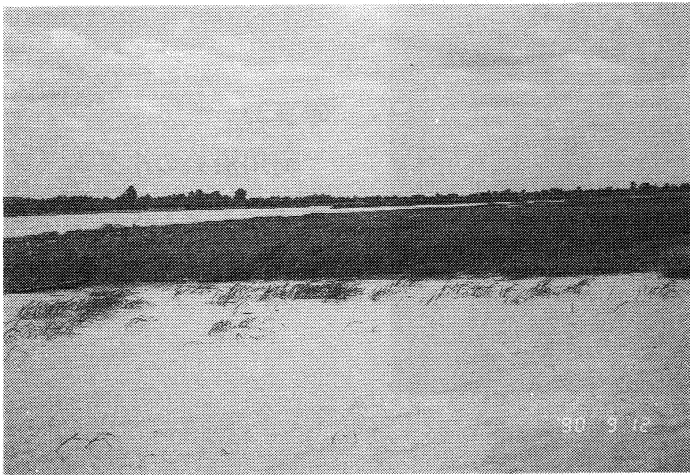


写真20

ニジェール河沿岸の浮稲
栽培（ニジェール）

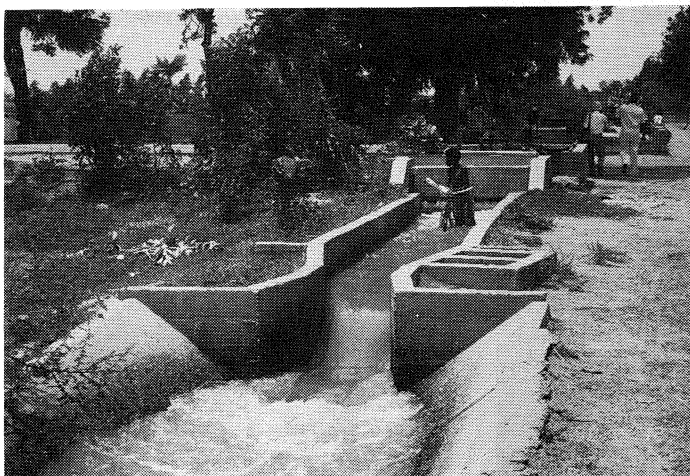


写真21

分水施設（ニジェール・
ONAHAによる水田灌漑プロジ
ェクト：ヌドゥンガ地区）

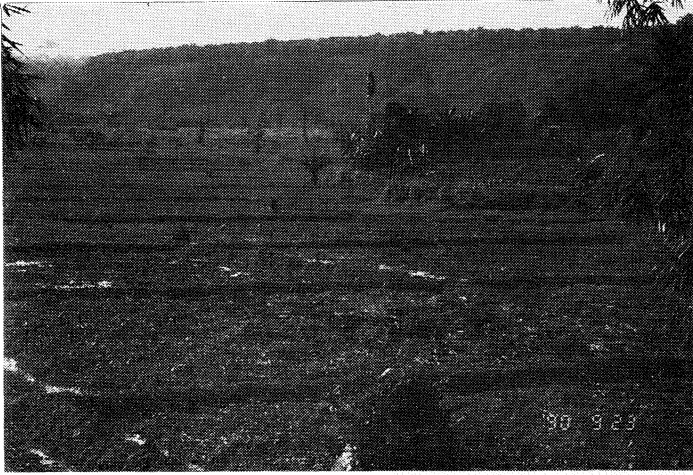


写真22

谷底平野の灌漑水田（コ
ートジボアール）

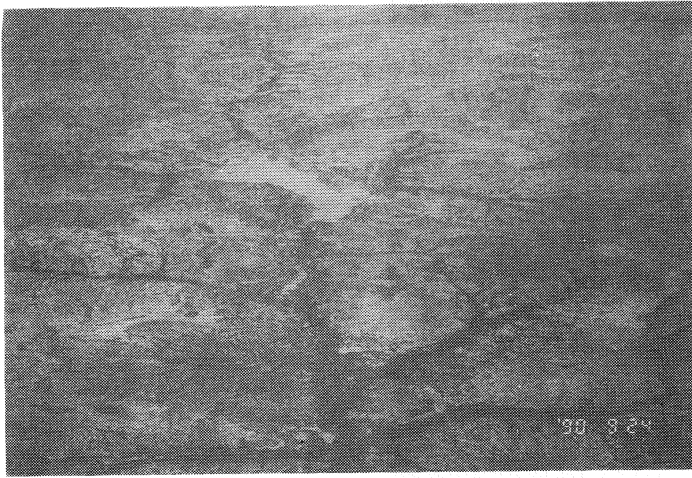


写真23

河川沿いの小ダム（ブル
キナファツ）

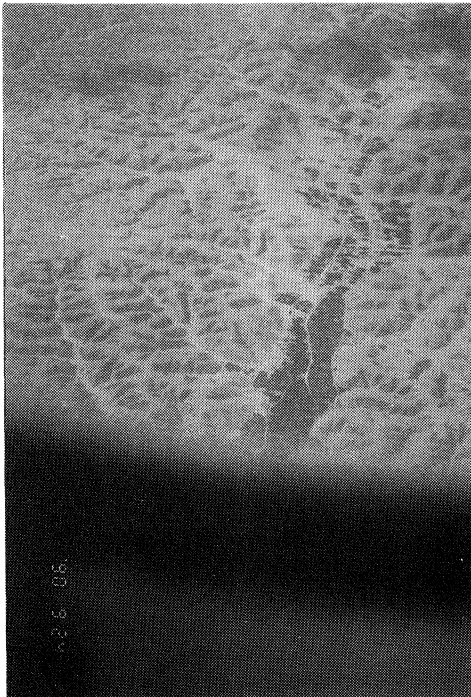


写真24

ワジカルチャー（アルジ
ェリア）

熱 研 資 料

45. Field Observations and Laboratory Analyses of Paddy Soils in Thailand
46. フィリピンの豆類, とくにMungbeanの生産・研究事情調査報告書
47. Proceedings of SABRAO Workshop on Animal Genetic Resources in Asea and Oceania
48. Field Observation and Laboratory Analyses of Upland Soils in Thailand
49. タイ国におけるLand Consolidationについて
50. セラードに関するシンポジウムⅣ抄訳
51. マレーシアマダカんがい計画地域における水稻二期作経営の実態
52. ブラジルサンパウロおよびパラナ州の土壤と農業調査報告書
53. スーダンの農業と農業研究
54. インドネシアにおける作付方式と土壤肥沃度に関する調査報告書
55. 中国の熱帯農業と農業研究
56. スリランカにおける牛肉生産の現状と問題
57. タイ, インドネシアにおける地下作物の栽培様式と品種特性調査報告書
58. アフリカからの新作物探索導入調査報告書
59. 中南米の地下作物探索導入報告書
60. 南米における有用マメ科植物の探索導入と試験研究状況調査報告書
61. フィリピンにおける地下作物の栽培様式と品種特性に関する調査報告書
62. アマゾン地域の自然一気候及び土壤を中心として一
63. スリランカ・ドライゾーンにおける水田用水量に関する研究
64. バブアニューギニア, ソロモン, フィジーにおける農業事情と地下作物
65. アマゾニアの農業開発
66. Genetic Information in Rice
67. 西マレーシア及びタイにおける熱帯特用作物の実態調査報告(研究技術情報No.1)ーオイルパーム等ー
68. 乾燥地農業の研究事情調査報告書(研究技術情報No.2)ーシリア・パキスタン・インドー
69. 乾燥地農業の研究事情調査報告書(研究技術情報No.3)ーオランダ・エジプト・ケニア・シリア・エチオピアー
70. マレーシア・ムダ地区における水稻二期作の水収支と水田基盤整備に関する研究
71. 乾燥地農業の研究事情調査報告書(研究技術情報No.4)ーエジプト・イスラエルー
72. 乾燥地農業の研究事情調査報告書(研究技術情報No.5)ーオーストラリアー
73. インドネシアにおける特用作物の生産並びに研究動向調査報告書(研究技術情報No.6)
74. ブラジル熱帯畑土壌の肥沃度特性と土壤管理法
75. アブラヤシのイラガ類の形態ならびに生態に関する研究
76. 東アフリカの農業及び農業研究調査(研究技術情報No.7)ーイタリア・エチオピア・スーダン・フランスー
77. ラテンアメリカにおける自然条件と農業類型の関連(研究技術情報No.8)
78. 亜熱帯高温期に適応する有望野菜の選定
79. 熱帯畑地における有機物マルチの効果
80. 東アフリカの農業および農業研究調査(研究技術情報No.9)ーザンビア・マダガスカルー
81. 西アフリカ水田地帯における灌漑排水技術の実態調査(研究技術情報No.10)ーカメルーン・リベリア等ー
82. 北アフリカにおける農業研究の実態調査(研究技術情報No.11)ーエジプト・イギリス等ー
83. 持続的農業生産(研究技術情報No.12)ー国際農業に関する研究戦略ー
84. 熱研電子ファイルシステム(研究技術情報No.13)ーTRODISの構築ー
85. アフリカの畜産資源調査報告(研究技術情報No.14)ーセネガル・ケニア等ー
86. 未 完
87. アフリカ緊急調査報告書(研究技術情報No.16)ーセネガル・ニジェール・マリ等ー
88. 西アフリカにおける農林業の特性解明調査報告書(研究技術情報No.17)ーマリ等ー

平成 4 年 6 月 発行

編集発行 農林水産省熱帯農業研究センター

〒305 茨城県つくば市大わし 1-2
TEL (0298) 38-6340
