熱研資料No70

マレーシア・ムダ地区における水稲二期作の水収支と水田基盤整備に関する研究

八島茂夫

昭和61年9月

農林水産省
熱帯農業研究センター

目　次

はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

第１章　序説・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
　１・１　作業仮説・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
　１・２　研究対象地区の設定とその理由・・・・・・・・・・・・・・5
　１・３　研究対象地区の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6

第２章　ムダ地区の水稲二期作の水収支・・・・・・・・・・・・・・22
　２・１　水稲二期作の作期・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22
　２・２　供給用水量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31
　２・３　水田用水量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35
　２・４　水稲二期作の水収支・・・・・・・・・・・・・・・・・・47

第３章　長距離田越潅漑における潅漑進捗パターン・・・・・・・・60
　３・１　ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける初期潅漑期の潅漑進捗パターン・60
　３・２　湛水所要期間と供給水量との関係・・・・・・・・・・・・63
　３・３　圃場内の水の動き・・・・・・・・・・・・・・・・・・・67
　３・４　潅漑開始日と湛水所要期間の関係・・・・・・・・・・・・69

第４章　水稲二期作と水田地耐力・・・・・・・・・・・・・・・・71
　４・１　水稲二期作導入時における地耐力低下・・・・・・・・・・71
　４・２　農業機械の走行性と水田地耐力・・・・・・・・・・・・・78
　４・３　水田地耐力の年間変動と強化対策・・・・・・・・・・・・80

第５章　水稲二期作安定化のための水田基盤整備・・・・・・・・・84
　５・１　乾季における一斉休閑期の重要性・・・・・・・・・・・・84
　５・２　用水不足と落水の還元利用・・・・・・・・・・・・・・・90
　５・３　圃場施設の整備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・95
　５・４　ムダ地区における水田基盤整備方式・・・・・・・・・・・102

第６章　結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・108

おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・113

はじめに

イネの原産地については、いくつかの学説があるが、多くの日本人は、熱帯と考えている。そして、高度に発達した日本の稲作技術を用いて、そのイネを熱帯で栽培すれば、極めて高い生産性を達成できると思いがちである。１年中高温に恵まれた熱帯では、年２回、あるいは、短期品種と移植栽培を組合せれば、３回以上の作付も可能である。作期を少しづつずらして、周年栽培を行なえば、農作業の量を年間通じてコンスタントにでき、最小限の労力と機械装備で、効率の極めて高い作付体系を実現できる。

もし、このように、著しく高い生産性を達成でき、従って、高い投資効率が得られるのであれば、高額な事業費を投下して、二期作に必要な水源開発、水利施設の造成、圃場整備、カントリーエレベーターの建設などを含む水田基盤整備を実施しても、採算は十分合うはずである。しかし、二期作化事業の進展はそれほどでもない。

その理由は、国又は地区により、それぞれ異なると思われるが、マレーシアを例に取れば、次のような政治的な問題もある。マレーシアの米価は、タイの２倍以上と著しく高いため、国際競争力が弱く、完全自給が国内生産の上限となる。全国の水田38万haに二期作を導入し、国内需要180万t(モミ)を生産するとすれば、2.4t/haという著しく低い収量でこと足りる。むしろ、マーケットや余剰労力雇用などの対策の裏付けのない不用意な増産は、生産過剰・米価の下落などを招き、社会経済の混乱の因を作りかねない。そこで、生産過剰を恐れる政府は、開発地区を５地区に絞って、そこに重点的に投資する政策を一旦は取ってみたが、重点地区から外された地区の農民の不満が高まり、その対策に苦慮している。結局、ただでさえ乏しい予算を、平均的に、全体に配分せざるを得ず、面積当たり事業費は、著しく低いものとなり、水田基盤整備は低い水準に止まらざるを得ない。また、技術的にも、種々の阻害要因があり、おいそれとは、高い生産性を実現できないことは、本文で触れることとする。

開発途上国における稲作開発は、低い水準に抑えられた事業費の中で、低収量安定生産を図るところに、日本とは異なる、大きな特徴があると、筆者は考えた。そして、熱帯モンスーン地帯における水稲二期作化事業の、顕著な成功例として評価の高い、マレシア・ムダ地区を事例研究の対象として、そこで行なわれている、水路密度で10m/haという、日本人技術者には思いも付かない、極端に低い基盤整備水準のもとでの、水稲二期作の水収支、潅漑効率、水田地耐力の実態と、それにまつわる諸問題の構造を明らかにした。

第１章　　序説

１・１　作業仮説

１・１・１　開発途上国における水田基盤整備方式

貧乏なるがゆえに開発途上国である諸国では、水田基盤整備事業に支出できる予算は、著しく制限されている。また、国家自体が非常に不安定な基盤の上に立つ開発途上国では、内的、外的要因の影響を直接受け、基盤整備事業実施途上にあっても、計画の見直しを必要とする程の情勢変化は、しばしば発生するものである。その上、正確な信頼できる情報が不足しているのが普通で、事業計画にも、かなりの不確定要素が含まれていることを、覚悟しなければならない。

このような情勢の中では、莫大な工事費を要する基盤整備を、計画どおりに一挙に達成しようとすると、効果の無い工種、場合によっては逆効果の工種を施工してしまい、貴重な投資を無駄にしてしまう恐れが多分にある。そこで、確実に効果が上がると考えられる工種から優先的に施工し、その完成の都度、その後の農業を取り巻く情勢の変化と、事業に対する農民の対応を分析し、必要があれば、マスタープランの軌道修正を行いつつ、次の工事に移るという、段階的基盤整備方式が、開発途上国の実情に適っていると考えられる。

１・１・２　ムダ地区における水稲二期作の不安定要因

本研究対象地区のマレーシア・ムダ潅漑事業地区(以後ムダ地区という)においては、第１次５カ年計画（1966年から1970年）の中で、Ｍ＄5,000/ha（Ｍ＄：マレーシアドル。消費者物価指数を用いて１９８３年単価に換算。Ｍ＄≒￥１００）の事業費を投じ、基幹水利施設を整備し、水稲二期作導入に成功した。これを通称、ムダＩプロジェクトという。しかし、この事業費の水準では、末端水路の配置間隔は標準1.6km（1マイル）という疎さで、適切な水管理は望めない。また、十分な水源の確保も難しく、二期作の安定化のためには、次のような、更に解決すべき、多くの問題をはらんでいるものと推測される。

１）　用水計画では、変動のきわめて大きく、予測の困難な雨に、供給の約60％を依存しており、供給面での不安定性が危ぐされる。

２）　用水需要量については、日減水深を平均8.8mmと、かなり低く見積り、厳しい

内容となっている。

3）　1.6km間隔の圃場施設配置では、計画的水管理、農作業は困難で、作期の大幅な遅延と長期化、並びに作期の周年化を来し、病虫害のまん延が避けられない。

4）　作期の長期化は、潅漑期間の長期化につながり、厳しい用水計画内容と相まって、深刻な用水不足を招く恐れがある。

5）　水稲二期作に伴う労働ピーク克服のための農作業機械化と、作期の周年化に伴う土壌乾燥機会の短縮から、水田地耐力の低下が問題となる。

1・1・3　ムダ地区の水稲二期作の現状と課題

前述の、ムダ地区の水稲二期作の不安定要因を、系統的にまとめると、図1・1の

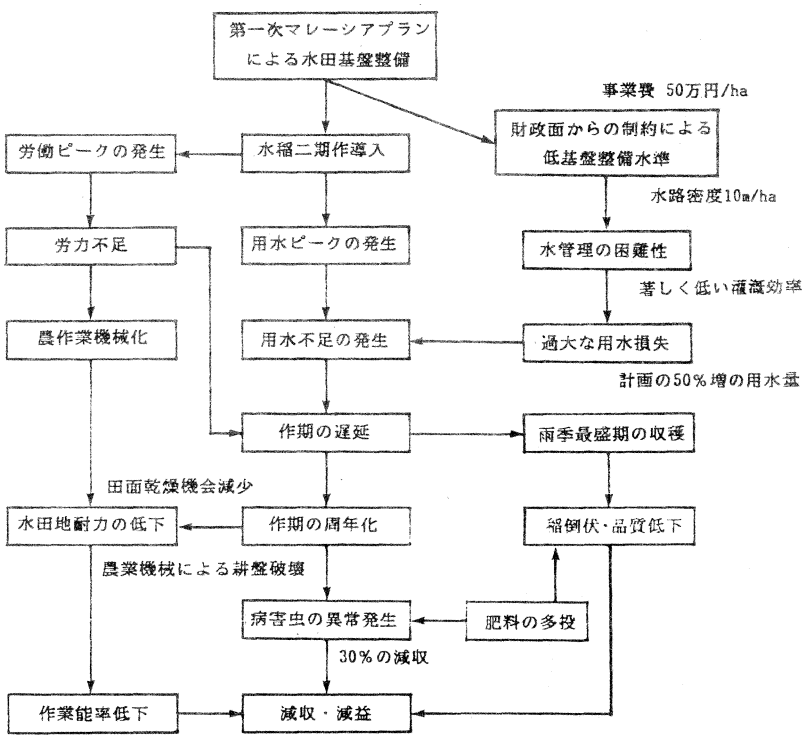


図1・1　ムダ地区水稲二期作の問題構造

極めて低い投下事業費の制約による、不十分な水源手当、末端圃場施設の未整備から、圃場レベルの水管理の自由度は、ほとんど無いに等しく、潅漑効率は著しく低い水準に留まる。このため、本田潅漑期間が不必要に長引き、過大な用水損失を強いられることとなる。1975年にムダ地区のほぼ全域に、二期作が普及するとともに、潅漑

用水の不足が問題化し、図１・２に示すように、1978年には遂に、第１作が休耕に追い込まれ、以来、用水不足問題は慢性化している。末端圃場施設の未整備に由来する、潅漑進捗パーターンの伸び悩みや、労働力や機械の非効率的な運用により、作期の遅延は年ごとに著しくなった。その結果、ムダ地区では、年間を通じて、乾期中も稲が切目無く栽培されるという、作期の周年化が定着するようになり、1982年のツングロ病大発生の引き金となった。また、作期の周年化により、乾季中の水田土壌の乾燥が不十分となり、二期作化に伴う農作業機械化と相まって、水田地耐力低下が問題となってきた。

作期の遅延により、第１作の収穫が雨期最盛期に当る９、１０月に行われるように

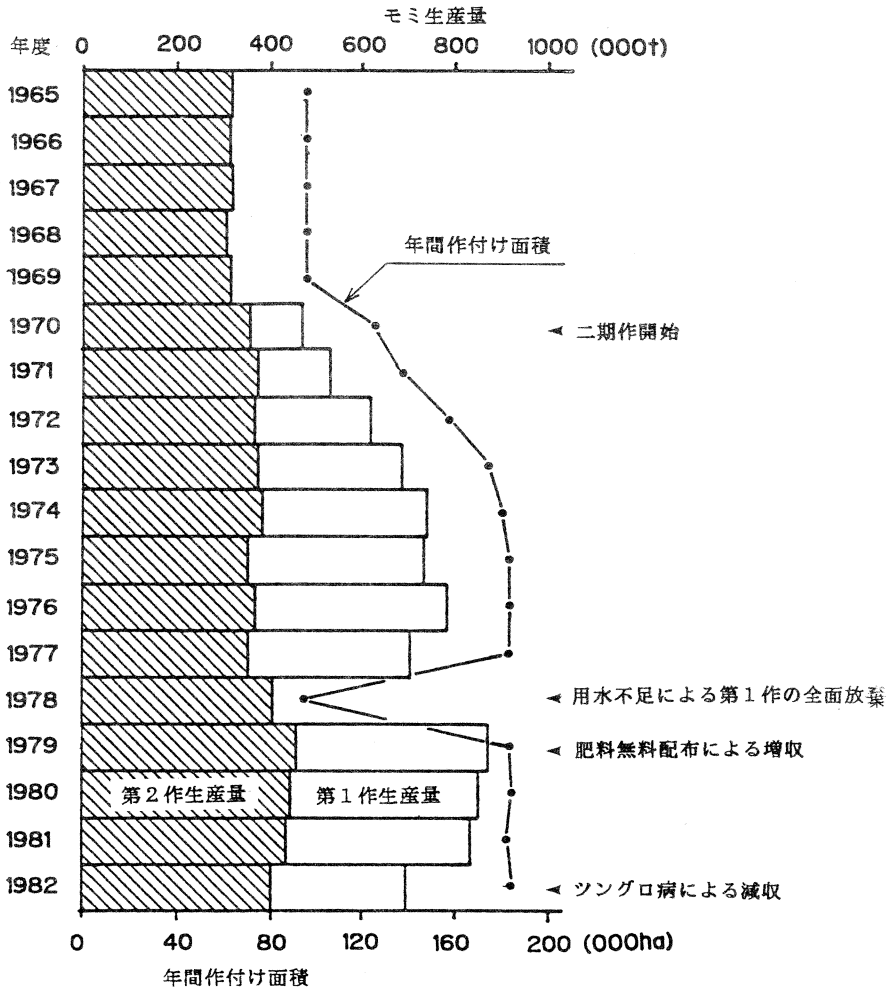


図１・２　ムダ地区のモミ生産量の推移

なり、これに、施肥の普及による穂重の増加・茎の軟化、ならびに、徒長が加わり、強風を伴う雨期のスコールで、倒伏する稲が多く見られるようになった。これは、モミの収穫損失と品質低下をもたらし、農家は大きな経済的打撃を被ることとなる。

以上のような作業仮説を踏まえて、本研究では、先ず、水稲二期作の作期を調査し、作期の遅延と周年化、並びに、潅漑期間の長期化の実態を明らかにする。次に、その作期との関連で、水田水収支、潅漑進捗パターン、潅漑効率を分析し、水管理上の問題点を明らかにする。更に、二期作化に伴う水田地耐力の変化と、機械化農作業から求められる水田地耐力を明らかにする。最後に、以上の知見に基づき、ムダ地区を取り巻く社会経済条件を考慮し、ムダ地区の実態に即した、水田基盤整備方式を提案する。

１・２　研究対象地区の設定とその理由

熱帯モンスーン地帯の、水稲二期作のための水田基盤整備を扱う本研究の、研究対象地区としては、現に二期作が行われており、地形・水文・土壌などの自然条件のほか、圃場施設・水収支・潅漑排水・地耐力などの、水田基盤に関する情報、更に栽培方法・作業方法・作期・収量・農家の経営状況などの、水稲作に関する情報が、豊富に得られる地区が望ましい。

このような条件に適うのが、マレーシア・ムダ地区である。熱帯農業研究センター（以後熱研と略称する）は、1970年に初めて二期作が導入される以前の、1967年から今日に至るまで、ＭＡＤＡ(ムダ農業開発公団：Muda Agriculture Developement Authority)との共同研究として、農業土木を中心に、栽培・農業機械・農業経営・病虫害の各分野の、長期在外研究員　２５人を含む、多数の研究員を派遣し、ムダ地区の水稲二期作に関する研究成果を蓄積してきた。筆者も、この間２回、長期在外研究員として、ムダ地区に滞在した。第１回目は、1971年から1974年まで、主に北部ムダ地区を対象に、二期作導入に伴う水田地耐力低下問題、また第２回目は、1978年から1984年まで、水田面積731 haの一つの潅漑ブロックの水田を中心に、作期と水収支に関する調査研究を実施した。また、ムダ地区を管轄するＭＡＤＡも、独自に降雨・潅漑水量・作付面積・生産量・生産コスト・作期などの調査を実施している。信頼できる情報が得難い開発途上国のなかにあって、ムダ地区は異色の存在である。

また、東南アジアの中にあっては、最も先進的なムダ地区を研究しておくことにより、将来、ムダ地区のあとを追う形となる、他の開発途上国の水稲二期作化事業計画に対し、多くの有用な情報をもたらすものと考えられる。

１・３　研究対象地区の概要

マレーシア・ムダ地区は、半島マレーシア西海岸最北部、北緯６°付近の海岸平野に広がる、マレーシア最大の水田地帯である。地区は南北に70km、東西に15km位の長方形をしている。水田面積は、全国の25％に当る9.6万ha、モミ生産高は、全国の40％にあたる70万tである。関係農家６万戸による、個別自立経営を中心とした水稲二期作が、1970年以来続けられている。

ムダ地区は、ケダ、ペルリスの２州にまたがっているが、地区内の農業については、ＭＡＤＡが一括してその行政を司っている。ＭＡＤＡの主な業務は、水利施設の維持管理、技術普及、営農資金の融資などで、日本の土地改良区、農業改良普及所、農業協同組合の機能を合体したようなものである。なお、水利施設の建設は、ＤＩＤ（排水潅漑局：　Drainage & Irrigation Division)の管轄である。

１・３・１　地形及び土壌

ムダ地区の水田が展開する海岸平野は、１万年前から始まったヴェルム氷期後の間氷期に、海面が80m程上昇することによりできた新しい海岸線に沿って、海成粘土土壌によって形成されたものと考えられている。田面標高は、海岸付近で1m、20km内陸部でも3.5m程度で、平均地形勾配は1万分の1ないし5千分の1と、極端に平坦な地形となっている[1)]。

水田土壌については、粘土含量50％以上の海成土壌が地区の70％を占めている[2)]（表１・１）。粘土鉱物は主に、乾燥湿潤による膨張収縮の大きいモンモリロナイト系からなっている[3)]。強い乾燥を受けると固結して、硬度は山中式硬度計で20mm以上になり、田面には幅５cmにもなる大亀裂が生じる。ヘアクラックは深度40cmを超えて認められる。このように乾燥しても、一旦浸潤されると、モンモリロナイト系粘土の特徴である、大きな膨張性とスレーキング現象で、やがてクラックは閉じ、土壌の透水性は著しく低下する（表１・２）。

以上のような低平な地形と、不透水性の重粘土からなる排水不良条件により、開田前のムダ地区の原植生は、虎が生息する、湿地性ジャングルとなっていた。開墾後の土地利用も、畑作には不向きであったが、水田作には、排水不良条件がかえって有利となり、100年以上にわたり、熱帯モンスーン気候の雨期と乾季を利用する、水稲単期作が続けられていた。

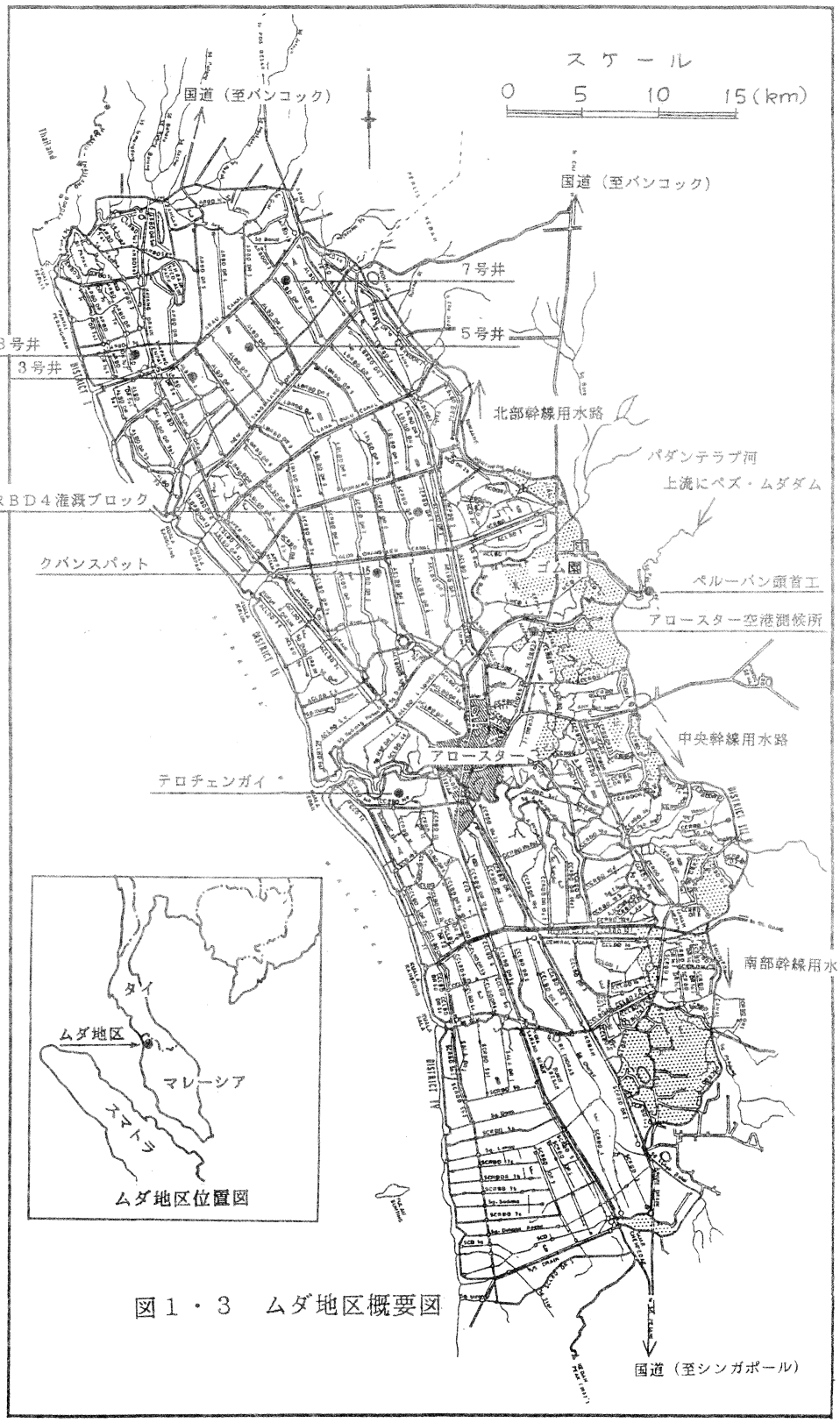

スケール
0 5 10 15(km)
国道（至バンコック）
国道（至バンコック）
7号井
5号井
8号井
3号井
北部幹線用水路
パダンテラブ河
上流にペズ・ムダダム
ACRBD4灌漑ブロック
クバンスパット
ゴム園
ペルーバン頭首工
アロースター空港測候所
中央幹線用水路
アロースター
テロチェンガイ
南部幹線用水路
タイ
ムダ地区
マレーシア
スマトラ
ムダ地区位置図
国道（至シンガポール）

図１・３　ムダ地区概要図

表1-1　ムダ地区の土性

土壌系統名	面積 (ha)	粒度分布 (%) 粘土	シルト	細砂	粗砂	土性
海成土壌	87,330					
クランジ(酸)	2,550	-	-	-	-	
クアラ ケダ	2,740	80	18	3	0	HC
テベンガウ	3,800	52	36	10	0	HC
カンコン	6,910	71	19	7	0	HC
クンドール	18,850	63	28	8	0	HC
チェンガイ	11,570	80	17	2	0	HC
セダカ	8,340	71	21	6	0	HC
ロタン	4,140	63	30	7	0	HC
クアラペルリス	1,500	75	22	6	0	HC
テロ(酸)	21,930	64	21	11	0	HC
グア(酸)	5,000	57	27	11	0	HC
河成土壌	37,210					
トアラン	21,150	65	25	8	0	HC
イドリス	3,060	61	25	11	0	HC
フータン	7,000	34	25	39	0	LiC
センブリン	6,000	49	25	27	1	HC
半海成土壌						
カンガー	2,270	56	24	20	1	HC

出典: Soo Swee Weng, Semi-detailed soil survey of the Kedah Perlis coastal plain, Department of Agriculture,1972.

(酸) 酸性土壌

表1・2　ムダ地区水田土壌の透水性[12)]

地点 番号	土 壌 系 統 名	透水係数 (cm/sec)	仮 比 重
1	クランジー	1×10^{-6}	0.74
13	クアラ ケダ	6×10^{-7}	1.17
2	セダカ	1×10^{-7}	1.40
15	〃	6×10^{-7}	1.50
10	チエンガイ	9×10^{-7}	1.12
11	〃	5×10^{-7}	1.03
16	〃	6×10^{-7}	1.48
3	テロ	7×10^{-6}	1.07
4	〃	2×10^{-6}	1.07
5	〃	8×10^{-6}	1.11
14	〃	5×10^{-7}	1.11
8	〃	2×10^{-6}	1.22
7	不明	1×10^{-7}	1.24
9	トアラン	7×10^{-7}	1.41
12	〃	6×10^{-6}	1.25
6	〃	6×10^{-6}	1.43

出典: Toru Kubota, Studies on physical properties of paddy soil in relation to soil bearing capacity, 1980.
透水係数は、深度1m以内の最小値。
仮比重は最小透水係数深度のもの。

1・3・2　気象

ムダ地区は、熱帯モンスーン気候帯に属する。地区のほぼ中央に位置する、アロースターにおける年平均気温は27.1℃で、最高月間平均気温は、4月の28.1℃、最低は、11月の 25.9℃となっている[4)]。雨量は年間2,143mmあり、12月から3月までが乾季、4月から11月までが雨期となっている。雨期のうち、5月と10月に、2つの降雨ピークが現われるのが、特徴である。

年間雨量は比較的安定しており、アロースター空港測候所の1947年から1982年までの観測データーによると、変動係数は12％に過ぎない。一方、月間雨量のバラツキは大きく、雨季の変動係数は40％、乾季は100％が目安となっている。後述するが、ム

表１・３．　アロースター空港測候所における雨量

（単位：㎜）

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
1947年	87	97	138	181	420	101	225	137	166	301	144	178	2145
48	59	78	134	194	56	83	220	331	221	374	131	18	1899
49	1	71	142	382	314	175	290	145	307	466	298	89	2680
50	35	112	97	267	343	80	376	241	325	336	250	43	2505
51	38	158	79	169	163	92	243	246	346	199	304	122	2159
52	40	95	250	293	326	150	116	103	178	317	297	114	2279
53	91	50	104	374	140	209	245	172	340	273	234	87	2319
54	171	32	151	260	117	144	297	225	315	294	106	16	2128
55	27	94	41	202	187	306	69	316	101	429	284	20	2076
56	48	70	147	169	324	204	145	299	330	325	160	89	2310
57	35	58	60	229	161	183	511	88	332	291	144	72	2164
58	21	104	81	82	250	187	72	192	235	273	230	0	1727
59	2	50	261	95	406	173	233	246	221	306	312	86	2391
60	32	12	201	165	263	242	298	238	431	135	200	32	2249
61	66	75	110	183	187	222	114	114	351	331	121	182	2056
62	10	1	131	182	213	128	258	301	145	433	152	35	1989
63	28	7	49	66	156	109	117	151	431	329	306	62	1811
64	3	2	0	208	214	65	315	113	298	154	351	73	1796
65	0	41	182	335	157	106	211	245	238	385	200	251	2351
66	59	157	193	128	312	247	186	246	212	254	141	193	2328
67	124	4	60	239	337	388	128	220	220	393	141	4	2258
68	0	33	95	117	217	200	250	128	301	227	44	39	1651
69	258	37	109	143	164	303	66	352	153	401	328	13	2327
70	38	0	121	169	296	156	315	282	291	425	189	94	2376
71	3	322	108	41	315	285	76	159	332	296	305	224	2466
72	0	83	26	220	121	103	119	228	633	317	339	99	2288
73	43	8	85	483	226	134	153	178	176	379	159	174	2198
74	51	9	96	268	439	152	141	344	587	186	243	9	2525
75	97	144	127	134	250	37	238	133	241	277	266	181	2125
76	0	35	134	212	315	172	258	130	337	403	188	61	2245
77	10	24	3	78	216	170	90	339	311	326	46	18	1631
78	44	1	170	134	211	306	246	147	236	244	130	54	1923
79	1	51	37	254	144	183	268	211	179	138	295	3	1764
80	0	25	142	134	368	124	182	273	274	230	241	138	2131
81	0	61	57	381	182	53	141	42	161	160	152	35	1425
82	0	42	104	462	307	127	323	175	318	296	264	45	2463
平均	42	62	112	212	245	169	209	208	285	303	213	82	2142
変動係数	128	100	54	51	38	47	47	39	39	29	40	83	12

変動係数：％

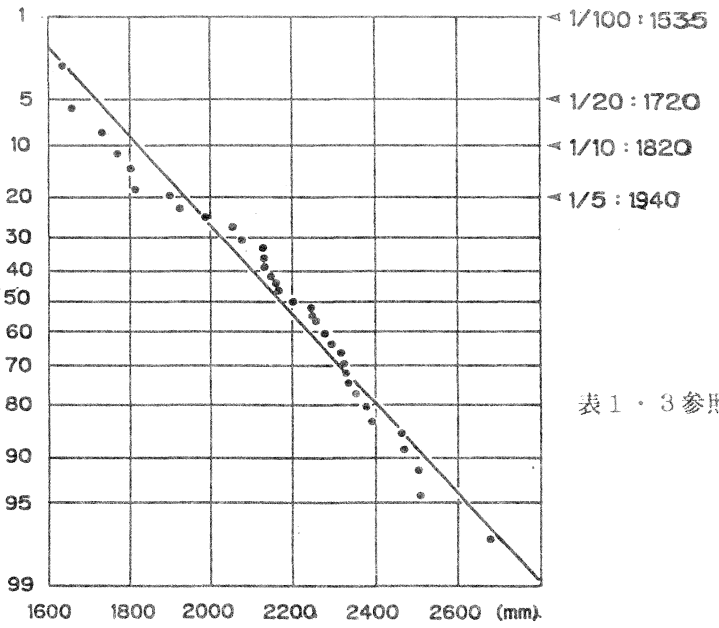


表１・３参照

図１・４　アロースター空港測候所の確率雨量（1947~1982）

ダ地区の用水計画では、用水量の57.3％を、このように不安定な降雨に頼っており、用水不足問題を高じている。

この雨量データーから得られる確率雨量は、５年確率で1,940mm、10年確率で1,820mm、100年確率で1,535mmとなる（図１・４）。

１・３・３　圃場施設

1979年に、15年計画の第２次基盤整備事業（Tertiary development：通称ムダⅡプロジェクト）が着工するまでの圃場施設は、1966年から1970年にかけて実施された、ムダⅠプロジェクトにより造成されたものである。その総事業費はＭ＄245百万(1974年時点)で、マレーシアの消費者物価指数[6]を用いて、1983年価格にスライドアップすると、単位面積当り事業費は、Ｍ＄4,972／haとなる。およそ、50万円／haである。日本の圃場整備費の標準1千万円／haと比べると、20分の1にすぎない。

ムダⅠプロジェクトにより造成された主要な構造物は、次のとおりである（図１・３および１・５参照）。

１）　貯水池

地区の主要な潅漑用水源となっているムダ河は、ムダ地区とは流域を異にし、ムダ地区の中心部から、南方約100kmに河口を持っている。ムダ河上流部に建設されたムダダムは、集水面積987km²、貯水量1.2億m³、高さ32mのコンクリート製バットレスダ

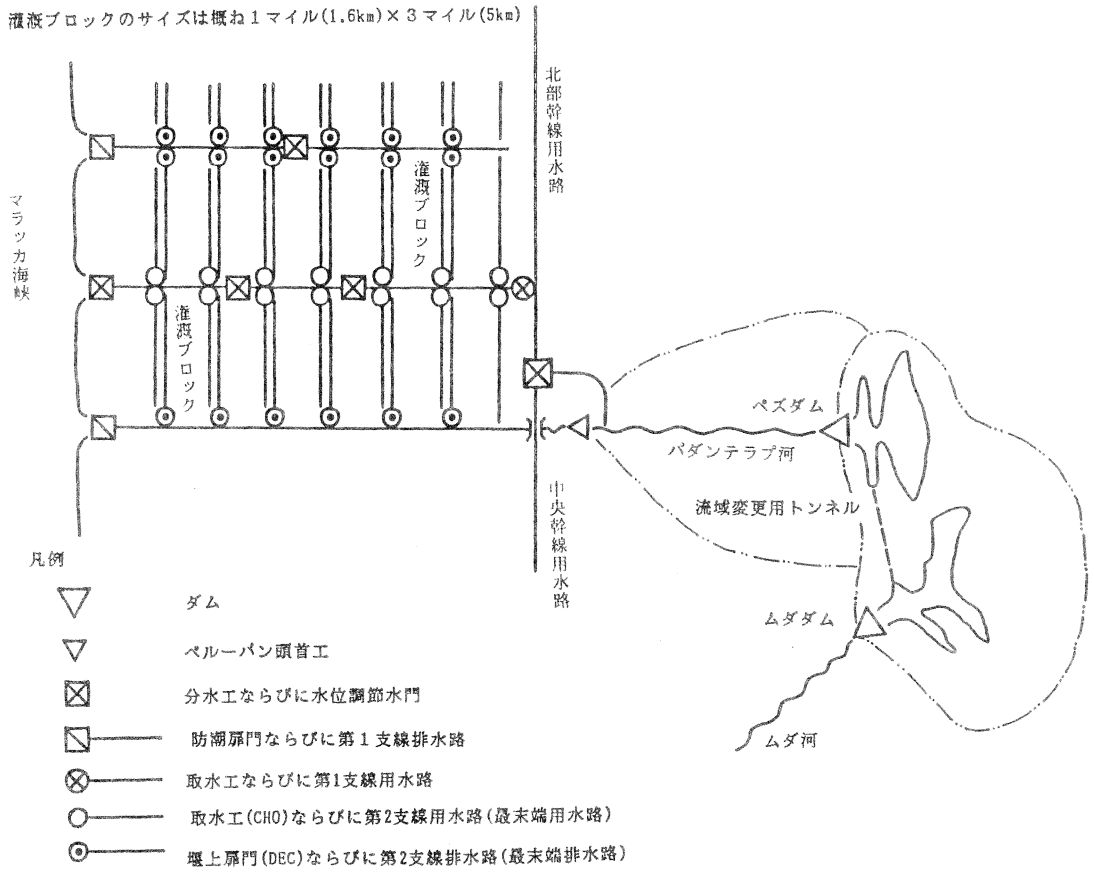


図１・５　ムダＩプロジェクトにおける用排水系統概念図

ムである。ムダダムにより堰き止められた水は、直径4.57m、通水能力35m³/s、延長6,600mのトンネルにより、ムダ地区中心部に河口をもつパダンテラプ河水系に流域変更され、ペズダムに貯溜される。ペズダムは、高さ60mのロックフィルダムで、集水面積は171km²と小さいが、8.6億m³の大きな貯水量を誇っている。このダムから、合計140m³/sの放水能力をもつ、２基のホロージェットバルブを通じて、用水はパダンテラプ河を60km流下し、ペルーバン頭首工に至る[13]。

２）　用排水路網

地区の東側に沿って、頭首工からつながる延長約100kmの幹線用水路が走っている。合計最大取水量は140m³/sである。この導水路は、ムダＩプロジェクトにより新設されたもので、最大設計断面は、底幅17m、水深4mである[14]。幹線用水路からは、西に向かって、第１支線用水路が分岐し、マラッカ海峡に至る。第１支線用水路の間隔は約10kmで、その中間に、第1支線排水路が平行に走っている。

これらの用排水路の多くは、100年ほど前から、貴族支配階層によって実施された、開田事業に際して開さくされたもので、本来は、舟運用の運河として利用されていたものを、用排水路に転用したものである。現在では、水路沿いに、２車線のアスファルト簡易舗装道路が造成され、運河としての利用はみられなくなったが、水位調節水門には、今でも、舟運用の水こうが設けられており、当時の姿をとどめている。

第１支線用排水路からは、標準1.6km間隔に、第２支線用排水路が、魚骨状に分岐している。かなりの数の第２支線用排水路も、開拓時代に、運河として開さくされたものである。水路幅は10ないし15m程度、深さは1.5m、田面から水路底までは１ｍ位である。計画流量は、48エーカー/cusec(48エーカー当たり毎秒１立方フィート）を基準にしている。メートル法に換算すると、１日当たり12.6mm、又は、1.5 l/sec/haとなる。水路断面は、土工の切り盛りのバランスから決められたため、流量に対して、大幅な過大断面になっている。後述する研究対象の潅漑ブロックでは、計画の２倍に当たる、25mmの取水量を記録したケースがあった（付表１参照）。

第２支線用水路と第２支線排水路に挟まれた水田を、潅漑ブロックと呼び、水管理の基本単位となっている。潅漑ブロックの名称は、それを支配する第２支線用水路名を用いている。一般に、第２支線用排水路は、両者共、片側支配となっているため、上流から、第２支線排水路、農道、ならびに、下流潅漑ブロックの第２支線用水路が１セットになって、標準1.6km間隔に配置される形になる。

３）　道路網

水稲二期作のもとでは、第１作の収穫は雨期に行なわれるようになるため、時機を逃さず、収穫したモミを乾燥することが、重要な課題となる。そこで、モミ乾燥施設と水田とを結ぶ、道路網の整備が重視される。

ムダ地区の基幹道路は、２車線（一部４車線）をもつ、アスファルト舗装の本格的なもので、地区を南北に縦断する国道である。これと直角に交わる形で、第１支線用排水路沿いに、２車線のアスファルト簡易舗装道路が、ムダＩプロジェクトの関連事業として整備された。それ以前には、前述の運河を使って、ボートによる交通運搬が行なわれていた。この道路からは、さらに、標準1.6km間隔に、第２支線用排水路に左右を挟まれる形で、幅員３ｍの農道が分岐している。農道は、第２支線用排水路の掘削土の盛り土の上に、ラテライト質土を約10cm厚に敷いただけのもので、雨期の収穫期には、モミ搬出用トラックの車輪による損傷が甚だしく、交通運搬は著しく妨げられる。農道から水田への連絡は、約1.6km間隔にしか配置されていないカルバート、又は、橋によっており、かなり不便である。

１・３・４　栽培、経営形態

ムダ地区の水田面積95,855haに対して、農家戸数は6万戸といわれているので、平

均経営面積は1.6haとなる。経営形態の内容は、自作農37％、小作農35％、自小作28％となっており[15]、個別農家による自立経営が主体となっている。

栽培体系は、低い基盤整備水準のもとで、深水や雑草抑制に適応性の高い、移植栽培が主流を占めていたが、最近、省力効果の大きい直播栽培が普及し始めた。本研究では、移植栽培を基準にした作付け体系を対象としているが、将来は、直播栽培を対象とした研究を計画する必要があろう。

作業体系については、耕うん作業がいち早く機械化された。二期作が初めて導入された1970年時点で、ＭＡＤＡの下部組織であるＦＡ (Farmers' Association)や、農作業請負業者が所有する形で、60ないし70馬力の大型トラクタが、急速に普及した。ところが、強力な大型トラクタによる耕盤破壊により、著しい地耐力低下を来し、動力耕うん機がこれにとって替った。その後、小型４輪トラクタが徐々に入り始め、現在では、30馬力クラスのトラクタによるロータリー耕が、耕うん作業の主役を演じている。収穫作業は、二期作導入当初は手刈であったが、1978年頃から、刈り幅４m程度の普通形コンバインが入り始め、1981年には、90％以上の水田の収穫作業が機械化されている。現在、地区内で稼働しているコンバインの台数は、約350台にのぼっている。移植作業は現在でも人力で行なわれ、シーズンを通じて、ここに最大の労働ピークが発生する。

このように、農作業の機械化が進行し、その走行基盤としての水田地耐力と、圃場内移動を容易にする、農道の重要性が高まっている。また、移植期の労働不足の対応策として、前記のように、精密な水深調節を必要とする直播栽培導入の志向が、最近、農民の間に広がりつつある。このような背景のもとに、水管理合理化、特に、排水改良の要求が高まっている。

農家の経営状況を1981年時点のデーターで見ると、次のようになる。モミ収量は3.758 t／ha[7]、平均売渡価格は１ピクル (60.5kg)あたりM$28.21[8](モミ)、租税、地代などを除いた純生産コストはＭ＄938.54[9]となり、M$813／haの農業所得が上がっていることになる。経営面積1.6ha、年２回作の農家の農業収入は、M$2,602と算出できる。ＭＡＤＡの職種の中で最も給与の低い用務員(Care taker)の月給が、M$250(年収M$3,000)となるが、ムダ地区の平均的農家の農業所得は、これをも下回っている。マレーシア政府は、行政上、世帯当り月収 M$ 300を、貧困ライン(Poverty line)と定めているが、農民の67％[10]を占めるマレー人のうち、65％がこの貧困ラインを下回っている[11]という実情が、ここにもうかがえる。この救済策として、政府は、１ピクルあたりM$10という、極めて高額の補助金を、農民に交付している。

１・３・５　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロック

本研究に必要な、詳しい情報を得るための調査試験地として、ＭＡＤＡが、ムダⅡ

プロジェクトのパイロット地区としており、従って、ＭＡＤＡの協力を得易い、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックを選定した。前述のように、潅漑ブロックの名称は、それを支配する第２支線用水路名をとっているが、その水路名は、上位水路であるアローチャンギレー（Ⓐlor　Ⓒhangileh）第１支線用水路の、右岸（Ⓡight　Ⓑank）、上流から④番目の第２次支線用水路（Ⓓistributary)ということから、命名されている。これと農道を隔てて、平行に走っている第２支線排水路の名称は、用水路を表わすＤが、排水路を表わすＤＲ（Drainage)に替わり、ＡＣＲＢＤＲ４となる。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックを支配する第２支線排水路は、1.5km西方を走っているＡＣＲＢＤＲ５である。

ムダ地区を構成する110の潅漑ブロックの、詳しいデーターがないため、ムダ地区における本ブロックの位置付けは難しいが、土壌が地区内最大の土壌系統であるテロ系重粘土（表１・１）である事、地区内水田に共通な極端に平坦な地形（図１・６）である事、第２支線用排水路の配置間隔が1.5 kmとほぼ標準的である事などから、特異なブロックであるとは考えられない。

１）　地形

ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの地形は図１・６のようである。図示した等高線からは、かなり複雑な地形のように思われるが、これはピッチを20cmとしたためで、実際に圃場で眺めただけでは、ほとんど地形の変化は識別できない。田面標高は、2ｍから、3ｍまでの差があるが、ブロックの全面積761ha(水田面積は731ha)のうちの76％が、2.4mから2.8mまでの40cmの間に収まってしまう(表1･4)という、極端に平坦な地形である。

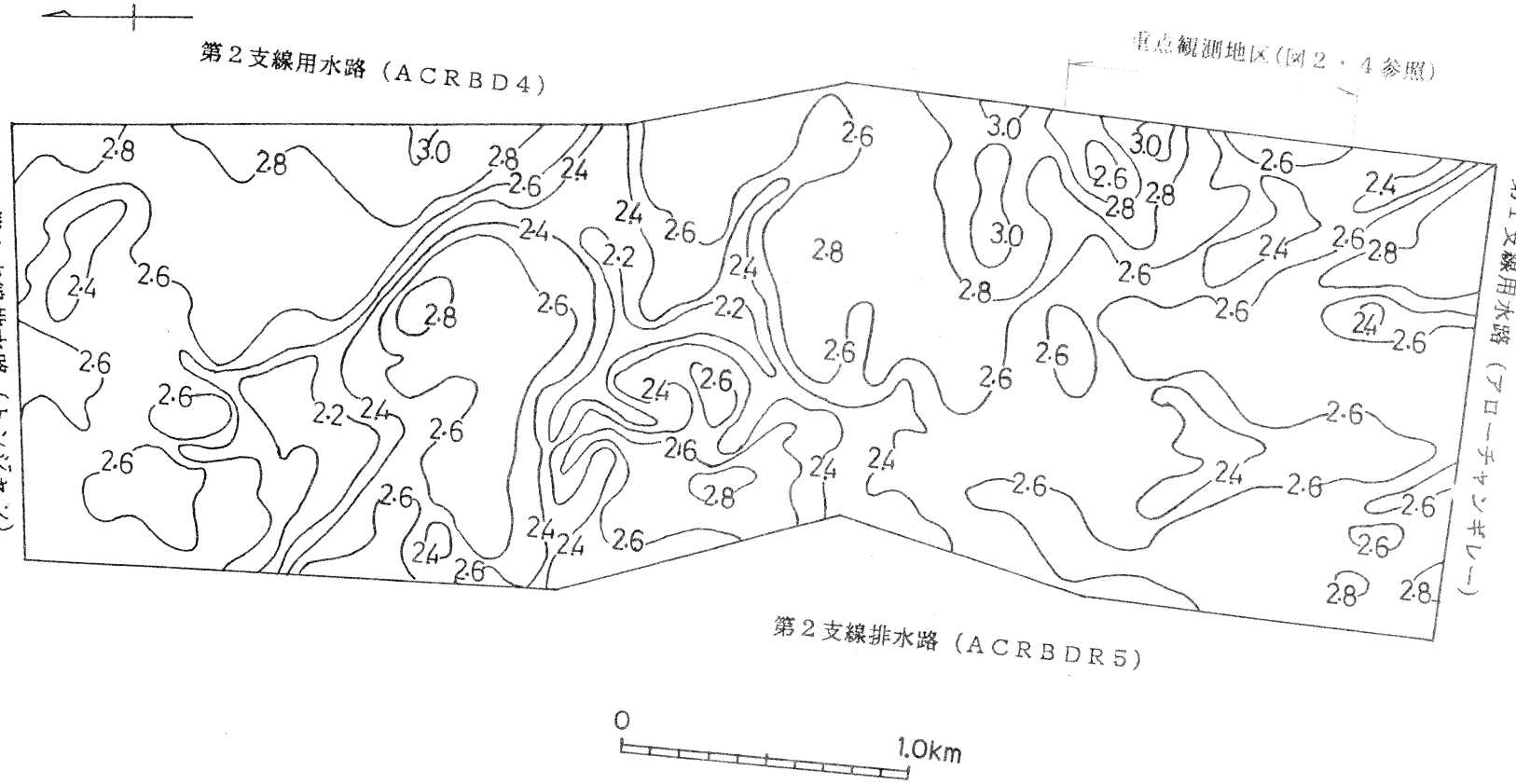
２）　気象

ムダ地区内の雨量分布は、南西から北東に向かって減少する傾向にある[5]。アロースター北方約20kmにあるＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックでも、調査期間中の観測雨量に、そのような傾向を見ることができる。即ち、筆者が観測した1979年から1983年までの雨量を、アロースター空港測候所のデーターと比べてみると、いずれの年も、85％から95％の間で低くなっている（表１・５）。

直径120cmの円形蒸発計を用いて、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックで観測した年間計器蒸発量は、1979年から5年間の平均値で1,938mmであった。その間の平均日蒸発量は5.3mmで、月別では、3月に7.3mmと最高になり、11月に4.2mmと、最低となる（表１・６）。

３）　水田区画

ムダ地区の水田区画（図２・３参照）は、開拓時に区画された登記区画(Registration lot)を、そのまま踏襲している。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックには、360の登記区



標高の単位はｍ

（土持・大和田の測量による。1979年）

図１・６　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックの地形

画があり、その平均長辺長は330m(228~494m)、短辺長は61m(47~108m)、面積は2.0haとなる。登記区画は、耕作権や農作業の便宜のため、さらに、平均面積0.7haの、1,145の耕区に分割されている[16]。山下の調査によれば、１登記区画を１人で耕作しているケースは67.8%、２人で耕作しているケースは19.2%となっており[17]、登記区画をほぼ経営単位とみることができる。

表 1･4 ACRBD4潅漑ブロックの高度別面積区分

高度(m)	比率(%)
2.0-2.2	3.3
2.2-2.4	11.2
2.4-2.6	33.1
2.6-2.8	42.6
2.8-3.0	9.0
3.0以上	0.8

図 1･4 参照

4)　圃場施設

ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロック内の圃場施設の内容は、図１・７のようになっている。このブロックは、南北に長い1.5km×5kmの長方形をしており、南側の短辺にはアローチャンギレー第１支線用水路が、また北側の短辺にはトンジャン第１支線排水路が走っている。この両者に沿って、ムダＩプロジェクトの関連事業として、公共事業局により建設された、アスファルト舗装２車線道路が併走している。

第１支線用水路からは、ＣＨＯ (Constant Head Olifice) と呼ばれる取水工を介して、第２支線用水路が分岐している。前述のように、計画取水量は12.6mm／日となっている。水田面積731haに対する計画流量は、1.07m^3/sとなる。しかし、その断面

表１．５　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける降雨量

(単位:mm)

月　年	1979	1980	1981	1982	1983	平均	変動係数(%)
1	0.5	0.0	1.0	0.0	7.5	1.8	179.5
2	13.0	12.5	60.0	23.0	4.5	22.6	97.0
3	18.0	82.5	73.0	28.0	58.0	51.9	54.0
4	180.5	118.0	263.5	264.5	37.0	172.7	56.5
5	189.0	240.5	188.5	277.0	164.0	211.8	21.7
6	143.5	116.5	70.0	139.0	148.0	123.4	26.1
7	271.0	165.0	221.5	318.0	190.0	233.1	26.5
8	213.0	280.5	15.5	164.5	300.5	194.8	58.5
9	200.0	293.0	125.5	201.5	446.5	253.3	48.7
10	160.5	223.0	107.5	275.5	315.5	216.4	38.9
11	270.0	182.0	145.0	326.5	220.5	228.8	31.3
12	14.5	187.0	26.0	71.5	129.0	85.6	84.6
計	1,673.5	1,900.5	1,297.0	2,089.0	2,021.0	1,796.2	17.9

アロースター空港測候所の雨量(表1･3)をＸmm ACRBD4灌漑ブロックの雨量をYmmとすると、次の 回帰式が成立する。

Y=0.747X+286　(r=0.986)

表１・６　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける計器蒸発量

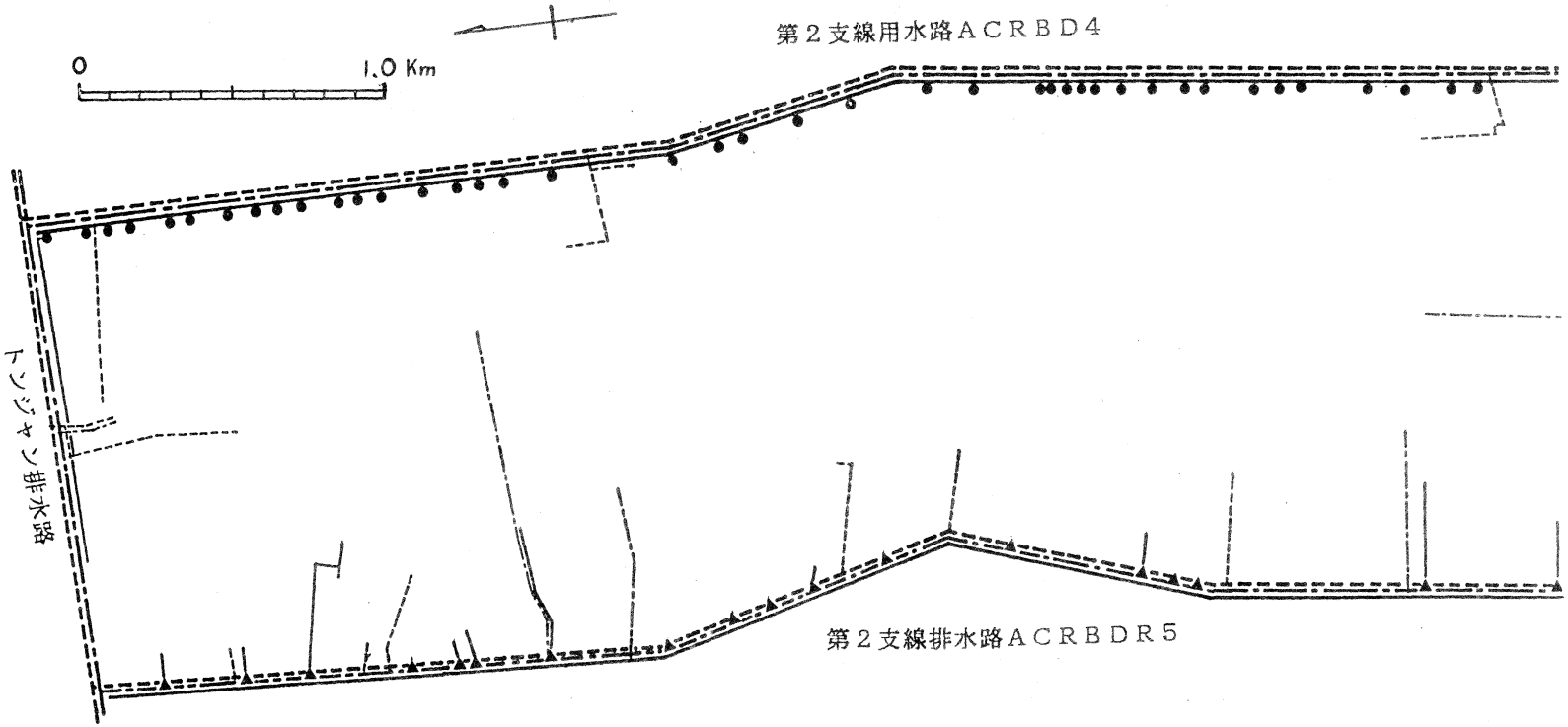
（単位：mm）

月　年	1979	1980	1981	1982	1983	平均	日平均	変動係数
1	240.2	197.7	192.2	203.9	181.0	203.0	6.5	11.1(%)
2	221.6	280.1	187.0	188.0	194.0	199.7	7.1	7.4
3	238.2	201.4*	244.7	225.3	223.4	226.6	7.3	7.3
4	180.6	200.7*	169.0	175.1	188.9	182.9	6.1	6.8
5	164.9	173.3	160.3	157.8	-	164.1	5.3	4.2
6	130.7	126.9	152.0	151.2	-	140.2	4.7	9.5
7	113.5	150.0	146.8	137.0	134.9	136.4	4.4	10.5
8	152.6	103.7*	163.1	132.6	124.5	135.3	4.4	17.3
9	136.2	142.6	144.9	115.8	112.1	130.3	4.3	11.8
10	144.8	127.8	167.9	125.0	130.9	139.3	4.5	12.7
11	128.3	134.8	116.0	111.8	143.3	126.8	4.2	10.3
12	195.7	149.6	169.2	127.6	123.5	153.1	4.9	19.6
計	2,047.3	1,916.6	2,013.1	1,851.1	-	1,937.7	5.3	4.6

＊：欠測日があるため有効日の日平均値に月間日数を乗じて算出
－：欠測日が多く没。

は、土工の切り盛りバランスで決められているので、水理的には著しい過大断面になっている。水路というよりは、クリークに近いといえる。約５kmの延長を持つ第２支線用水路の提塘上42ヵ所に埋設された、簡単なバタフライ弁つきの径15cmのヒューム管を通じて、圃場への給水が行なわれている。パイプ１ヵ所あたりで、17haの水田への給水を受け持っていることになる。

第２支線用水路から、1.5km隔った第２支線排水路との間には、南北端に圃場用排水路があるのみで、用水は田越に送水される。地区内には図１・６に示すようなわずかに低い窪地が連続的に横たわり、1.5kmにもわたる長距離田越潅漑による送水を妨げている。このため、第２支線排水路ＡＣＲＢＤＲ５沿を中心に、潅漑用水の到達が困難な水田が多く見られる。この解決策として、下流隣接潅漑ブロック用の第２支線用水路ＡＣＲＢＤ５から、第２支線排水路と幅員３mの農道を、コンクリート管で横断し、逆方向から取水する、バックイリゲーションと呼ばれる潅漑が行なわれている。研究対象ブロックでは、18ヵ所でバックイリゲーションが行なわれていた。このパイプに連続する形で14路線、2.0kmの小用水路が農民の手で造成されている。



凡例

- フィーダーパイプ(42本)
- バックイリゲーションパイプ(17カ所)
- 用水路(19路線，5,150m)
- 排水路(15路線，3,828m)
- 農　道(4路線，2,208m)

図１・７　ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの圃場施設（土持・大和田、1978）

部分的な湛水排除を目的として、農民が造成した小排水路が15路線、3.8kmが認められる。これらの小排水路は、主として、ブロック西側長辺沿いの第２支線排水路に排除されているが、東側の上流潅漑ブロック用の第２支線排水路ＡＣＲＢＤＲ４に、パイプを用いて逆流させているケースが３ヵ所、北側のトンジャン第１支線排水路に、直接排除しているケースが１ヵ所見られる。第２支線排水路は、ＤＥＣ (Drainaige End Control)を介して、第１支線排水路とつながっている。潅漑期間中、漏水を防ぎ、潅漑用水を節約するため、通常、ＤＥＣは閉じられている。

第２支線用排水路沿いには、ラテライトを10cm厚程敷いた、有効幅員３mの農道が併設されている。ブロック内には、さらに幅員の狭い耕作道が４路線、2.2kmが農民の手により造成されている。農道が整備されていない圃場内では、登記区画を取り囲む、天端幅約50cmの畦畔が、運搬通耕に重要な役割を演じている。

第２支線用排水路、並びに、それらにそって併設されている農道、ＣＨＯ、ＤＥＣはＭＡＤＡが管理している。それ以下の圃場施設は、農民の管理下に置かれているが、組織的な管理体制は、整っていない。

引用文献

1) MADA:Feasibirity Report on Tertiary Irrigation Facilities for Intensive Agricultural Development in the Muda Irrigation Scheme Malaysia, Part I, Volume 1, Annex 1-p.1, Annex 2-p.1, 1977.

2) Soo Swee Weng:Semi-deteiled Soil Survey of the Kedah/Perlis Coastal Plain, Department of Agriculture, 1972.

3) Keizaburo Kawaguchi & Kazutake Kyuma : Lowland Rice Soil in Malaya.

4) 熱研:東南アジア農業における環境条件に関する調査研究、p.48-49、熱帯農業技術叢書 第9号、1973

5) 前出 1)、Annex 2, Fig. 4a.

6) Bank Negara Malaysia , Monthly Statistical Supplement, p.50, 1983.

7) MADA: Laupran Penyiasatan Pengeluaran Padi (Hasil), Musim luar 1982, p.15.

8) MADA: Lapuran Banci Harga Padi, Musim Luar 1982, p.2.

9) MADA: Lapuran Banci Kos Pengeluaran Padi, Musim Luar 1981, p.3.

10) Department of Statistic: Population Sensus of Malaysia 1980, p.136.

11) Selvadurai S: Agriculture in Peninsular, Ministry of Agriculture, 1978.

12) T. Kubota : Studies on physical propaties of paddy soil in relation to soil bearing capacity, p.8,10,15, 1980.

13) DID: Muda Irrigation Project - Technical description and summary of engineering data, 1966.
14)前出 13)
15)前出 1)、 Annex 3, p.1.
16) 土持守、大和田貫也:マレーシア・ムダ地区の水稲二期作の実態と末端基盤の問題点、農土誌 47(11)、 p.32、1979.
17) M. Yamasita:Farm management studies, MADA-TARC cooperative study, Pilot Project ACRBD4 Muda Irrigation Scheme, p.13, Tech. Bull. Trop. Agr. Res. Centre, No.14,熱研、1981.

第２章　ムダ地区の水稲二期作の水収支

本章では、ムダ地区の水田水収支を明らかにし、計画用水量と比較することにより、地区の水稲二期作の最大の不安定要因となっている用水不足の原因、ならびに、その対策を考察する。

極端に平坦で、重粘土質からなるムダ地区で行なわれている、標準1.6kmの超長距離田越灌漑では、人為的な水管理は難しく、栽培管理用水は発生せず、滲透漏水量は最小限に止まり、極めて節水的な水利用が期待出来るものと、当初は予想していた。ところが、このように平坦な地形では、わずかな微地形が、灌漑進捗を著しく妨げる。乾期中の強い乾燥で、田面・畦畔には、大亀裂が入り、漏水が生じる。水管理、及び、適期農作業の困難性から、本田灌漑期間が必要以上に長期化する。などの理由から、用水損失が意外に多いという、超長距離田越灌漑における、水収支の特徴が明らかとなった。

２・１　水稲二期作の作期

季節的に降雨分布が偏っている熱帯モンスーン地帯では、作期のとりかたによって、水田水収支に大きな影響が及ぶと考えられる。即ち、短期品種の導入や適期適作業による作期遅延防止、ならびに、灌漑期間の短縮、また、年間の降雨分布を考慮した作期の選定などによって、灌漑用水量を節減することができるはずである。また逆に、用水不足に対応するため、降雨の有効利用に重点を置くあまり、作付け開始を意識的に遅らせ、本来在るべき作期が著しくゆがめられたものになるケースも考えられる。

本節では、ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックの水収支を検討するにあたり、先ず、本ブロックにおける作期の現状を明らかにする。

二期作の作期の名称は、計画書では、短期作当時の８月から１月までの作期を雨期作 (Rain season crop)または表作(Main season crop)、二期作化事業により導入された新しい作期を乾季作(Dry season crop)、または、裏作(Off season crop)と呼んでいるが、実際には作期の大幅な遅延により、これらの呼び方が紛らわしくなってきた。そこで最近は、年があけて最初に作付けし、雨期までに (10月頃)収穫する作期を第１作(First crop)、乾季に収穫する作期を第2作(Second crop)と呼んでいる。年があけて最初の作付けでも、作業が遅れて、乾季(12月以降)に収穫する作期は第２作と呼ぶ。

作期や、水収支を検討する際の便宜のため、作期の内部を図２・１のように細分類する。作期は、灌漑開始から収穫完了までとする。これを移植を境に、前期を栽培準備期間、後期を本田水稲栽培期間とする。

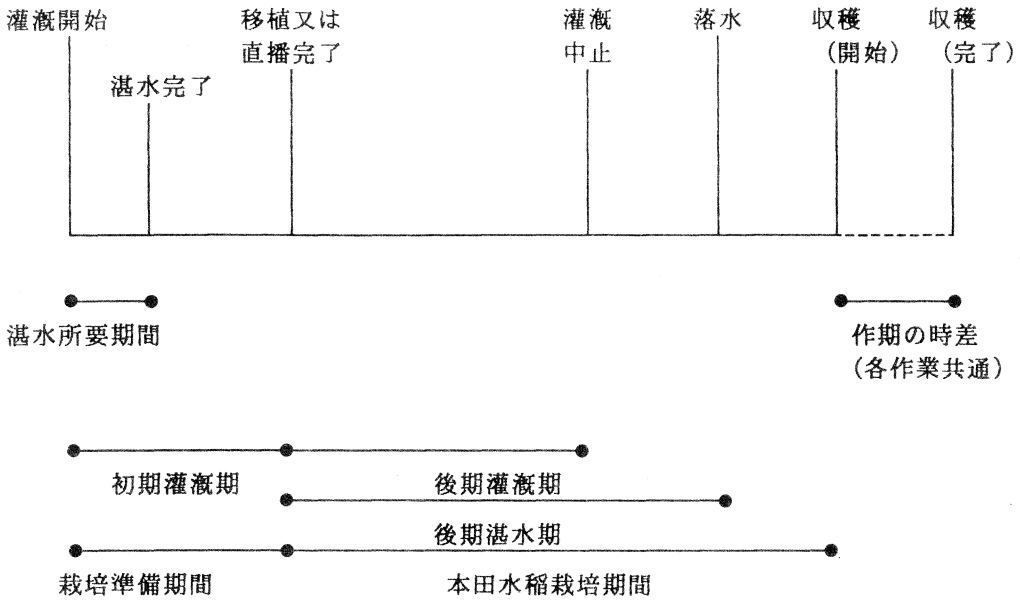


図２・１　作期の名称

栽培準備期間は、土壌浸潤・耕うん・代掻き・育苗のための期間で、現地ではPre-saturation period、即ち、初期潅漑期と呼んでいる。ところが、潅漑開始から湛水が完了するまでの期間にも、現地では同じPresaturation periodをあてており、紛らわしいので、ここでは、これを湛水所要期間と呼び、区別することとする。ムダⅠプロジェクトの整備段階では、水路密度が著しく低く、苗代と本田との給水を分離できない[2]ため、初期潅漑期のなかに苗代も含めた形で扱うこととする。ムダⅡプロジェクトにより、末端用水路を整備し、苗代と本田との給水分離が可能となれば、本田に対する初期潅漑期のほかに、苗代潅漑期間を設ける必要がある。その場合の苗代潅漑期間は、苗代準備期間と育苗期間とに細区分することとなる。

本田水稲栽培期間のうち、コンバインによる収穫作業に備えて、収穫10日前位に落水し、水田の乾燥を図るが、移植からこの落水までの期間を後期湛水期とよぶ。また、落水10日前くらいには潅漑を止めても良いわけで、移植からこの潅漑中止までの期間を後期潅漑期とよぶ。

ある面積を持った地域において、潅漑或いは農作業を始めて、終わるまでには、時間を要する。これを作期の時差と呼ぶことにする。

２・１・１調査方法

調査対象地区ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックを８つのセクションに分割し、各セクションに１人づつ観測員を配置した。観測員には、ほぼ５日毎に受け持ちのセクションをくま無く歩かせ、6,336分の１の区画配置図に潅漑・移植・収穫の進捗状況をプロットさせた。

第１作の収穫直後に行なわれる第２作の初期潅漑は、この時期が雨期に当り、排水条件が悪いこともあって、かなりの面積が前作期から引き続き湛水状態にあること、収穫後の田面に、コンバインで高刈された稲が依然として立毛し、更にその上を排ワラが覆っており、水面の確認が著しく困難なため、調査対象外とした。

２・１・２　調査結果

調査結果は図２・２のようになった。

２・１・３　潅漑ブロック内の作期

1979年から３カ年の平均実行作期（実際の作期）は、第1作が3月15日から9月28日までの199日、第2作が9月27日から3月17日までの172日間となった（表２・１）。計画上の作期は、前述のように、第1作が2月から7月、第2作が8月から1月となっているが、これは、降雨の比較的少ない6月～7月に、第1作の収穫作業を済ますことを考慮したものである。ところが、実際の作期を見ると、9～10月の雨期最盛期に収穫期があたっていることがわかる。

雨期の収穫には、種々の困難が伴う。収穫期を迎えた稲は、施肥の効果で穂が重く、腰が弱くなっているため、強風を伴う熱帯のスコールにより、容易に倒伏するとともに、水田土壌の十分な乾燥ができず、低い地耐力のもとでのコンバインの作業を困難にしている。雨天が続き、収穫が遅れ、穂発芽に至ることもある。雨期に収穫したモミは、含水率が高いため、未乾燥で袋詰めのまま１日以上放置することはできない[30]。しかし、農道は無舗装の土道であるため、雨期には泥ねい化し、路面には大穴があき、モミの搬出には困難をきわめる。ムダ地区内に約400ある民間のライスミルは、水分を多量に含み、泥で汚れたモミの買取を渋るため、無制限買取を義務付けられている地区内17カ所の米穀公社のライスミルにモミが集中する。水分が多いため、乾燥に時間がかかり、ライスミルの門前には、モミを満載したトラックが長蛇の列をなす。何日も待たされ、トラックの荷台の上で、モミが腐りだすこともある。以上のような不都合が多発するため、作期計画の際は、雨季最盛期の収穫は極力避けるべきである。

７月までに終わるべき第１作の収穫作業が、実際には９月一杯までかかってしまうのは、潅漑用水が不足するため、第１作の初期潅漑開始日が遅れること、農道や作業

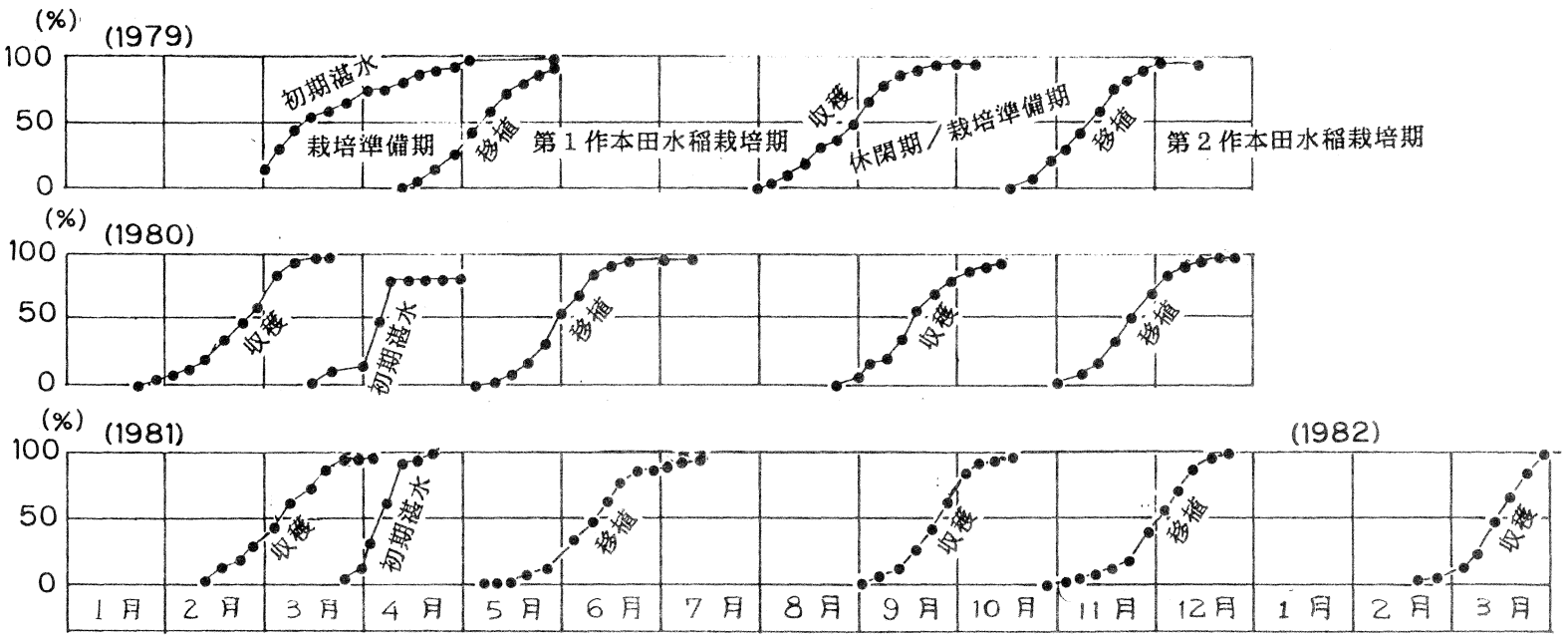


図２・２　ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける作期

表２・１　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける実行作期

作　　期	日　　数	期　　間
1979年　第1作	199日	3月 1日 - 9月15日
第2作	173	9月15日 - 3月 5日
1980年　第1作	205	3月15日 - 10月 5日
第2作	172	9月30日 - 3月20日
1981年　第1作	192	3月28日 - 10月 5日
第2作	171	10月 6日 - 3月25日
平均　第1作	199	3月15日 - 9月28日
第2作	172	9月27日 - 3月17日

作期：　灌漑開始から、収穫進捗90％日まで。
但し、第2作については、移植進捗10％日の40日前(苗代準備期間15日、育苗期間25日)を作期の始期とする。
図２・２より算出

手段の不足から、作業適期を逃してしまうこと、生育日数のながい品種が好んで栽培されることなどから、作期が長期化することによる。

第１作の作期の遅れは、必然的に第２作の作期の遅れにつながる。第２作の収穫が終わるのは、乾季の終わりに近い３月下旬である。その頃には、第１作の初期潅漑が始まっている。結局、ムダ地区では、年間通じて切目無く稲を栽培するという作期の周年化を来している。感光性品種を栽培していた短期作当時は、１月中旬までに収穫を終わり、雨が降り始める４月まで、水田はカラカラに乾き、稲や雑草は枯れてしまい、病菌や害虫はここでライフサイクルを断たれていた。ところが、このような周年栽培のもとで、乾季にも緑が絶えない環境は、病害虫の繁殖には極めて好都合であり、病虫害の激発を招く一因となった。

作期の時差は、第1作が45日、第2作が35日程度になっている（表2･2）。この作期の時差は、移植作業によって決まると考えてよい。移植は人力作業で行なわれている。1979年に筆者が調査したところでは、労働力の内訳は、デラウと呼ばれる労働交換制共同作業によるものが56％、雇用労力が16％であった。ムダ地区の移植作業は、共同作業により、比較的短期間に一斉に行なうのが特徴である。収穫作業の時差は、非感光性の二期作用品種を使っているため、移植が決まれば自ずから決まることとなる。

表２・２　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける作期の時差

	移植		収穫	
	日数	期間	日数	期間
1979年 第1作	39日	4月20日 - 5月29日	37日	8月 9日 - 9月15日
第2作	31	10月25日 - 11月25日	28	2月 5日 - 3月 5日
1980年 第1作	31	5月15日 - 6月15日	34	9月 1日 - 10月 5日
第2作	32	11月 8日 - 12月 9日	33	2月15日 - 3月20日
1981年 第1作	43	5月20日 - 7月 2日	25	9月10日 - 10月 5日
第2作	25	11月15日 - 12月10日	24	3月 1日 - 3月25日
平均 第1作	38	5月 8日 - 6月15日	32	8月27日 - 9月28日
第2作	29	11月 6日 - 12月 5日	28	2月16日 - 3月17日

註：各作業の期間は図２・２の進捗率10%から90%までをとり、極端に早いもの並びに極端に遅いものを省き、中央80%の時差をとった。ブロック全体の標準時差は、平均値を80%で除した次の日数となる。

移植　第1作　48日
　　第2作　36日
収穫　第1作　40日
　　第2作　35日

２・１・４　標準耕区内の作期

図２・１に示した各作業の進捗率50％日をとってゆくと、潅漑ブロック内の平均的な作期が得られる。これを標準耕区における作期と呼ぶことにする。

田面湛水後、移植までの本田初期潅漑期は57日となっていた(表２・３)。本田初期潅漑期は、本来、本田の耕うん整地に必要な日数である。その適正日数は、15日程度と考えられる。即ち、移植15日前に湛水し、その1週間後、強度の乾燥で固結した土を膨軟にして、第１回の耕うんを行ない、更に１週間、土塊を水に浸潤して、２回目の耕うんを行ない、植え床を作る。２日ほどして、泥が落ち着くのを待って、移植作業に入る[2]。実際には、この適正初期潅漑期間よりも、42日間も長くなっている。後述するが、この期間中、11mm（表２・１３）の日減水深があるので、480mmもの用水が無駄に消費されている計算になる。ムダ地区が直面している深刻な潅漑用水不足には、この初期潅漑期の長期化が、大きな関わりを持っていることは疑いない。

このような初期潅漑期の長期化には、末端圃場施設の未整備が、大きく影響してい

るように思われる。圃場水管理の困難性により、深水条件下で移植作業が行なわれるため、農民は草丈40cm以上もある苗を、7～10cm程度に深植えをし、苗の浮き上がりと水没を防いでおり、苗齢40日くらいの大苗が必要となってくる[3]。

移植用の苗は、径25cm、重量8～10kgの束にする。移植前日、10aあたり20束の割合で本田にばら撒くのであるが、大苗のため重量がかさみ、この運搬が大変な重労働になる[4]。例えば、潅漑ブロック中央部に水田を持つ農民が、水利の便を考えて、第2支線用水路際に土地を借り、苗代を作るケースを想定する。移植に先立ち、農民は苗を本田まで運搬しなければならない。農道が整備されていないため、天秤棒の両端に10kg近い重量の苗を2束ぶらさげて、肩に担ぎ、幅50cm程の畦畔を伝って、徒歩で運搬することになる。1回の歩行距離は片道750m、往復1.5kmとなり、運べる苗の数は2束にすぎない。経営面積を、ムダ地区の平均の1.6haと仮定すると、必要な苗は320束になり、苗代と本田の間を160往復しなければならない。この農民は、20kg近い荷物を担いで、足場の悪い畦畔を240kmも歩くことになるのである。苗の運搬距離をできるだけ短縮し、この重労働を回避するため、農民は本田の一角に苗代を作らざるをえず、結局、潅漑ブロック全域に苗代が散在する形となる(図2・3)。

苗代のための適正潅漑期間は、40日間と提案されている[5]。すなわち、移植40日前に湛水し、1週間ほど土壌を浸潤し、膨軟化した後、1回目の耕起を行なう。更に1週間ほど湛水下に保ち、土塊を水に浸潤し、2回目の耕起を行なう。その後、2日程かけて、畦畔を作り、湛水深を調節し、土壌面を均平化して、芽出ししたモミを撒き、25日間育苗する。

前述のように、1.5kmもの長距離田越潅漑のもとでは、ブロック全域に分散してい

表2・3　ACRBD4灌漑ブロックの標準耕区における作期

作期	初期灌漑期		本田栽培期間		休閑期	
	日数	期間	日数	期間	日数	期間
1979年 第1作	51日	3月11日- 4月30日	116日	5月 5日- 8月28日	75日	8月28日-11月10日
第2作			107	11月10日- 2月24日	66	2月24日- 5月30日
1980年 第1作	56	4月 5日- 5月30日	113	5月30日- 9月19日	53	9月19日-11月10日
第2作			107	11月10日- 2月24日	106	2月24日- 6月 9日
1981年 第1作	65	4月 5日- 6月 9日	108	6月 9日- 9月24日	69	9月24日-12月 1日
第2作			104	12月 1日- 3月14日		
平均 第1作	57	3月28日- 5月24日	112	5月25日- 9月13日	66	9月14日-11月16日
第2作			106	11月17日- 3月 2日	86	3月 3日- 5月24日

註：　各作業の進渉50%日を標準耕区の作期として計算（図2・2参照）
休閑期は収穫後移植までの期間で、初期灌水期を含む。

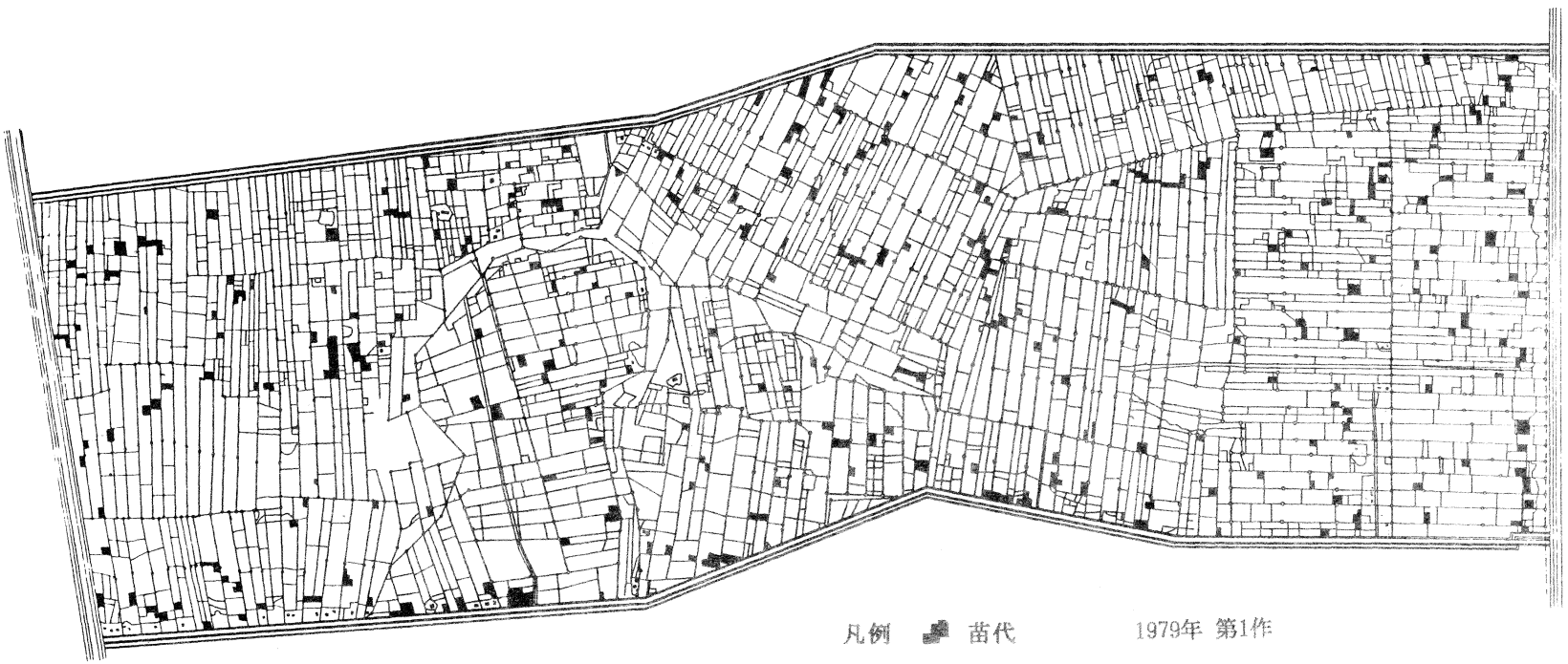


図２・３　ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける苗代分布

る苗代に給水するためには、同時に本田をも湛水してしまうことになる。そこで、本来、15日程度でよい筈の移植前本田潅漑期間が、２カ月近くにも長引いてしまうのである。

本田栽培期間は、第１作が112日、第２作が106日となった。第1作に比べ、第2作の稲生育期間が短いのは、短日植物である稲の特徴で[6]、熱帯のわずかな日長差に反応した、一般的傾向である。この期間から、ブロック内で栽培されている栽培品種の生育期間は、140日程度と考えられる。先に、移植苗の苗齢は平均40日であると述べた。これを基準にすると、生育日数は150日となるが、野崎の試験[7]によると、移植後出穂までの期間は、主かんを除いて、移植苗の苗齢には関係無く、25日苗の80日に対して、51日苗でも79日であった。従って、移植後の栽培日数に25日を加えたものを、その品種の生育日数の目安とすれば良い。

ＭＡＤＡの農業部職員の手持ち資料によると、1982年時点のムダ地区の主な栽培品種は、生育日数140日のセリブガンタンが32％、生育日数不詳のMR-6が19％、145日のMR-1とアナダラがそれぞれ11％となっている。短期品種としては、ムダ地区から500kmほど南方にあるタンジョンカラン地区で、直播栽培用に育成された、生育日数125日のMR-7があるが、食味に問題があるという理由で、ムダ地区ではほとんど栽培されていない。このような短期品種が導入されれば、２シーズンで 30日も作期が短縮でき、作期の周年化対策に大きな力となる。用水不足対策としても、日減水深を11mmとすれば、300mmもの節水効果が期待できる。

第１作の収穫が終わって、第２作の移植が始まるまでの休閑期は、66日間となっていた。専用苗代で育苗することにすれば、この期間は、ワラの処理と耕うん整地に要する、20日程度でよいはずである。ところが、末端用水路が整備されていないため、苗代に給水しようとすると、ブロック全体が水浸しとなってしまうため、全体の収穫作業がある程度終わらないと、潅漑を始めることができない。また、農道が不備で、農業機械も田越に移動させるため、隣接田の作業進捗状況に拘束され、自分の都合だけで、作業を進めるわけにもゆかず、作業適期を逸してしまう。

このような、末端圃場施設の整備されていない水田地帯で、作業時期を統一し、適期適作業を実現するためには、地域農民相互間のコミュニケーションを密にし、作期計画について意志統一を図る必要がある。ところが、このコミュニケーションが極めて困難なのである。その理由は、第１に、農民が極めて広い範囲に分散して住んでいること、第２に、耕作者の変動が激しいことである。

ムダ地区では、１・３・３節で述べたように、約100年から50年前にかけて、入植者から地代を取って財源に当てるため、貴族支配階層が運河を開削し、積極的にその沿線の開田を進めた。地区内に、今日の道路網が張り巡らされたのは、つい10数年前のことで、それまで農民は運河を利用して、ボートを重要な交通手段としていた。そのような状況のもとで、多くの農民は、それぞれ生活の便の良い場所に居を構え、水田には、農作業の時期だけ寝泊まりする出小屋を設けて、農作業を行なってきた。こ

のため、農民は広い範囲に分散して住宅を持つ結果となった。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックを例に取ると、関係農家416戸のうちブロック内、ならびに、ブロックに隣接する６集落に住んでいるのは25％の103戸に過ぎず、その他の313農家が生活している集落の数は、実に104にものぼった[9]。

これといった財産を持たないマレー人農民は、メッカ巡礼や結婚式などに、まとまった資金が必要なときには、水田の耕作権を担保に、安易に借金をする。このため、耕作者の変動が激しく、農民の間のコミュニケーションの維持を一層難しくし、地域共同体的意識が育つ環境に全く欠けている。

２・２　供給水量

水田水収支を解析するため、前節の作期に続き、本節では、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックへの供給水量について述べる。熱帯モンスーン気候帯に属するムダ地区では、かなりの年格差はあるが、はっきりとした雨季と乾季があり、用水計画のなかで、降雨の果たす役割は極めて大きい。潅漑無くして水稲二期作は成立しないのであるが、水量的には、降雨が主で、潅漑が従という計画内容となっている[9]。

２・２・１　調査内容

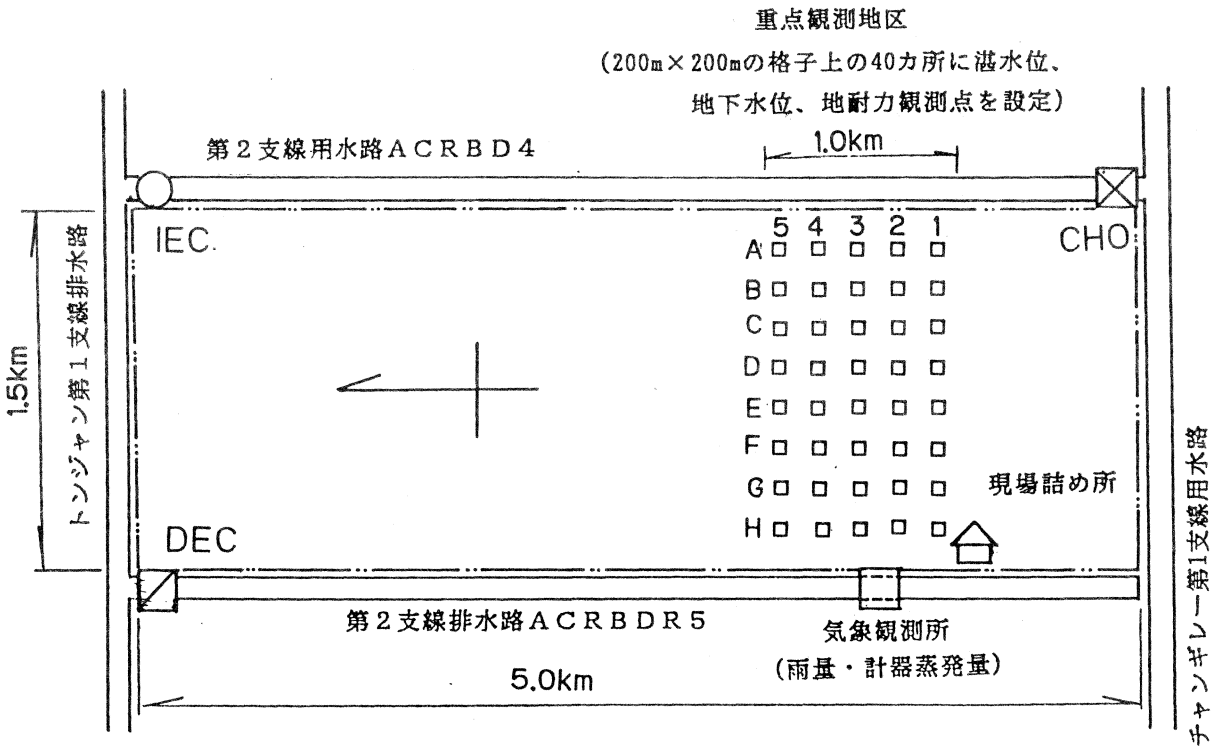
調査地区内の観測施設の配置は、図２・４のとおりである。第２支線用水路に入る潅漑用水は、二重オリフィスになっているＣＨＯで測定できる。ところで、１・３・４節で述べたように、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ４からは、東側に隣接する潅漑ブロックＡＣＲＢＤ３に対して、１７カ所でバックイリゲーションによる給水を行なっている。一方、西側の第２支線用水路ＡＣＲＢＤ５からは、18カ所でバックイリゲーションによる給水を受けており、厳密には、ＣＨＯと１５カ所のバックイリゲーションの水量をすべてつかまなければ、ブロックへの潅漑用水量は明らかにできない。しかし、長期的にそのすべてを観測することは、物理的に不可能である。そこで、1979年3月13日、一斉観測を実施し、バックイリゲーションのバランスを検討してみた。その結果、ＣＨＯからの取水量は、1.094m^3／s、ＡＣＲＢＤ３潅漑ブロックへのバックイリゲーションは0.196m^3/s、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ５からのバックイリゲーションは0.181m^3/sであった[10]。

バックイリゲーション用のパイプは、径15cmから30cmのコンクリート管で、ＭＡＤＡが管材を供与し、農民が自力で施工したものである。制水弁はなく、流量調節は板や土俵で管口をふさぐという、原始的な方法で行なっている。実際には、流量調節はほとんどやられておらず、第２支線用水路に水が入れば、必然的にバックイリゲーシ

ョンが働く形になっている。バックイリゲーションの出入りのバランスがほぼ均衡しているという、一斉観測の結果を考えあわせると、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ４のＣＨＯの流量を、対象ブロックの潅漑用水量とみなして、大きな誤りはないものと考えられる。

そこで、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ４のＣＨＯの流量を、対象地区への潅漑供給量とし、オリフィスの上下流水位、ならびに、スルースゲートで調節されるオリフィスの開度を、３台の自記水位計で記録し、そのデーターから流量を計算した。

降雨量は、ブロック西側の第２支線排水路の上に張出した気象観測所（図２・４参照）に据付けた、転倒マス型自記雨量計によった。



凡例　ＣＨＯ：取水工(Constant Head Orifice)、水位計3台で取水量観測
ＩＥＣ：用水路末端水門(Irrigation End Control)
ＤＥＣ：排水路水位調節水門(Drainage End Control)

図２・４　ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける観測地点配置の模式図

２・２・２　観測結果

1979年から1982年までの３年間の日データーを、付表１～５（巻末）までのようにまとめた。ただし、1979年第2作のデーターは欠測となってしまった。潅漑用水量は、水田面積731haに対する水深で表示した。

アロースター空港測候所のデーター（表１・３）によると、1980年の降雨は2,131mmで、これは表の36年間の丁度平均値にあたるが、1979年の1,764mmは15年確率干バツ年の雨量となり、1981年の1,425mmは、200年確率の1,465mmをも下回る、測候所開設以来の最低記録となった（図１・４参照）。このように、調査は干バツの極めて厳しい期間に行なわれたことになる。

２・２・３　降雨の不安定性

１・３・５節でも述べたょうに、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの1979年から1983年までのデーターでは、年間雨量の変動係数は17.9%と比較的安定しているが、月間雨量の変動は大きい。特に、第1作初期潅漑期にあたる、2月から4月にかけての降雨は不安定で、その変動係数は、２月は97%、３月は54%、４月は57%という大きな値となっている。1981年の年間雨量は、200年確率を下回るものであったが、初期潅漑の最盛期となった４月の雨量だけは、調査対象の５年間のうちでは最高となり、初期潅漑の早期達成に大きく貢献した(後述：３・１節)。このように、ムダ地区の降雨の季節分布の年格差は著しく大きく、用水源としては、安定しているとはいえない。

２・２・４　潅漑取水量の不安定性

最大取水量12.6mm/日と計画しているにもかかわらず、ムダ地区の用水路断面は過大断面となっているため、各所で用水が過大に取水される可能性が高く、水管理上問題となっている。ＣＨＯは一応ＭＡＤＡの職員（ラインオペレーターと呼ばれている）が管理している。彼らは１日３回巡回し、ゲートを操作し、定められた取水量に調節することを義務付けられているが、忠実に職務を遂行している者は少ない。現実には、農民が勝手にゲートを操作し、全体の用水配分計画とは無関係に、潅漑時期には目一杯に取水してしまっているケースが多く見られる。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの場合は、ＣＨＯの直ぐ下流の第１支線用水路上に、水位調節水門があるため、取水には有利な条件にあるが、それでも、水門下流農民からの苦情で、しばしば水門が開放されるので、その都度、水路の水位は大きく変動する[11]（図２・５参照）。

アローチャンギレー第１支線用水路は、約２万haの受益面積を持ち、延長20kmの巨

大なシステムである。潅漑ブロックの数は20に達し、それぞれのブロックで無秩序なＣＨＯ操作が行なわれるため、コンスタントであるべき水位が、大きく変動する。安定した取水位を保ち、公平な用水配分を実現するには、各ブロックでの圃場水管理と作期の適正化が図られ、用水不足が解消し、水系全体の広域水管理制度が、確立されねばならない。水田基盤整備が、大きなシステムの中の、一部のブロックのみで実施されても、水系全体の取水位安定にはほとんど寄与せず、その効果は部分的なものに留まる。本格的効果が発現するのは、水系内の広い範囲で基盤整備が進み、それに対応して、農民が用水節減と作期適正化の実を上げ、広域水管理が効果的に行なわれるようになってからのことである。このことは、後に述べる段階的基盤整備方式の、一つの論拠となっている。

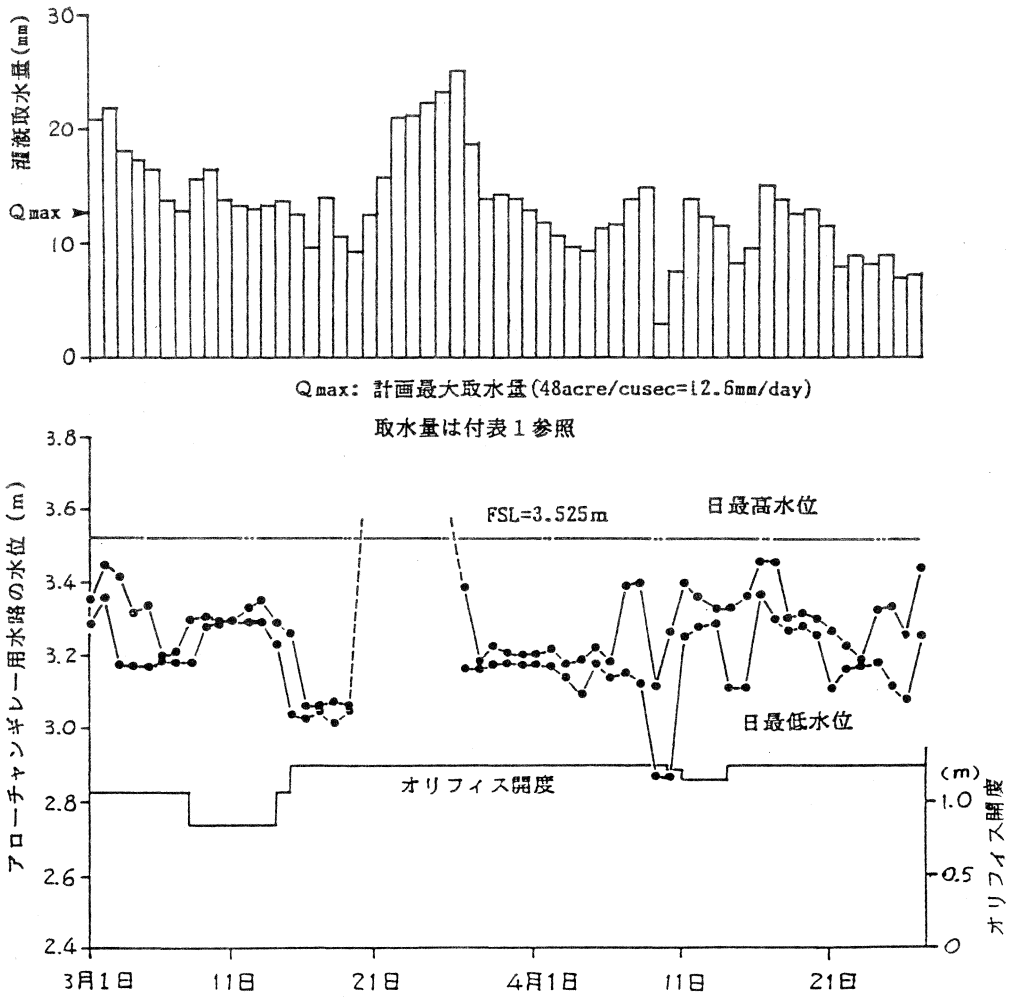


図２・５　アローチャンギレー第１支線用水路の水位変動(1979年第１作)

２・３　水田用水量

供給水量に対して、水田水収支のもう一方の要素である、水田用水量について述べる。水田用水量は土壌浸潤量・水田貯留量・蒸発散量、ならびに、浸透漏水量から構成されるが、このうち、浸透漏水量は、直接的な観測・算定が難かしいため、次節の水収支計算の中で、他の要素と供給水量とのバランスから、間接的に求めることとした。

２・３・１　圃場浸潤量

乾燥した水田土壌を浸潤するのに要する水量は、潅漑直前の土壌内の気相量から、湛水後も土壌内に残留している気相量を差し引いたものである。圃場の気相量は、乾燥に伴って生じるクラックの量と、土塊内の空隙とに分けられる。これらの３要素、即ち、クラック容積・土塊内の空隙量、ならびに、湛水後の残留気相量が分かれば、土壌浸潤用水量を求めることができる。

ここでは、土塊内の気相量（率）を土壌気相量（率）、また、クラックを含めた圃場全体の気相量を圃場気相量（率）、さらに、圃場全体を浸潤するのに要する水量を、圃場浸潤量と呼ぶことにする。

２・３・１・１　乾季中の土壌気相量

ムダ地区で実施された、既往の土壌試験データーから、乾季中の土壌気相量の推定を試みる。

中川・前川は、1968年3月、ムダ地区の中央部やや北寄りの、クバンスパット（位置は図１・３参照）の水田で、土壌三相分布を試験した[12]。ここの土壌は、カンコン系に属し、粘土含量に関しては、ムダ地区の標準といってよい(表１・１参照）。

八島・江崎は、1974年2月、ムダ地区中央部やや海寄りのテロチェンガイ（位置は図１・３参照）で、土壌三相分布を試験している[13]。また、同じ場所で山下が、1978年3月に試験をしている[14]。この圃場の土壌は、ムダ地区の中でも、最も粘土含量の多いチェンガイ系（表１・１参照）に属している。さらに、八島は、1978年3月、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの土壌を試験した[15]。

以上の結果を集約すると、図２・６のようになる。表層部分は、日照・風・気温・

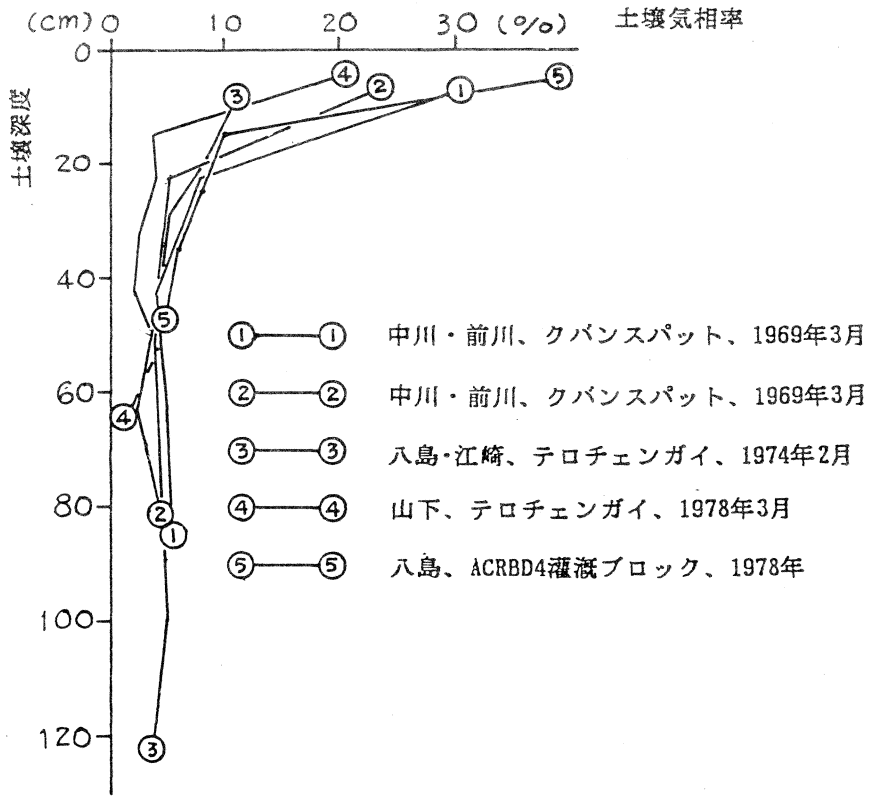


図２・６　乾期における水田土壌気相率の垂直分布

湿度・田面の被覆（草・ワラ・砕土など）などによる、外界の影響を受け易く、含水率は大きく変動している。しかしながら、深度30cm以下の下層部では、その影響弱まり、どの試験例を取っても、同じような安定した値を示している。これらの試験結果の平均値を、10cmキザミにとってみると、深度0から10cmまでは25％、以下11％、6％、5％、そして、40cm以下では4％となる。

２・３・１・２　乾季中の土壌クラック量

土壌中のクラック容積の測定法としては、土層を幾つかの深度ごとに、水平に丁寧に削り取り、切削面に現われるクラックを、トレイシングペーパーに写し取り、その水平断面積から容積を算定する、スケッチ法が用いられてきた。この方法による測定例としては、中川・前川によるクバンスパットにおける２例[24]、八島・江崎[25]、ならびに山下[26]による、テロチェンガイでの測定例がある。

スケッチ法とは別に、八島・江崎は、注水法とでもいうべき方法による、クラック量の測定を、テロチェンガイで行なった。この方法の原理は、100cc採土円筒で採取した、クラックを含まない土壌の飽和水量と、圃場浸潤水量の差から、クラック量を求めるものである。

表２・４　クラックを含まない土壌の浸潤量

深度 (cm)	(1) 土層厚 (cm)	(2) 固相率 (%)	(3) 液相率 (%)	(4) 飽和容水量 (%)	(5) 土壌浸潤量 (mm)
0 - 10	10	40.5	26.1	59.7	33.6
10 - 20	10	45.5	41.2	44.6	3.4
20 - 30	10	44.0	46.1	47.6	1.5
30 - 40	10	42.8	47.4	49.7	2.3
40 - 60	20	42.6	47.9	50.0	4.2

註：　(2).(3)は試験時の自然状態の率。
　　(4)は48時間水中放置後のもので残留気泡含む。
　　(5)=((4)-(3))×(1)
1974年 テロチェンガイ試験場圃場にて試験(八島 . 江崎)

クラックを含まない土壌浸潤水量は深度5cm、15cm、25cm、35cm、50cmから乱さない試料を採取し、自然状態の三相分布、ならびに、48時間水中で浸潤した試料の飽和容水量から、表２・４のように、土壌浸潤水量を算定した。

圃場浸潤水量は、径50cm、長さ80cmの鋼製円筒を、70cm程の深さに田面に打ち込み、その中央にあけたオーガーホールに、ホール内の水位を測定しつつ、1,000ccづつ注水してゆくことにより、各深度毎に求めることができる。この方法では、円筒の底が開いているので、下層への浸透水量を考えなければならないが、ムダ地区のように、土壌が重粘土質で、70cmもの下層では、透水係数が10のマイナス５ないし７乗(cm/sec)と著しく低く(表１・２参照)、試験の時間も1時間程度と短いので、浸透量は無視できると考えた。

試験の結果、10cmキザミに各深度における圃場浸潤水量と土壌浸潤水量が、表２・５のように求められた。深度10cmから20cmまでの圃場浸潤水量は16.8mm、土壌浸潤水

表２・５　注水法によるクラック量

深　度	(1) 圃場浸潤量	(2) 土壌浸潤量	(3) クラック量
0 - 10 cm	-	33.6mm	-
10 - 20	16.8mm	3.4	13.5mm
20 - 30	6.0	1.5	4.5
30 - 40	4.4	2.3	2.1
40 - 50	3.9	2.1	1.8
50 -60	3.9	2.1	1.8

クラック量の算出：　クラック量をXmmとすると、厚さ100mmの土壌中の浸潤量とクラック量の関係は、次のように表される。

$$(2)\times\frac{100-X}{100}\longrightarrow\quad X=(1)$$

$$\therefore\ X=\frac{(1)-(2)}{0.99}$$

(2)欄については表２・４の(5)欄参照

量は3.4 mmであった。クラック量をXmmとすると、この土層厚100mmについて、圃場浸潤水量のうち、クラックを含まない土塊中に浸潤した水量は、16.7mm－Xとなる。一方、土壌浸潤水量の 3.4mmはクラックを含まない100mm－Xの土塊に浸潤した水量で、これを、クラックを含む圃場の浸潤水量に換算すると、3.4mm×(100－X)÷100となる。従って、16.8－X＝3.4×(100－X)÷100となり、これを解いて、クラック量は13.5mmと計算される。以下同様に、深度 60cmまでのクラック量は、10cmキザミに、4.5、2.1、1.8、1.8mmとなる。

以上のスケッチ法、注水法による試験結果をまとめると、図２・7のようになり、乾季中のムダ地区の水田のクラック率は、深度10cmまでは20%、10から20cmまでが12%、20から30cmまでが 4%、30から60cmまでが 2%、60cm以下が 0%と算定された。

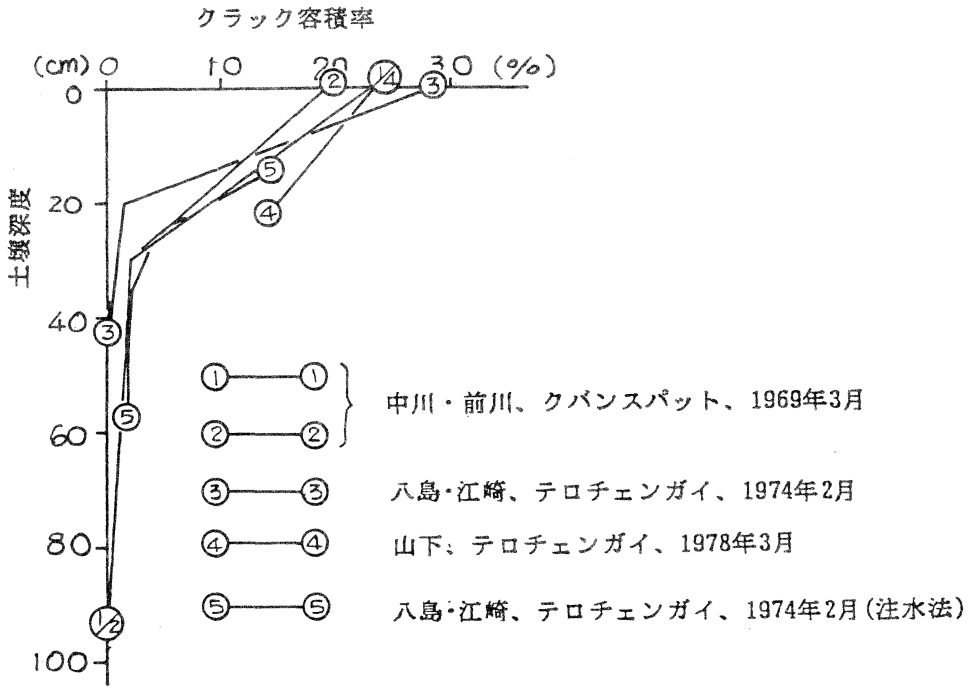


図２・７　乾期における水田土壌内のクラック容量

２・３・１・３　湛水下における残留気相量

湛水下の土壌中の残留気相量については、表層部の調査結果は比較的多いが、40cm以下の深層部では、不撹乱試料の採取が難しく、あまりデーターはない。安養寺は、1974年７月から10月にかけ、ムダ地区全域の70カ所で、湛水下の水田土壌の調査を行なっている[16]。また、山下は、1977年10月ならびに1978年12月に、テロチェンガイで試験を行なっている[17]。以上をまとめると、図２・８のようになる。全体的には、極く小さい値であるが、概して、表層部分で高く、下層部分で低くなる傾向を示している。これらを平均化すると、深さ30cmまでの残留気相率は 3%、30cm以下は 2%と見なしてよいであろう。

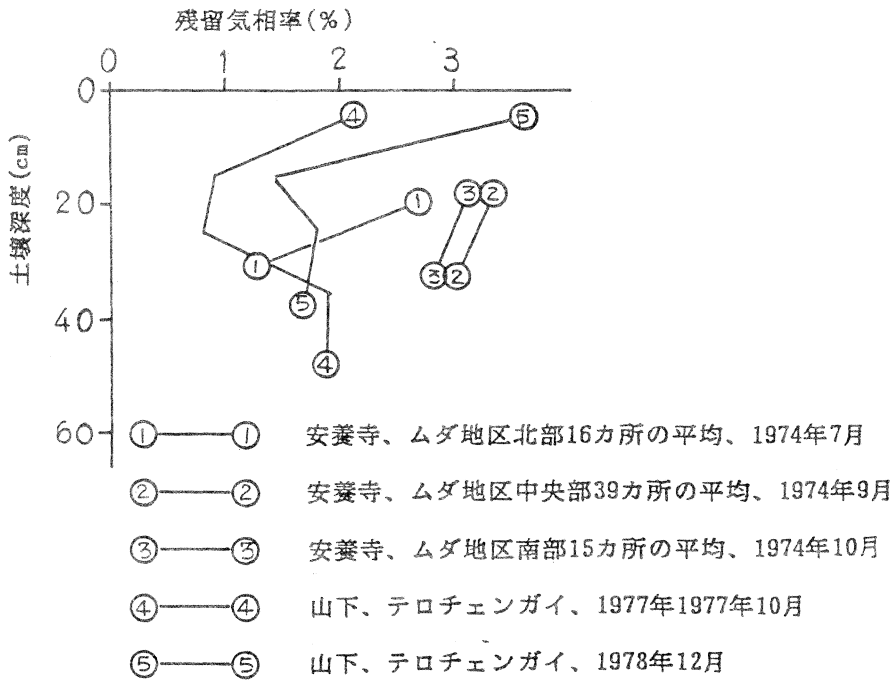


図２・８　湛水下における水田土壌内の残留気相率

２・３・１・４　圃場浸潤量

以上の圃場浸潤量を決定する各要因を集約すると、表２・６のようになる。最終的には、田面から深さ10cm毎の圃場浸潤量は、38mm、18mm、7mm、6mm、4mm、4mm、そして深さ60cm以下は10cm毎に2mmという値となり、１ｍまでの合計圃場浸潤水量は85mmとなる。この値を、ムダ地区の第１作初期潅漑期の、純圃場浸潤量と考える。

表２・６　圃場浸潤量

深　度 （cm）	土壌 気相率	クラック 容積率	圃場 気相率	残留 気相率	圃場 浸潤水量
0 - 10	25%	20%	41%	3%	38mm
10 - 20	11	12	21	3	18
20 - 30	6	4	10	3	7
30 - 40	5	2	8	2	6
40 - 50	4	2	6	2	4
50 - 60	4	2	6	2	4
60 - 70	4	0	4	2	2
70 - 80	4	0	4	2	2
80 - 90	4	0	4	2	2
90 -100	4	0	4	2	2
計					85

註：

土壌気相率：100cc円筒で採取した試料のもので、クラックを含まない。図２・６参照

(圃場気相率)=(土壌気相率)/(1+(クラック容積率)/100)+(クラック容積率)

クラック容積率：図２・７　参照

残留気相率：湛水下においても土壌中に残留している気相率。図２・８参照

(圃場浸潤水量)=((圃場気相率)-(残留気相率))×(土壌厚)

2・3・2　土壌面蒸発量

初期潅漑の際、田面下数十センチまで入ったクラックを伝って、潅漑用水は前進し、次第に地下水位を上昇させながら、最終的に湛水状態に至る。この湛水に至る以前にも、地下水位の上昇につれて、田面からの蒸発損失が生じるものと考えられる。そこで、1974年２月、八島・江崎は、農業局のテロチェンガイ試験圃場を使い、地下水位と土壌面蒸発量との関係を試験した。

テロチェンガイの標準耕区は、短辺70m、長辺130m、面積90aとなっており、一方の短辺には給水口、他の短辺には排水口が設けられ、耕区毎に給排水が自由にできるようになっているが、排水口は、天端高がほぼ田面となっている、U字フリューム製排水路に開いており、地表水しか排除できない構造となっている。排水路に落ちた水は、ポンプによって約１km離れた排水本川、ケダ河に排除される。以上のような排水条件と、難透水性の重粘土質土壌とを考えあわせると、この圃場における縦浸透は、無視

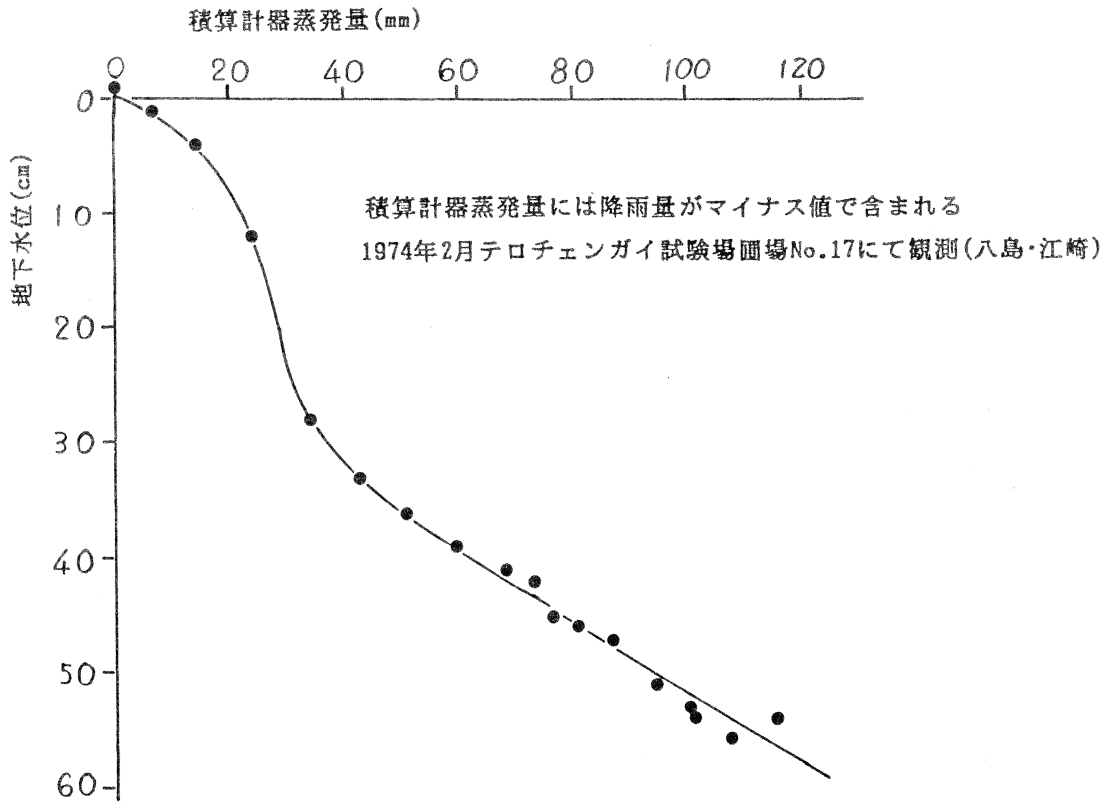
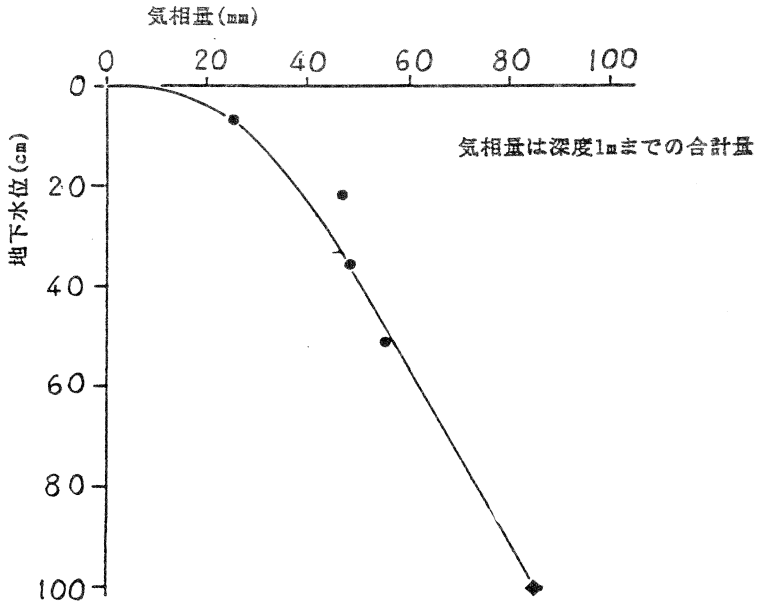


図２・９　土壌面蒸発による水田の乾燥過程

できる程小さいものと思われる。

試験耕区を一旦湛水した後、地表水を排除し、計器蒸発量との関係で、地下水位の変動を追跡したところ、図２・９のような結果を得た[18]。この図には、縦軸に地下水位、横軸に積算計器蒸発量をとってある。

地下水位の低下は、田面近くでは、大孔隙に含まれる、多量の重力水の蒸発に時間がかかるせいか、緩やかである。やがて、固相率が高く、重力水が少ないと思われる耕盤層まで、地下水位が下がってくると、土壌面蒸発による重力水の消耗が高まり、地下水位の低下速度は早まる。しかし、地下水位が30cmまでくると、その低下速度は再び緩やかとなる。これは地下水位の低下により、地下水面からの毛管上昇による補水能力が、低下するためと考えられる。地下水位低下10cm毎に、その間に生じた計器蒸発量を図２・９から読み取ると、地下水位が田面から10cmまで下がる間に、20.5mmの計器蒸発量があったことになり、以下同じようにして、地下水位低下10cm毎に相当する期間の計器蒸発量は、表２・７のＥＰ欄のようになる。地下水位低下10cm毎の増加圃場気相量は、縦浸透を無視できるとすれば、地下水位を10cm低下させるために消費された、土壌面蒸発量そのものであると考えられ、各段階に見合う土壌面蒸発量が算定できる。



◆ 第1作初期灌漑期の圃場浸潤量(表2･12参照)

● テロチェンガイにおける測定値(八島、1973年12月)

図２・10　各段階の地下水位における気相率

後述する水収支解析のため、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの重点観測地区（図２・４）に配置した深さ90cmの40本の地下水位観測穴が、乾季にはほとんど干上がってしまうことから、前節で述べた乾季の圃場浸潤水量85mmに対応する地下水位を１mとしておく。これを、八島が1973年12月、水田地耐力の関係でテロチェンガイで測定した地下水位 6.5cm、21.5cm、35.5cm、51.0cmの時の気相量と共に図上にプロットすると図２・１０のようになる。この図から、地下水位10cm毎に増加する気相量、言い替えれば、減少した液相量、即ち、土壌面蒸発によって失われた水量が、表２・７のＥＳ欄のように読み取れる。

表２・７　土壌面蒸発量比

地下水位 (cm)	ＥＳ (mm)	ＥＰ (mm)	ES/E
0 - 10	29	20.5	1.41
10 - 20	9	7.5	1.20
20 - 30	8	7.0	1.14
30 - 40	6	25.0	0.24
40 - 50	6	31.5	0.19
50 - 60	6	40.0	0.15

ES: 土壌面蒸発量（図２・１０参照）
EP: 計器蒸発量(図２・９ 参照)

地下水位が、田面から10cmまで下がるのに、29mmの土壌面蒸発量があり、それに対応する計器蒸発量は20.5mmである。従って、この間の計器蒸発量に対する土壌面蒸発量の比は1.41となる。同じようにして、地下水位が10cmから20cmまでの場合は1.20、以下10cmキザミに1.14、0.24、0.19、0.15となる。地下水位が30cm以下になると、土壌面蒸発量比は急速に低下することが分かる。

なお、桂山は砂を使った室内試験により、地下水位０における土壌面蒸発量比は1.22、以下10cmキザミに1.00、0.67、0.16、そして、40cmで0.01という結果を得ている[19]。この比率は、ムダ地区の重粘土より少なめとなっているが、これは土性による違いと考えられる。しかし、地下水位が地表面近くにある場合は、土壌面蒸発量が計器蒸発量より多くなること、地下水位がある深度以下になると、土壌面蒸発量が急激に低下するなど、共通点が多い。

２・３・３　水面蒸発量

ムダ地区では、圃場水管理や適期適作業の困難性から、移植前の湛水期間が２カ月にも及んでいる。この間に失われる水面蒸発量は、無視できない量に達するものと思

表２・８　初期灌水期の水面蒸発量

（単位：㎜/日）

期　　間	Es	Ep	Es/Ep
3月 7日 - 10日	6.2	7.0	0.89
11日 - 15日	6.6	7.4	0.89
16日 - 20日	7.8	8.0	0.98
21日 - 25日	7.6	7.9	0.96
26日 - 31日	6.9	6.9	1.00
4月 1日 - 5日	6.9	7.1	0.97
6日 - 10日	6.8	7.1	0.96
11日 - 15日	5.7	5.8	0.98
16日 - 20日	5.9	5.6	1.05
21日 - 25日	5.9	5.7	1.04
26日 - 30日	4.8	4.8	1.00
5月 1日 - 5日	6.5	6.5	1.00
6日 - 10日	5.7	5.9	0.97
平均	6.41	6.59	0.97
S.D	0.83	0.97	0.05

註：

試験場所：ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロック内

ES:　水面蒸発量、湛水した水田中に設置した60㎝角の3個のタンクによる平均値

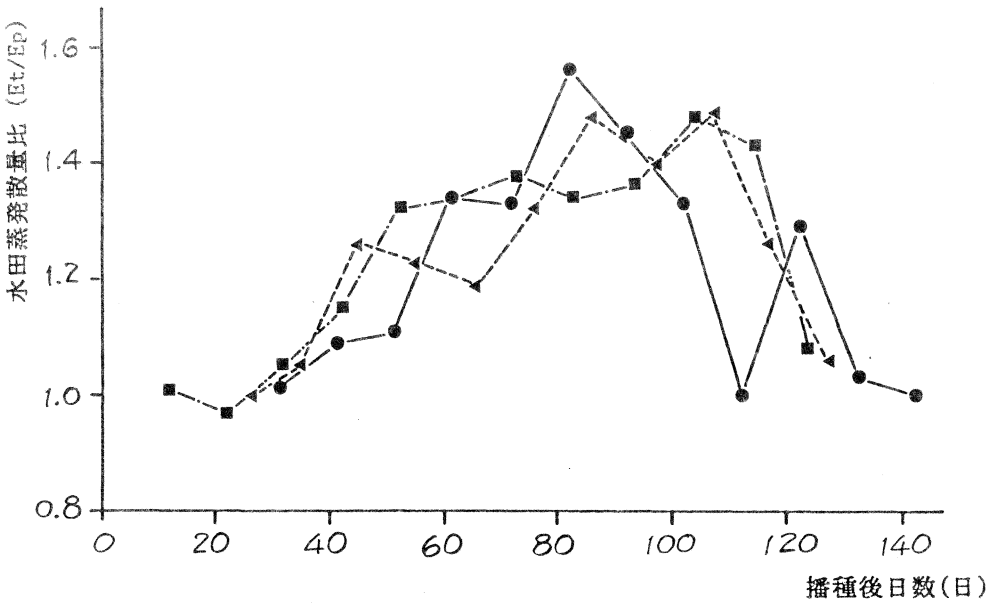
Ep:　径120㎝の円形蒸発計による計器蒸発量

われる。そこで、計器蒸発量との対比で、水面蒸発量比を求めてみることとした。

水面蒸発量は、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの気象観測所に隣接する湛水田中に設置した、60cm角の亜鉛引鉄板製のタンクで測定した。これと対照する計器蒸発量は、気象観測所に設置した、径 120cmの円形蒸発計で測定した。観測の結果は、表２・１４のとおりで、水面蒸発量は計器蒸発量の97％となった。

２・３・４　水田蒸発散量

ムダＩプロジェクトの用水計画[20]によると、水田蒸発散量は全用水量の51％を占め、水田用水量の最大の要素となっている。ムダ地区では、1967年から1969年にかけて、杉本が水田蒸発散量の試験[21]を行ない、計器蒸発量に対する水田蒸発散量の比（以下、蒸発散量比という）を明らかにした。そこで使用した品種と、得られた蒸発散量比は、



線種	区　分	栽植密度	Et/Ep	収量レベル
――	慣行人力移植	11株/m²	1.21	5.2t/ha
----	機械移植	17株/m²	1.25	3.8t/ha
―・―	直播	69株/m²	1.24	4.4t/ha

註：Et/Epは生育期間を通した計器蒸発量に対する水田蒸発散量の比

図２・１１　水田蒸発散量

次のとおりである。リア、1.21および1.36。バハギア、1.17および1.20。ラディンエボス33、1.09および1.18。これらの品種は、バハギアが1972年頃まで見られたのを最後に、既にムダ地区からは姿を消している。現在では、その後開発された短かん直立型の新品種が普及し、当時とは草型も変わってきているので、改めて試験をすることとした。

ムダ地区の慣行移植栽培については、栽植間隔が標準30cm[22]となっているので、縦横60cm角のトタン製タンクを作り、その中に稲を４株植えて、蒸発散量を測定することとした。栽植密度は11株／m^2となる。さらに、将来の栽培体系近代化も考慮し、機械移植栽培を想定した17株／m^2（タンク内に６株植え）、また、直播栽培を想定した６８本／m^2（同じく、２５本植え）の栽植密度についても試験した。タンクの高さは35cmで、底には20cmの厚さに水田土壌を入れ、タンク内の土壌面が田面と等しくなるように、水田の中に設置した。田面からタンク天端までは、15cmとかなり高めになるが、これは、排水条件の悪いムダ地区の圃場条件のもとで、豪雨時にタンクが水没しないよう、考慮したものである。

品種は、マレーシア政府の奨励品種、ＭＲ－１を使用し、直播想定以外は、苗齢25日の苗を１株当り５本植えとし、各栽植密度について３反復の測定を行ない、図２・１１に示すような結果を得た。

いずれの場合も、移植または播種直後は、蒸発散量比はほぼ1.00であった。稲の生育にともない蒸発散量比は高まり、慣行移植栽培では、最高分けつ期に1.56の最高値を示した後、収穫期には1.00近くまで低下した。生育期間通じての平均蒸発散量比は1.21であった。機械移植栽培、直播栽培では、出穂期にそれぞれ1.49、1.48の最高値を示し、平均蒸発散量比は1.25、1.24となった。

２・４　水稲二期作の水収支

ムダＩプロジェクトの潅漑計画では、水田用水量を２シーズン合せて2,200mmと見積もっている[27]。これを、実際の水田用水量と対比することにより、現在ムダ地区が直面している用水不足の発生要因は、日減水深の増加、作期の乾期へのずれこみによる蒸発散量の増加に加え、末端圃場施設の未整備に起因すると思われる、移植前の本田湛水期間の長期化の影響が、とくに大きい事がわかった。

２・４・１　水収支解析方法

水収支の解析対象期間は、栽培上潅漑を必要とする期間、すなわち、初期潅漑開始日から、収穫20日前の後期潅漑期最終日までとする（図２・１、図２・２、表２・１

参照）。作期に時差がある関係上、水収支解析上の第１作の初期潅漑期は、潅漑ブロックへの初期潅漑開始日より、移植作業進捗50％日までとする。第２作の初期潅漑期は、雨季に当たるため、明瞭な潅漑がないまま、苗代準備に入ってしまうため、適正苗代準備期間を40日と考え、移植進捗10％日から40日前を、初期潅漑開始日とした。

水収支の要素は、次のように分解できる。

ｉ）　供給水量（潅漑水量＋降雨量）

ii）　消費水量（湛水前土壌面蒸発量＋移植前水面蒸発量＋蒸発散量＋浸透漏水量）

iii）　貯留水変化量（増加をプラス、減少をマイナスとして扱う）

各要素の関係は次のとおりである。

供給水量＝消費水量＋貯留水変化量

供給水量は、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ４のＣＨＯから取水された潅漑用水量、ならびに、潅漑ブロック西側の気象観測所での実測降雨量を採った（付表１～５参照）。

貯留水量は、土壌浸潤量と田面湛水量である。土壌浸潤量は、図２・１０の地下水位と気相量との関係から求められる。地下水位は、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロック南部に設けた、幅１km、長さ1.5km、面積150haの、重点観測地内の200m×200mの格子上に配置した40カ所の観測点(図２・４）で計った値を、ブロック全体の代表値とみなして用いた。土壌浸潤水量に、同じ４０カ所の観測点で計った田面湛水深を加えると貯留水量となる。貯留水量は旬ごとにまとめ、1979年第１作については、表２・９のようになった。

湛水前土壌面蒸発量は、同じく40カ所の観測点の地下水位をもとに、表２・７に示した土壌面蒸発量比を使い算出した。この際、計算を簡略化するため、地下水位を３段階に分け、０から30cmの場合は、土壌面蒸発量比を1.25、30から60cmでは0.19、60cm以下では０として、旬毎にそれぞれの面積率と計器蒸発量を乗じて、1979年第１作については、表２・１０のように土壌面蒸発量を算出した。

移植前の水面蒸発量は、やはり、40カ所の観測点の湛水面積率に、水面蒸発量比0.97(表２・９）と計器蒸発量を乗じ、算出した。

移植後蒸発量は、後期潅漑期を通じて一律に、蒸発散量比を慣行移植栽培の1.21（図２・１１）とし、これを計器蒸発量に乗じて算出した。

浸透漏水量については、直接的な算出が難しいため、上述の要素のバランスによって、次式から間接的に求めた。

浸透量水量＝供給水量－消費水量（浸透漏水量を除く）－貯留水変化量

表２・９　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける貯留水量（1979年 第1作）その1

（単位：㎜）

日/月 / 測点		1/3	10/3	20/3	31/3	10/4	20/4	30/4	5/5	10/5	20/5	31/5
A	1	102	164	156	193	229	226	253	167	170	165	218
	2	142	251	240	272	311	311	340	246	232	204	288
	3	145	162	163	181	230	230	181	209	157	182	183
	4	92	96	98	117	126	126	98	71	94	137	138
	5		43	163	190	215	215	173	165	168	171	178
B	1		145	131	172	201	225	235	161	173	58	200
	2		278	262	296	338	326	367	250	243	122	317
	3		157	147	210	238	289	250	201	191	185	210
	4		293	259	310	340	195	309	231	225	276	358
	5		209	157	208	247	205	222	171	168	181	241
C	1		316	328	337	331	267	288	266	231	216	323
	2		250	259	286	298	313	339	321	186	152	232
	3		259	271	295	308	317	348	330	206	190	326
	4			170	228	245	296	311	297	236	180	282
	5			177	230	117	285	320	311	257	148	283
D	1			42	112	91	196	219	222	143	127	217
	2				73	74	156	186	173	131	107	193
	3		37	38	48	43	182	202	148	167	117	202
	4			74	178	179	218	240	94	152	125	210
	5				152	158	207	253	338	193	185	214
E	1			102	142	134	129	183	140	135	99	161
	2			173	271	291	284	297	275	265	75	258
	3	18	15	109	181	197	227	236	222	195	176	254
	4			98	169	187	179	217	187	194	162	205
	5							144	98	85	131	147
F	1			14	114	155	236	180	156	122	81	144
	2		62	179	234	306	306	344	346	345	344	378
	3		66	128	118	184	237	222	187	143	102	152
	4			125	55	174	245	230	233	190	136	194
	5			31		146	199	291	233	201	209	248
G	1	26	105	63	32	55	132	193	169	184	150	210
	2		70	59	21	24	119	182	156	175	137	196
	3		123	172	237	247	305	290	240	223	224	245
	4		33	52	25	33	97	160	138	148	154	182
	5		95	111	43	27	163	196	182	185	156	186
H	1	154	153	151	132	81	186	190	201	193	185	191
	2	76	129	93	69	60	141	179	157	191	156	166
	3	44	129	72	33	22	167	176	164	194	176	188
	4	308	289	256	87	59	325	315	297	316	277	311
	5	167	101	159	132	134	217	239	227	246	210	234
平均		31.9	97.0	110.3	154.6	169.8	216.9	240.0	209.5	186.8	162.2	228.9

貯留水増減量	+65.1	+13.3	+44.3	+15.2	+47.1	-23.1	-30.5	-22.7	-24.6	+66.7	-5.8

（註）　地下水位１ｍ以下の状態を貯留水量０とし、図２・１０によって貯留水量を計算

貯留水量８５ｍｍが湛水深０の状態

測点の位置配置は図２・４参照

表２・９　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける貯留水量（ 1979年第1作 ）　その2

（単位：㎜）

日/月		10/6	20/6	30/6	10/7	20/7	31/7	10/8	20/8	25/8
測点										
A	1	207	249	177	183	189	181	78	129	100
	2	259	302	229	232	226	252	139	85	142
	3	212	232	138	152	148	85	67	78	116
	4	143	142	81	66	80	54	51	104	74
	5	188	207	133	164	170	83	51	118	87
B	1	158	184	130	126	127	170	131	124	180
	2	238	328	214	207	207	273	188	141	171
	3	211	220	155	151	148	161	76	130	73
	4	301	357	282	282	277	218	138	97	168
	5	185	241	171	173	158	103	71	101	63
C	1	351	337	241	213	250	280	155	188	196
	2	352	327	206	190	319	332	200	217	227
	3	369	336	229	220	324	285	184	223	231
	4	324	310	258	238	285	305	232	254	262
	5	300	294	267	266	275	294	244	279	283
D	1	236	197	164	156	188	230	174	172	177
	2	202	174	141	138	182	206	149	154	157
	3	215	186	150	160	148	168	138	108	115
	4	238	235	176	163	220	241	133	177	180
	5	232	208	205	195	198	229	179	210	214
E	1	159	165	134	134	124	140	203	94	76
	2	274	279	204	204	133	273	189	100	142
	3	266	259	226	209	171	248	177	164	184
	4	187	207	127	95	62	202	119	89	107
	5	139	138	119	140	104	100	147	159	155
F	1	144	168	134	144	114	108	121	99	55
	2	374	356	309	314	284	277	290	291	227
	3	147	232	172	183	147	183	193	119	89
	4	194	214	199	205	134	177	176	151	122
	5	224	244	207	209	184	193	207	114	15
G	1	194	196	175	173	121	107	136	104	135
	2	191	186	170	164	179	196	187	136	140
	3	146	248	166	147	229	245	207	86	202
	4	182	169	158	150	145	182	147	54	145
	5	172	163	160	136	143	196	144	100	128
H	1	165	162	110	129	93	191	141	117	108
	2	137	132	121	121	80	166	62	53	67
	3	167	143	118	151	139	188	110	73	85
	4	307	300	287	288	288	311	302	251	249
	5	235	220	217	196	205	234	199	119	137
平均		223.1	231.7	181.5	179.2	180.0	201.7	155.9	139.1	147.9
貯留水増減量			+8.6	-50.2	-2.3	+0.8	+21.7	-45.8	-16.8	+8.8

表２・１０　移植前の土壌蒸発量及び水面蒸発量(1979年第1作)

期　間	EP	土壌面蒸発量							水面蒸発量			合計
		地下水位 0 - 30cm			地下水位 30 - 60cm			計	湛水面積	平均	EW	
		面積	平均	ES_1	面積	平均	ES_2					
	(mm)	(%)	(%)	(mm)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm)	(mm)
3月 1日		2.5			2.5				17.5			
	80.5		6.3	6.3		3.8	0.6	6.9		36.3	28.3	35.2
11日		10.0			5.0				55.0			
	76.6		10.0	9.6		8.8	1.3	10.9		58.8	43.7	54.6
21日		15.0			12.5				62.5			
	81.1		12.5	12.7		11.3	1.7	10.6		67.5	53.1	63.7
4月 1日		10.0			10.0				72.5			
	71.2		8.8	7.8		10.0	1.4	8.1		77.5	53.5	61.6
11日		7.5			10.0				82.5			
	56.6		3.8	2.7		5.0	0.5	3.2		90.0	49.4	52.6
21日		0.0			0.0				97.5			
	52.8		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		98.8	50.6	50.6
5月 1日		0.0			0.0				100.0			
	32.7		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		100.0	99.4	31.5
5日		0.0			0.0				100.0			

(註)　ES_1= 平均面積×1.25×EP (表２・７参照)

ES_2= 平均面積×0.19×EP

地下水位が60cm以下の場合は土壌面蒸発は0とする。

EW= 平均面積×0.97×EP (表２・８参照)

２・４・２　解析結果

1979年第１作の水収支は、表２・１１のとおりである。表中、供給水量は、付表１

表２・１１　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける1979年第1作の水収支

（単位：㎜）

期　間	供　給			消　費		
	灌 漑	降 水	計	貯留	蒸発散	排水
初期灌漑期（61日）						
3月 1日 - 10日	165.9	0.5	166.4	65.1	32.5	68.8
11日 - 20日	120.6	0.0	120.6	13.3	54.6	52.7
21日 - 31日	200.9	17.5	218.4	44.3	63.7	110.4
4月 1日 - 10日	102.6	40.0	142.6	15.2	61.6	65.8
11日 - 20日	121.1	23.5	144.6	47.1	52.6	44.9
21日 - 30日	68.8	117.0	185.8	23.1	50.6	112.1
5月 1日 - 5日	34.6	27.0	61.6	-30.5	31.5	60.6
小　計	814.5	225.5	1,040.0	177.6	347.1	515.3
後期灌漑期（111日）						
5月 6日 - 10日	11.7	32.5	44.2	-22.7	34.5	32.4
11日 - 20日	60.9	30.5	91.4	-24.6	60.7	55.3
21日 - 31日	86.8	99.0	185.8	66.7	64.7	54.4
6月 1日 - 10日	88.1	41.5	129.6	-5.8	51.1	84.3
11日 - 20日	114.1	26.5	190.6	8.6	55.8	126.2
21日 - 30日	27.2	25.5	52.7	-50.2	51.3	51.6
7月 1日 - 10日	0	68.0	68.0	-2.3	43.8	26.5
11日 - 20日	0	43.0	43.0	0.8	56.9	-14.7
21日 - 31日	0	160.0	160.0	21.7	36.7	101.6
8月 1日 - 10日	21.8	71.0	92.8	-45.8	50.7	87.9
11日 - 20日	14.2	45.5	59.7	-16.8	68.8	7.7
21日 - 25日	29.2	40.0	69.2	8.8	29.8	30.6
小　計	454.0	733.0	1,187.0	-61.6	604.8	643.8
合　計	1,268.5	958.5	2,227.0	116.0	951.9	1,159.1

供給は付表１、貯留水量は表２・９、蒸発散は表２・１０参照

を旬毎にまとめたもので、66日間の初期潅漑期間に1,040mm、111日間の後期潅漑期に1,187mm、合計 2,227mmとなった。消費水量のうち貯留水変化量は、表２・９の貯留水増減量欄に示したもので、初期潅漑期間中に177.6mm増加し、後期潅漑期に61.6mm減少した。表２・１０に示した初期潅漑期の土壌面、ならびに水面蒸発量は、347.1mmとなった。後期潅漑期の蒸発散量は、604.8mmとなった。表中、排水と表示されている浸透漏水量は、供給水量から貯留水変化量を差し引いたもので、初期潅漑期には515.3mm、後期潅漑期には643.8mmとなった。

同じ方法で算出した1982年第２作までの、５作期の水収支を集約したのが、表２・１２である。３カ年の平均値をとると、全供給水量は、第１作に1,898mm、第２作に1,369mm、合計3,267 mmとなる。その内訳は、潅漑が1,836mm、降雨が1,431mmで、潅漑の比率が 56％となっている。消費水量では、蒸発散量が供給水量の59％を占める1,940mmあり、浸透漏水量（表中、排水と表示）が39％の1,258mmとなっている。

作期別の日減水深は、第１作の初期潅漑期に11.2mm、後期潅漑期に8.8mmであった。また、第２作には、初期潅漑期10.0mm、後期潅漑期に9.2mmとなった（表２・１３）。

２・４・３　ムダ地区における用水不足の構造

水稲二期作が、ほぼ全域に達するころから、ムダ地区は、深刻な用水不足問題に直面することとなった。計画より水田用水量が著しく大きくなっていることが、その原因である。

計画では、第１作初期潅漑期の水田用水量を353mmと見込んでいる(表２・１４）が、実際にはその2.8倍もの用水を消費している(表２・１２）。その内訳を見ると、土壌浸潤と田面湛水に費やされた用水は、水田用水量のわずか17％の170mmにすぎず、蒸発に384mm、浸透漏水に443mmとなっている。従って、この大幅な用水量増加は、２・１・３節で述べたように、標準１マイルもの長距離田越潅漑の圃場条件のもとで、苗代と本田との給水分離が難しく、育苗期間も本田に湛水することになる結果、本来15日程度でよい移植前本田湛水期間が２カ月近くにもなる（表２・３）からである。この間、11.2mmもの日減水深（表２・１３）があるため、500mm近い用水が無駄になっている計算になる。

第１作の水稲栽培期間の計画用水量（表２・１４）は、蒸発散量 5.5mm、浸透漏水量 1.6mm、計 7.1mmの日減水深で95日分、675mm計上（この他に水路損失を90mm計上し、表では765mmとなっている）しているが、実際には(表2･12) 24％増の 8.8mmの日減水深を生じ、34％増の 932mm(580.5+351.1)を消費している。

第２作の初期潅漑期の計画用水量351mmに対し、実測値は65％増の 580mmとなっている。この時期は雨季に当たるため、第１作から引き続き湛水状態のままの水田が多く、貯留水量の増分は、水田用水量のわずか 7％の 43mmに過ぎない。残りは蒸発、

表２・１２．　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける水田水収支

（単位：㎜）

作期区分	供給			消費		
	灌漑	降水	計	貯留	蒸発散	排水
1979年第1作						
初期灌漑期(61日)	814.5	225.5	1040.0	177.6	347.1	515.3
後期灌漑期(111日)	454.0	733.0	1187.0	-61.6	604.8	643.8
計　(172日)	1268.5	958.5	2227.0	116.0	951.9	1159.1
1980年第1作						
初期灌漑期(78日)	546.7	408.0	954.7	206.7	421.6	326.4
後期灌漑期(107日)	173.8	600.5	774.3	-79.5	548.1	305.7
計　(185日)	720.5	1008.5	1729.0	127.7	969.7	632.1
1980第2作						
初期灌漑期(51日)	130.6	319.5	450.1	-35.5	219.3	266.3
後期灌漑期(100日)	494.6	333.5	828.1	-143.5	737.7	233.9
計　(179日)	625.2	653.0	1278.2	-179.0	957.0	500.2
1981年第1作						
初期灌漑期(82日)	449.3	546.5	995.8	124.6	382.8	488.4
後期灌漑期(97日)	396.2	347.5	743.7	51.2	588.7	103.8
計　(179日)	845.5	894.0	1739.5	175.8	971.5	592.2
1981年第2作						
初期灌漑期(57日)	458.2	252.5	710.7	122.3	265.2	323.2
後期灌漑期(95日)	699.1	49.0	748.1	-84.4	728.6	103.9
計　(152日)	1157.3	301.5	1458.8	37.9	993.8	427.1
第1作平均						
初期灌漑期(74日)	603.5	393.3	996.8	169.6	383.8	443.4
後期灌漑期(105日)	341.3	560.3	901.6	-30.0	580.5	351.1
計　(179日)	944.8	953.6	1898.4	139.6	964.3	794.5
第2作平均						
初期灌漑期(54日)	294.4	286.0	580.4	43.4	242.3	294.7
後期灌漑期(98日)	596.9	191.3	788.2	-114.0	733.2	169.0
計　(152日)	891.3	477.3	1368.6	-70.6	975.5	463.7
合　計	1836.1	1430.9	3267.0	69.0	1939.8	1258.2

（註）　ムダ Ｉ プロジェクトの整備水準(標準水路密度 10m/ha)のもとでの試験結果。

表２・１３　作期別日減水深

（単位：㎜/日）

区　分	蒸発散	排　水	日減水深
第1作			
初期灌漑期	5.2	6.0	11.2
後期灌漑期	5.5	3.3	8.8
第2作			
初期灌漑期	4.5	5.5	10.0
後期灌漑期	7.5	1.7	9.2

（註）　表２・１２から算出

浸透、漏水による損失水量である。

第２作の後期潅漑期には、計画上、日減水深は第１作より減少し、蒸発散量 5.1㎜、浸透漏水量 1.5㎜、計 6.6㎜[2-3]となるが、実際には、浸透漏水量は 1.7㎜（表２・１３）と第１作のほぼ２分の１程度になるものの、作期が遅れ、後期潅漑期が大幅に乾季にずれ込むため（2･1･2節参照）、蒸発散量は 7.5㎜と第1作の36％増になり、浸透漏水量と合わせた全体でも、 9.2㎜と第1作を上回った。結局、水田用水量は、供給水量 788㎜に貯留水量の減少分 114㎜を加え 902㎜と、計画用水量 724㎜の 25％増となった。

ＭＡＤＡのダム管理日誌から、ダム貯留量の変動を見ると（図２・１２）、毎年12月の乾季到来とともに放流が始まり、第1作の初期潅漑を始めるべき３月には、ほぼダム貯留量は底をついている。すなわち、作期の遅延により、降雨およびダム残流域からの流出が少ない乾季に、第２作の後期潅漑期が大幅にずれこみ、ダム貯留水を放流してしまうため、第１作の初期潅漑期用の水が払底してしまっている。

表２・１４　ムダ Ｉ プロジェクトの灌漑用水計画

1．供給量

区　　分	水　量(㎜)	率　(%)
降水	1,299	57.3
灌漑水量		
ダム貯留水	509	22.5
ダム残留域流出水	458	20.2
小　計	967	42.7
合　計	2,226	100.0

2．需要量

区　　分	水　量(㎜)	備　　考
第1作		
初期灌漑期	353	15″ /月の24日分+9.5″ /月の6日分
水稲栽培灌漑期	765	9.5″ /月の95日分 (8.1㎜/日)
小　計	1,118	
第2作		
初期灌漑期	351	15″ /月の24日分+9″ /月の6日分
水稲栽培灌漑期	724	9″ /月の95日分 (7.6㎜/日)
小　計	1,075	
合　計	2,193	

出典：　マレイシア国排水灌漑局、Report on a reappraisal of the Muda River Project, 1964.

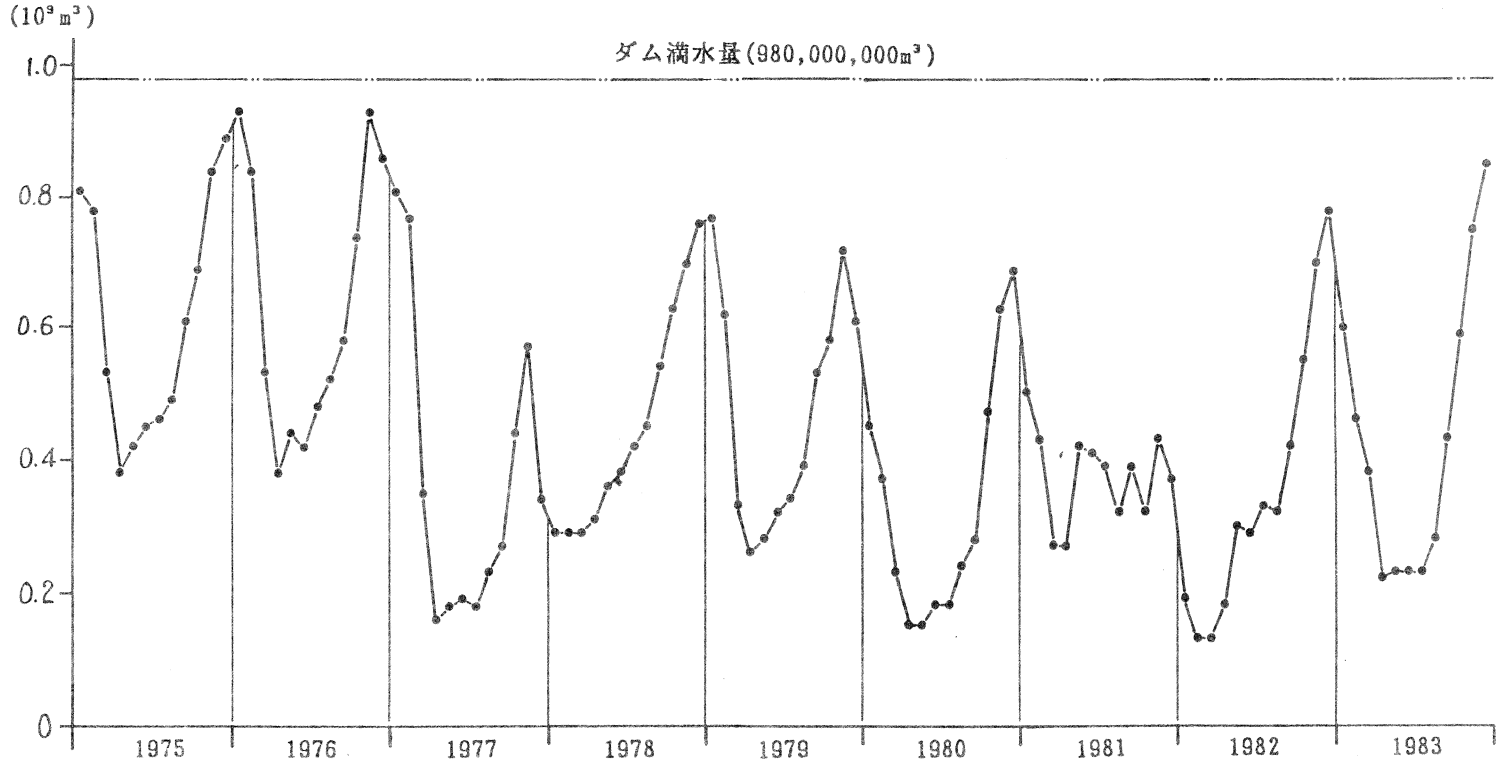


図２・１２　ムダダムおよびペズダムの合計貯水量（月末量）

引用文献

1) Drainage & Irrigation Division: Report on a Reappraisal of the Muda River Project, p.7-9, Goverment of Malaysia, 1964.
2) Michio Nozaki: Studies on Rice Double Cropping Culture in the Muda Irrigation Area, Malaysia, p.160-161, 1984.
3) 野崎倫夫、C. Y. Wong: マレイシア・ムダ潅漑地域の水稲二期作栽培技術に関する研究、第３報、慣行栽培技術の実態、熱帯農業、Vol. 3, NO. 1, p. 26, 1978.
4) 八島茂夫、土持守: マレーシア・ムダ地区における水田基盤整備に関する研究(1)、熱帯稲作技術体系に関する研究について、農業土木学会誌 48(2), p.6-8, 1980.
5) 前出 2) p. 159
6) 田中明: 熱帯稲作生態論、p. 45-51,養賢堂、1971
7) 野崎倫夫:マレーシア・ムダ潅漑地域の水稲二期作栽培技術に関する研究、熱帯農業, Vol. 22, No. 1, p. 34, 1978.
8) M. Yamashita : Farm Management Studies, MADA-TARC Cooperative Study, p.9, Tech. Bull. TARC, No. 14,1981.
9) 前出 1), p. 10.
10) S. Yashima, M. Tuchimochi: Quartery Report No. 3, p. 3, 1979.
11) S. Yashima, I. Kimata: Note of Discussion between KBK MADA & TARC, No. 25, p. 9, 1981.
12) S. Nakagawa, K. Maekawa: Report on the Water distribution in Field in the Muda River Irrigation Project Area, p.21, 1969.
13) S. Yashima, K. Ezaki: Agricultural Engineering Study on Weak Foundation in Muda Irrigation Project, p. 14, 1974.
14) T. Yamashita: Improvement of Weak Foundation of Paddy Fields by Subsurface Drainage System, p. 37, Tech. Bull. TARC, No. 18, 1984.
15) S. Yashima, M. Tsuchimochi: Agricultural Civil Engineering Reseach on Tertiary and On-farm Development in the Muda Area, Fig. 4, 1978.
16) K. Anyoji, SH. Thavaraj: Draft Report on the Suitability of Farm Mechanizaion on Weak Soil Foundation in the Muda Project Area, p.99-107, 1977.
17) 前出 14) p. 36, p. 59.
18) 前出 13) p. 15.
19) 桂山幸典: 土壌面蒸発、農業土木研究 18(1), p. 3, 1950.
20) 前出 1) p. 9.
21) K. Sugimoto: Plant-Water Relationship of Indica Rice in Malaysia, p. 8-14, Tech. Bull. TARC, No. 1, 1971.
22) 前出 3) p. 26.

23) 前出 12) p. 27.
25) 江崎要、八島茂夫: 地耐力の変動特性と末端水路配置の重要性; マレーシア・ムダ地区における水稲二期作に関する農業土木研究(Ⅱ), p. 56,農業土木試験場報告第18号、 1979。
26) 前出 14), p. 44.
27) 前出 1), p.8, p. 9.
28) 前出 1) p. 8
29) 前出 1) p. 8
30) 田中稔: 稲作技術、p. 252、農文協

第３章　長距離田越潅漑田における潅漑進捗パターン

東南アジアの中でも、潅漑施設が最も整備されているといってよいムダ地区にも、5.8万エーカー(約23,500ha)の潅漑に問題のある地区が存在する[1)](図３・１)。これら問題のある地区は、標準1.6kmもの長距離田越潅漑のもとでの、圃場内配水の困難性から、適正に潅漑用水を得られない水田である。空から直接、均等に圃場に降り注ぐ雨に比べ、潅漑用水は、乏しい位置エネルギーにより、地形の凹凸、畦畔、クラックなど、多くの障害を乗り越えて、横方向に移動しなければならず、潅漑進捗パターンの進展は、はかばかしくないものと推察される。本章では、潅漑パターンに関する、降雨と潅漑用水の特性を解析し、雨の有効利用と、潅漑用水節減の方法を考える。

３・１　ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける初期潅漑期の潅漑進捗パターン

図２・１には、1979年から1981年までの、移植、ならびに、収穫作業の進捗状況と共に、初期湛水の進捗状況が示してあるが、その年隔差は著しい。

1979年の初期潅漑期には、3月1日に潅漑を開始して以来、4月8日までは、ほとんど降雨が無く、潅漑用水が供給水量の主役となった(図３・２)。潅漑開始後２週間は、潅漑進捗パターンは順調に伸びているが、潅漑進捗率が60％を越える頃から、それは鈍りだす。３月20日過ぎには1週間にわたり、最大設計流量12.6mm／日を大幅に上回る取水をしているにもかかわらず、潅漑進捗パターンの伸びは芳しくなく、やっと65％に達したのみである。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックでは、この辺りが、潅漑のみでカバーできる、湛水面積の限界と思われ、残り35％が潅漑困難地区に区分されるべき水田といえるであろう。雨が降り始めるのは４月９日からで、降雨の度に湛水面積が拡がってゆくのがわかる。

1979年と対照的なのが、1981年の初期潅漑である。この年は、作期が大幅に遅れ、初期潅漑が始まるのは、3月28日からである。この頃には、もう雨期に入っており、3月31日からは連日まとまった降雨が続き、わずか２週間で地区の90％が湛水している(図３・４)。さらに、4月19、20日に降った61mmの降雨により、この年の初期湛水は極めて円滑に完了した。

1980年の初期潅漑は、1981年と同じく、潅漑開始時期は3月28日と遅かった。最初の10日間には雨は無く、潅漑用水のみにより、潅漑進捗パターンは伸びていった。潅漑進捗率が60％に達し、そろそろ潅漑進捗パターンの伸びが鈍りだそうという４月８日に、65mmの大雨があり、湛水面積は80％まで一気に上昇した。しかし、あとが続かず、潅漑水量も計画最大取水量の12.6mm／日を確保出来ず、潅漑進捗パターンは完全

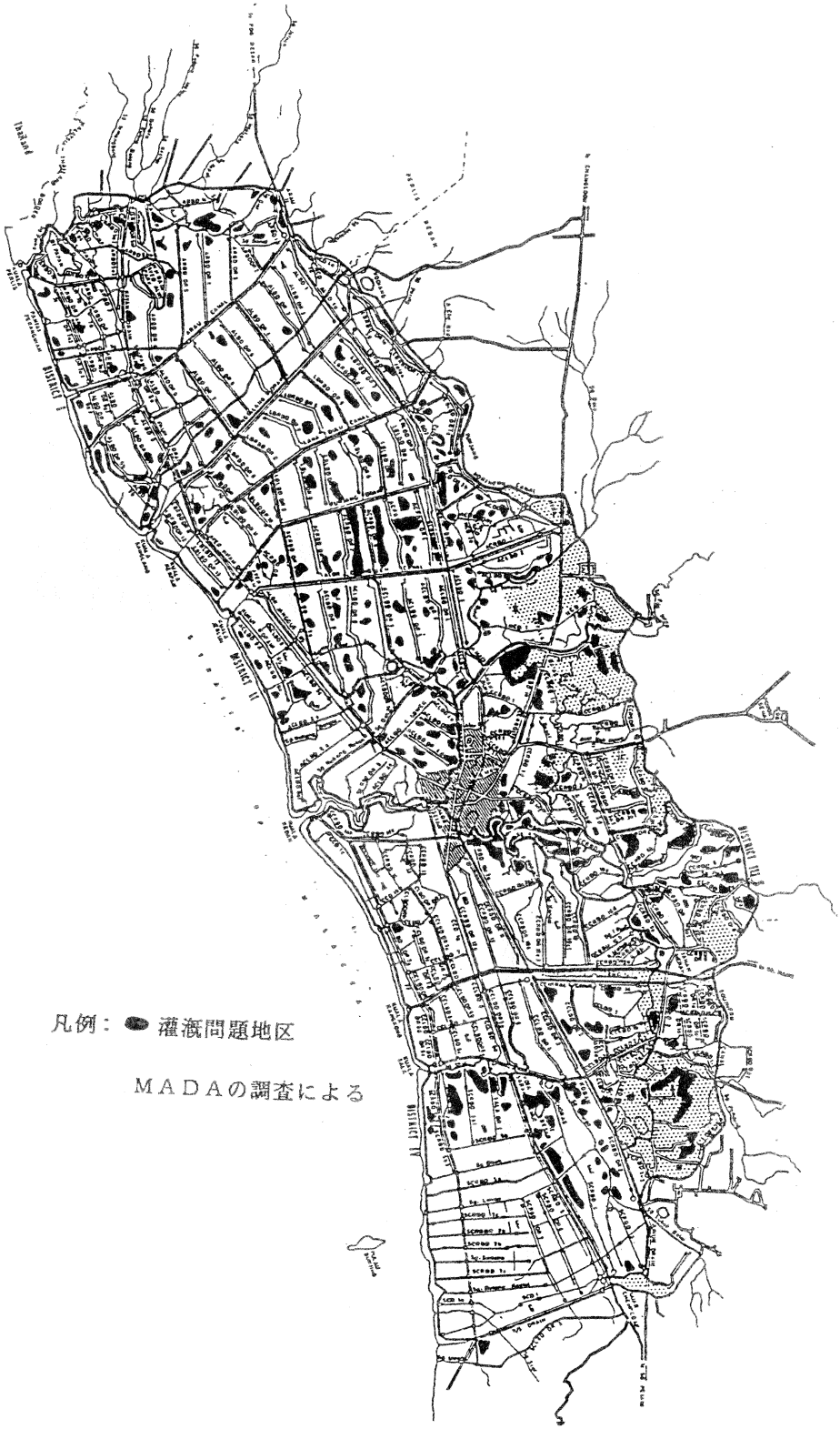


図３・１　ムダ地区における灌漑問題地区の分布

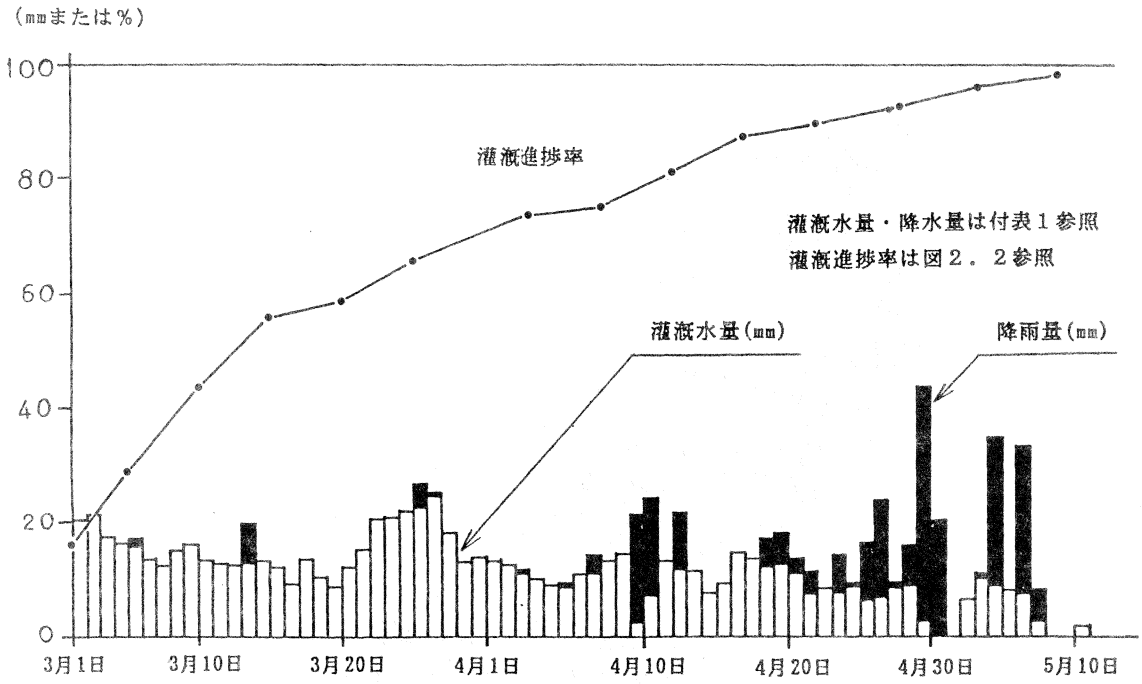


図３・２　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける1979年第1作の初期灌漑進捗状況

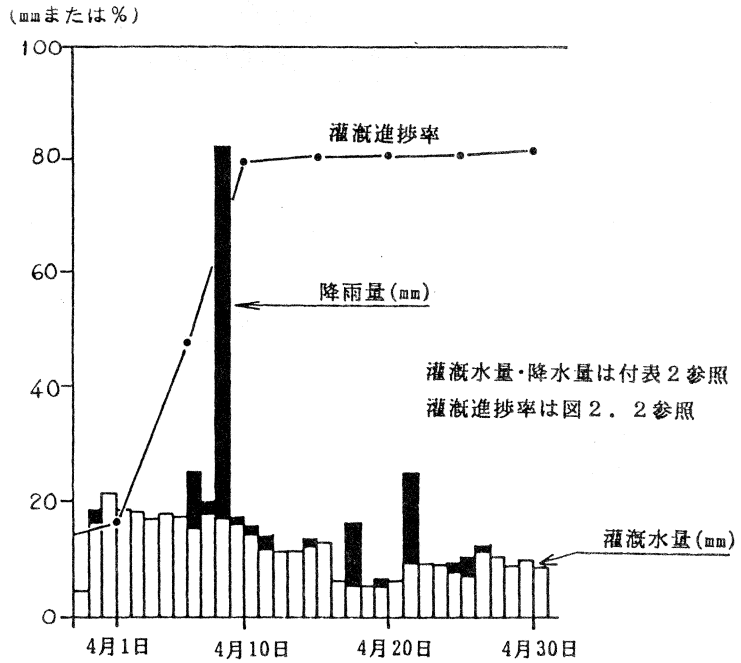


図３・３　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける
1980年第1作の初期灌漑進捗状況

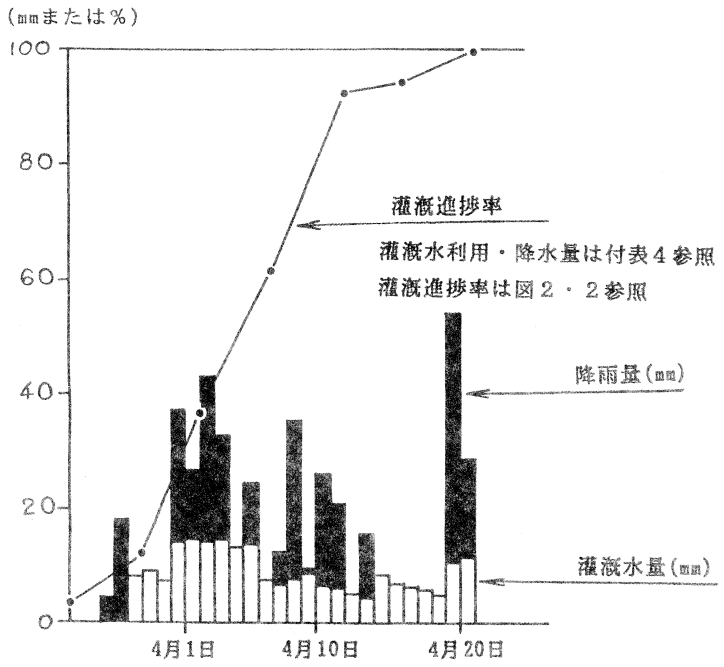


図3・4　ACRBD4灌漑ブロックにおける
1981年第1作初期灌漑進捗率

に停滞してしまった。

ACRBD4潅漑ブロックでの初期湛水の完成は、一重に雨の降り方如何にかかっており、天水田的性格がまだ色濃く残っているといえる。

3・2　湛水所要期間と供給水量との関係

標準1.6kmもの長距離田越潅漑のもとでは、空から直接圃場に降る雨と比べ、潅漑の効率は著しく低いであろうことは、前節の潅漑進捗パターンの実態を見ても、容易に推測できるところである。本節では、初期潅漑期における潅漑進捗パターンに関して、降雨と潅漑用水の効率の差を解析してみることとする。

MADAでは、1979年以来、地区内の110の潅漑ブロックごとに、一人づつ張付けているラインオペレーターに、ムダ地区全域の作期の進捗状況を観測させている。これと、ムダ地区内の55カ所に満遍無く配置されている雨量観測所のデーター、第1作初期潅漑期の潅漑用水の大部分を取水している、ペルーバン頭首工の取水データーから作成したのが、図3・5から3・8までの初期潅漑進捗パターン図である。これらの図には、横軸に時間（日数）をとり、縦軸には潅漑進捗率を%で、降雨量と潅漑水

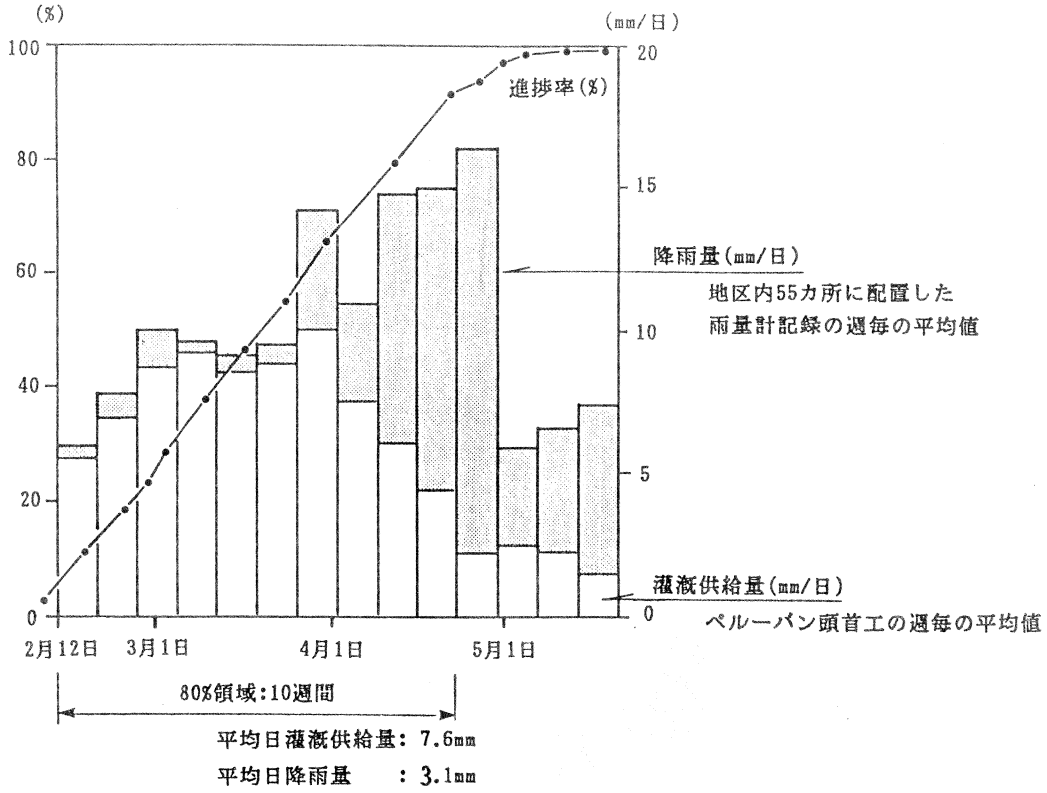


図３・５　ムダ地区の1979年第1作初期灌漑進捗状況

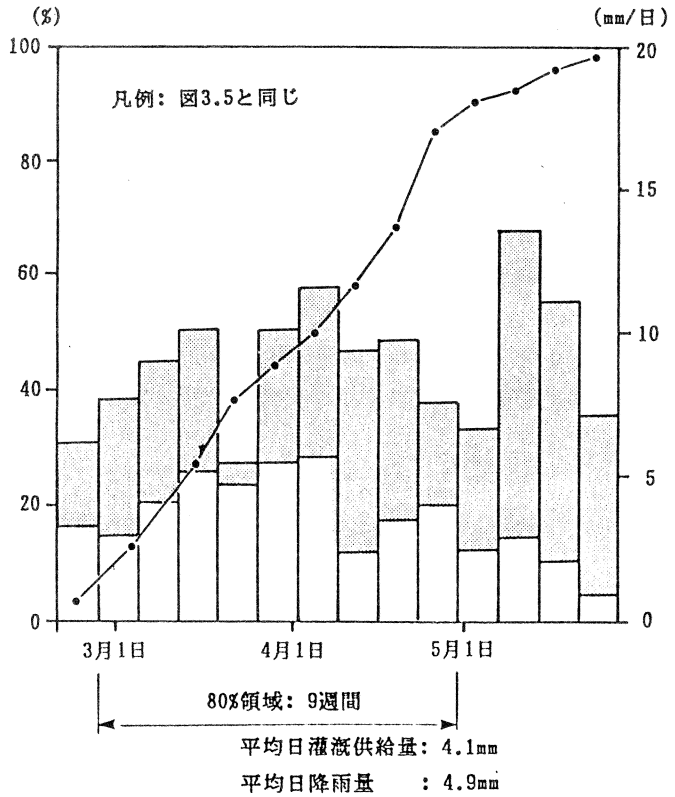


図３・６　ムダ地区の1980年第1作初期灌漑進捗状況

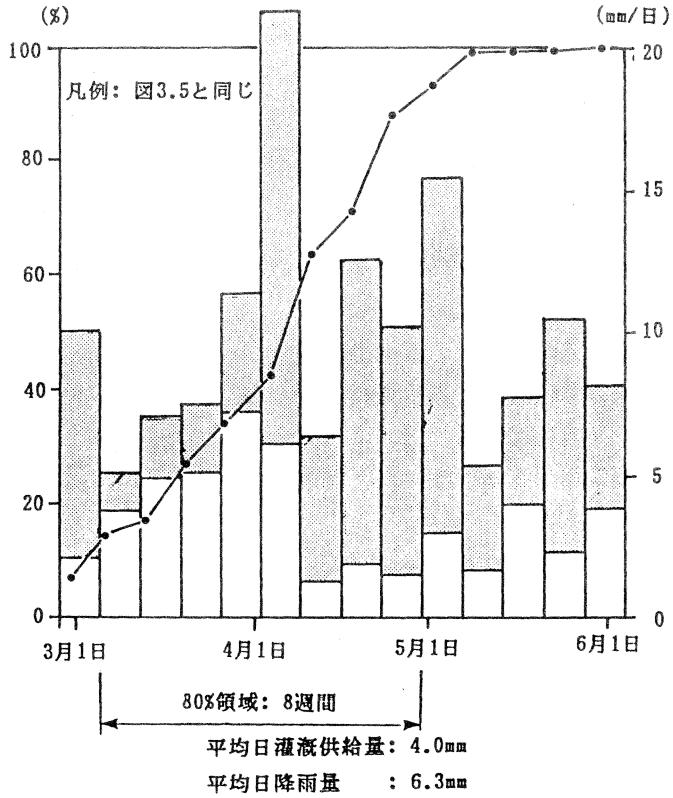


図３・７　ムダ地区の1981年第1作初期灌漑進捗状況

量を週毎の日平均値（mm)で示してある。図化したのは、1979年から1982年までの4年分である。1983年以降は、２年３作の作付け体系となり、この４年間とは条件が異なり、ＭＡＤＡのデーター整理も未完成であることなどから、検討の対象外とした。

1979年の初期潅漑は、計画通り、２月上旬から始まり、その進捗パターンは，図３・５に示すように、潅漑開始以来、一直線に90％までたっしている。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックでは、潅漑進捗率が鈍化し始める60％のところで、丁度雨が降り始め、湛水面積は順調に拡がっていった。10％から90％までの潅漑進捗率に相当する期間を、図中には、80％領域と表示してあるが、この年はこれに10週間を要し、４年間のうちでは最長となった。この10週間に供給された潅漑用水量は１日当たり 7.6mm、降雨量は3.1mmとなる。

1980年の場合は、２月下旬から潅漑が始まるが、同時に、適度の雨も降りだし、潅漑進捗率は順調に伸び、80％領域は、1979年より短い９週間となった。この間の供給

水量は、潅漑用水が 4.1mm／日、降雨量が 4.9mm／日であった。

1981年の場合は、前年同様、２月下旬から潅漑が始まったが、４月に入ってからまとまった降雨があり、湛水所要期間はさらに短縮し、80％領域は８週間となった。この間の供給水量は、潅漑水量が 4.0mm／日、降雨量が 6.3mm／日であった。

1982年の場合は、深刻な用水不足に見舞われ、潅漑が大幅に遅れて４月上旬となった。この時、既に雨季に入っており、多量の降雨に助けられて、極めて短期間に湛水が進み、80％領域はわずか５週間に短縮した。この間の供給水量は、潅漑水量が 1.7mm／日、降雨量が 8.8mm／日であった。

以上のように、初期湛水所要期間は、年によって大きな差がある。一方、潅漑水量と降雨量を合わせた、１日当たりの平均供給水量は、1979年から1982年まで、それぞれ、10.7mm、 9.0mm、 10.3mm、 10.5mmと大きな差はない。しかし、そのなかの降雨量は、それぞれ、3.1 mm、 4.9mm、6.3mm、8.8mmと80％領域の長さに反比例する形で増大している。

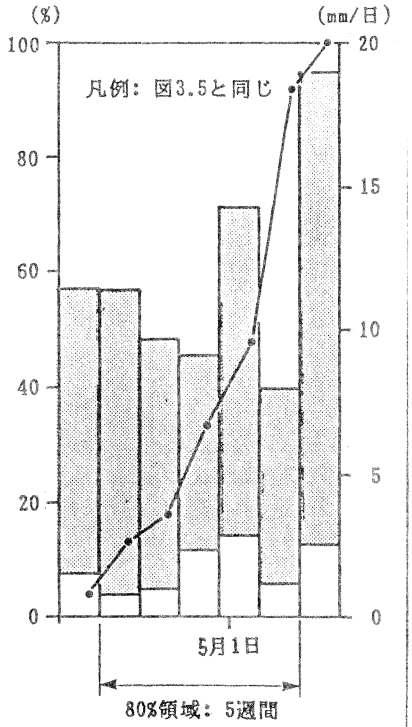


図３・８　ムダ地区の1981年第1作初期灌漑進捗状況

ここで、80％領域の長さ（週）を目的変数、その期間中の平均日雨量（mm／日）と潅漑用水量（mm／日）とを説明変数にして、これらの関係を重回帰式であらわすと、次のようになる。

$$P = 16.02 - 1.16R - 0.29I \qquad (r = 0.987)$$

ここに、

Ｐ：　初期湛水所要期間（週）

Ｒ：　同上期間中の平均日雨量（mm／日）

Ｉ：　同じく平均潅漑水量（mm／日）

データーが４組しか無く、信頼性に問題がないとは言えないが、各年の潅漑進捗パターンと、供給水量との内容を比べてみると、実態を良く説明しているように思われ

る。即ち、潅漑の重回帰係数は、降雨の４分の１となっているが、これは取りも直さず、湛水面積の進展に関する限りにおいては、潅漑は降雨の４分の１の効率しか無いことを示している。

ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックについては、３年分の３組のデーターのうち、1980年は80％までしか潅漑進捗率を追跡しておらず、有効データーは２組のみになり、重回帰式に適用できなかった。

３・３　圃場内の水の動き

潅漑進捗率に関して、降雨に比べて、潅漑の効率が著しく低くなるのは、水平方向となる潅漑用水の動きが、地形条件に大きく制約されるためと考えられる。そこで、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける、実際の水の動きを追ってみることにする。

ブロック内の重点観測地域には、第２支線用水路から第２支線排水路に向かって、1.5kmの間に８列の水位観測点を配置してある（図２・４参照）。列には、最も用水路よりのＡから、排水路よりのＨまで符号をつけた。各列は、 200m間隔に配置され

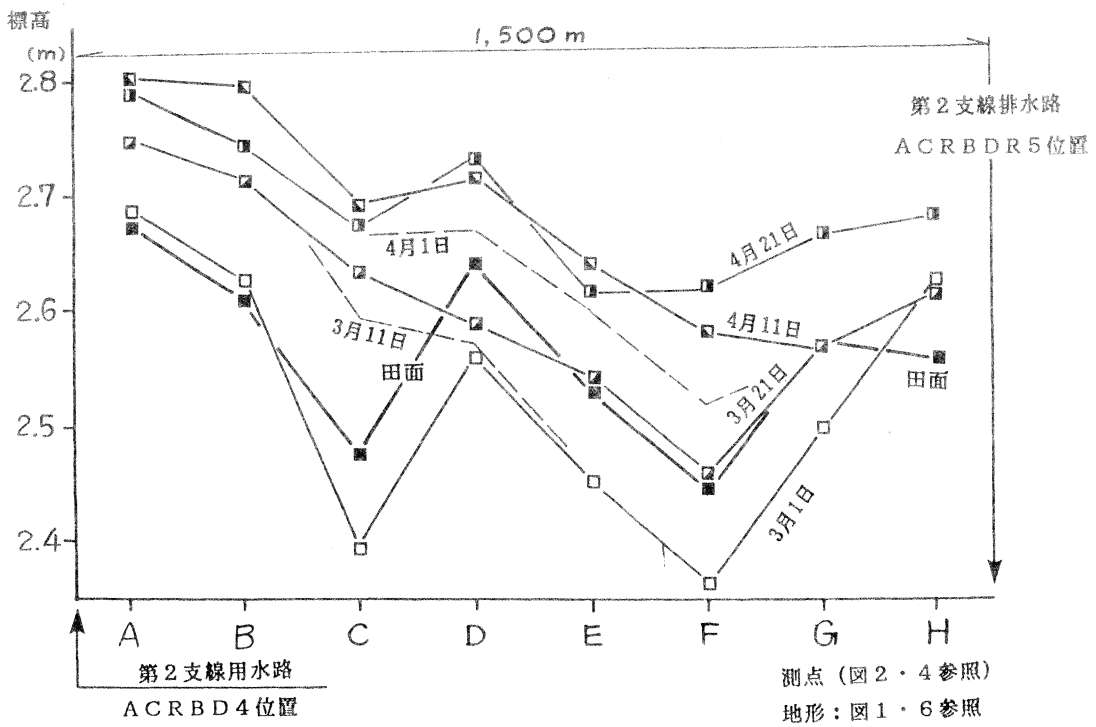


図３・９　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロック内の水位変化（1979年 第1作初期灌漑期）

た５カ所の水位観測点により構成されている。

各列の平均田面高と水位は、図３・９のとおりである。なお、水面が田面以下の場合は、図２・１０の地下水位と圃場気相量との関係から算出した土壌浸潤用水量（水深表示）に換算し、これをマイナス値で計上した。これにより、湛水位と地下水位が、水深表示の水量として、同じ次元で比較できる。

40点の観測点の平均田面高は 2.564mである。縦断的には、Ａ段が最も高く、Ｃ段、Ｆ段が低く、Ｄ段が突出した形となっている。図では、縦軸、横軸の縮尺差を大きく採り、高低差を誇張しているが、実際の差は極めて小さく、200m隔っているＣ段とＤ段の高低差は、わずか16cmに過ぎない。しかしながら、水面の変化をたどってゆくと、このわずか16cmの標高差が、圃場内の水の動きを著しく制約していることが分かる。

各列の湛水位の変化を、３月１日から１０日キザミに、４月２１日まで図示した。潅漑開始直後の３月１日は、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ４からの潅漑用水と、第２支線用水路ＡＣＲＢＤ５からのバックイリゲーションにより、Ａ、ＢおよびＨ列が湛水し始めている。３月１１日には、用水はＣ列まで達するが、Ｄ列の高い地形に遮断され、前進を妨げられている。水面形から見ると、Ｂ～Ｃ間の水面勾配が急になっている一方、Ｃ～Ｄ間で水平に近くなっていることから、Ｃ列の窪地（図１・６参照）に沿って、大量の用水が地区外へ漏水している様子がうかがえる。３月２１日になっても、用水はＤ列の高い地形に阻まれ、依然としてＣ列で足踏み状態となっている。しかし、Ｃ列の水位が上昇してきていること、Ｂ～Ｃ間の水面勾配が緩やかとなってきていることから、Ｃ列に沿っての漏水が小さくなってきていることが推察できる。これは、土壌浸潤や畦畔補修などにより、クラックや欠口がふさがり、貯留能力が高まってきているためと思われる。

４月１日に、Ｄ列の高い地形を乗り越えるや、用水は一挙にＦ列まで達している。結局、Ｃ～Ｄ列間のわずか16cmの標高差を乗り越えるのに、20日もかかったことになる。ムダ地区のような、極端に平坦な地形条件のもとでは、わずかな地形変化が、潅漑進捗にこのように重大な影響を及ぼしているのである。

４月１日までの水面形は、用水路側から水面が順次下がって行く、潅漑水田型となっている。ところが、４月になり、雨季に入ると、地形なりの水面を示す、天水田型へ移って行く。４月９・１０日には合計26mmの雨が、更に、11日から20日までの間には合計23.5mmの雨があり(付表１)、４月２１日の水面型は、典型的な天水田型水面となって湛水は完成した。

水路密度で 10m／haの水田基盤整備水準のもとでは、潅漑水田への完全脱却は難しく、天水田的性格が、色濃く残らざるをえない。この点から、ムダ地区においては、将来、圃場水路が配置され、この地形条件を克服し、高い潅漑効率を実現できるようになるまでは、効率の高い４月からの雨季の降雨の利用を強く意識した作期計画を樹てるのも、用水不足対策の一つの重要な手段として考えられる。

３・４　潅漑開始日と湛水所要期間の関係

湛水所要期間と降雨量、潅漑用水量との間には、３・２節で述べたような、重回帰式が成り立つ。この式は、効率の良い降雨の比率を増すことにより、湛水所要期間を短縮でき、その結果、潅漑用水を節減できることを示唆している。降雨の比率を増すということは、潅漑開始時期を遅らせ、４月からの雨季の降雨を有効利用することに他ならない。

そこで、潅漑開始日を遅らせることにより、湛水所要期間と潅漑用水が、どの程度節減できるかを、試算してみることとする。計算の根拠とする降雨量は、アロースター空港測候所の雨量データーに基づく５年確率干ばつ年雨量1,940mm（図１・４）を、平均月間雨量（表１・３）により、各月に比例配分したもの（表３・１）とする。重回帰式には、月間雨量を月間日数で除した、平均日雨量を使用する。つまり、極めて不自然ではあるが、月間通じてある量の雨が、コンスタントに降ることになる。また、全期間を通じ、毎日10mmの潅漑用水が、コンスタントに供給されるものとして、湛水所要期間を算出すると、図３・１０のような結果を得る。

表　３・１　湛水所要期間の試算に用いた雨量

（単位：　mm　）

月	平均雨量	５年確率雨量	同左平均日雨量
1	42	38	1．2
2	62	56	2．0
3	112	101	3．3
4	212	192	6．4
5	245	222	7．2
6	169	153	5．1
7	209	189	6．1
8	208	188	6．1
9	285	259	8．6
10	303	275	8．9
11	213	193	6．4
12	82	74	2．3
計	2，135	1，940	－

アロースター空港測候所の雨量データによる（表1･3）
平均雨量：1947年～1982年の平均値
５年確率雨量：５年確率雨量（図1･4）を平均月間雨量により各月に比例配分

１月１日に潅漑を開始すると、湛水所要期間は76日となる。１日あたり10mmの潅漑用水を供給しているので、この間に 760mmの潅漑用水が供給されたことになる。２月１日開始の場合は67日間、３月１日は55日間、4月1日は39日間、５月１日は37日間と、潅漑開始日が遅れるほど、降雨が有効に働いて、湛水所要期間は短縮してゆく。１月１日開始に比べ、５月１日開始の場合は、湛水所要期間は39日間短縮でき、390mmの潅漑用水が節減できる。これは、ムダ地区水田面積95,855haに対する水量にして、3.7億 m^3 にもなる。初期潅漑開始に当たり、ダム貯留量が不十分な場合には、ここでも、潅漑開始時期を遅らせ、４月からの、雨季の雨を有効利用できる作期を採用する

ことが、現実的な用水不足対策となる。

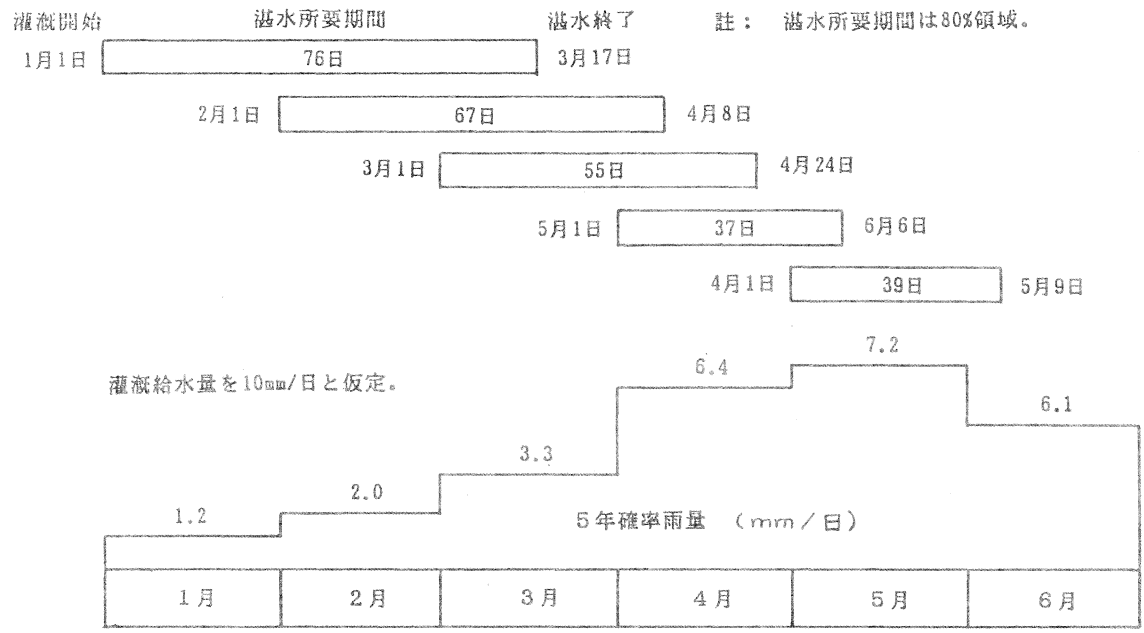


図３・１０　灌漑開始日と湛水所要期間との関係

引用文献

1) MADA: Feasibility Report on Tertiary Irrigation Facilities for Intensive Agricultural Development in the Muda Irrigation Scheme Malaysia, Annex 15, p. 3, p. 4, 1977.

第４章　水稲二期作と水田地耐力

水稲二期作のもとで、年２回の作付けを確保するためには、農作業を能率良く、短期間にこなしてゆく必要がある。ムダ地区ではこのため、人力や畜力による農作業の中で、最も労力を要する耕うん作業がいち早く機械化された。耕うんに次ぐ重作業である収穫作業の機械化については、1980年頃までに、民間の農作業請負業者の手で機械化は達成された。現在、移植作業が、機械から取り残された、最も労力を要する農作業となっている。

このように、高度に機械化が進んでいるムダ地区においては、農業機械の走行地盤となる、水田地耐力の維持が重要課題となってくる。ところが、水稲二期作のもとでは、地耐力低下の原因となる機械化農作業が大幅に導入され、さらに、低下した地耐力を回復するために有効な田面乾燥の機会が、著しく減少することなどから、水田地盤の軟弱化が懸念される。

ムダ地区では、二期作導入当初、作業能率を考慮して導入された、大型トラクタによる耕うん作業が、著しく地耐力を低下させるという問題が実際に発生した。しかし、排水不良条件下でも、耕盤を損傷しないような耕うん方法をとり、乾季に土壌を十分に乾燥すれば、雨季の湛水状態のもとでも、機械の走行に耐えられる地耐力の維持が可能であることが分かった。

４・１　水稲二期作導入時における地耐力低下

ムダ地区への水稲二期作導入に先立ち、ＭＡＤＡは、耕うん作業の機械化を強力に推進した。その結果、二期作が始まる1970年までには、地区の約80％に、60～70馬力の大型トラクタによるロータリー耕が、全面的に普及していた。これらのトラクタは、中国人商人・大土地所有者などの金持ち階層が、請負農作業のビジネス用に購入したものが大部分である。そのため、経済性が重視され、高能率の大型トラクタが導入されたのである。

ところが、水稲二期作が開始されてまもなく、水田地耐力の低下と、トラクタの稼働困難が、各地で報告される事態となった。この状況を、1971年９月から11月にかけて、北部ムダ地区の約５万 haを対象に調査した水田地耐力と、トラクタの走行性によって明らかにした[6,7]。水田地耐力は、概ね1.6ｋｍ間隔で、コーンペネトロメータによって測定した。また、トラクタの稼働状況は、測定地点近辺の農家からの聞き取り調査によった。

170点で調査を実施し、その結果は図４・１、および、表４・１のとおりである。水田地耐力の指標となるコーン指数は５cmキザミに深度80cmまで測定したが、表には

図４・１　北部ムダ地区における耕うん条件の分布

表　4・1　ムダ地区の二期作水田の地耐力（1）

測点	qc	走行性	測点	qc	走行性	測点	qc	走行性
1	2.8	C4	31	2.1	C3	61	2.5	C5
2	2.0	C2	32	3.0	C4	62	1.8	C3
3	0.2	C1	33	3.9	C4	63	2.1	C3
4	0.6	B3	34	2.9	C4	64	2.2	C5
5	1.8	C4	35	2.3	C3	65	2.4	C4
6	1.3	B3	36	2.3	C3	66	2.8	C4
7	1.1	C3	37	3.2	C5	67	2.0	C4
8	1.0	C3	38	3.9	C4	68	1.6	C3
9	1.9	C3	39	2.3	C5	69	1.7	C4
10	0.6	A1	40	3.3	C4	70	1.8	C3
11	3.2	C4	41	4.1	C5	71	2.2	C4
12	1.7	C4	42	2.4	C4	72	2.0	C4
13	2.0	C3	43	2.2	C4	73	1.8	C4
14	1.0	C3	44	3.1	C5	74	1.4	C4
15	1.4	C4	45	1.5	C3	75	1.5	C4
16	3.2	C4	46	2.1	C4	76	1.3	C3
17	1.7	C4	47	3.1	C4	77	1.0	C3
18	3.5	C4	48	3.7	C5	78	1.1	C3
19	1.5	C4	49	1.2	C4	79	2.8	C4
20	0.3	C3	50	2.0	C4	80	2.1	C4
21	2.5	C4	51	1.1	C3	81	2.4	C4
22	2.3	C4	52	3.1	C3	82	1.9	C3
23	2.0	C4	53	2.7	C3	83	1.8	C4
24	1.2	C4	54	2.8	C4	84	1.3	C3
25	1.1	C4	55	2.8	C4	85	1.4	C3
26	1.1	C4	56	3.2	C4	86	1.6	C3
27	1.8	C4	57	2.3	C3	87	2.2	C4
28	2.2	C4	58	2.1	C3	88	4.9	C5
29	0.9	C3	59	1.1	C4	89	3.6	C5
30	2.1	C3	60	2.0	C4	90	2.9	C3

qc：深度20cmのコーン指数（ kg/cm²）

走行性：表4･2参照

表　4・1　ムダ地区の二期作田の地耐力（2）

測点	qc	走行性	測点	qc	走行性	測点	qc	走行性
91	2.6	C4	121	2.7	C4	151	4.7	C4
92	4.0	C5	122	2.8	C4	152	4.1	C4
93	2.7	C4	123	3.2	C5	153	2.9	C4
94	2.7	C3	124	3.7	C4	154	4.8	C5
95	2.8	C3	125	2.7	C5	155	4.9	C5
96	3.6	C4	126	5.2	C5	156	5.0	C4
97	1.8	C4	127	3.0	C5	157	5.2	C5
98	1.7	C4	128	2.5	C4	158	4.0	C4
99	1.9	C4	129	1.0	C4	159	6.3	C4
100	3.0	C5	130	1.6	C5	160	6.1	C5
101	5.6	C5	131	2.2	C4	161	1.6	C4
102	5.4	C5	132	2.9	C5	162	>10	C5
103	7.6	C5	133	3.3	C5	163	6.8	C5
104	1.7	C3	134	4.9	C5	164	6.8	C5
105	>10	C5	135	3.5	C3	165	5.9	C5
106	－	－	136	1.6	C3	166	3.1	C4
107	3.5	C4	137	3.4	C4	167	3.1	C4
108	4.6	C5	138	3.5	C4	168	5.9	C5
109	6.0	C4	139	2.8	C3	169	1.2	C4
110	3.2	C3	140	4.0	C4	170	4.9	C5
111	4.0	C5	141	2.8	C3			
112	3.6	C4	142	3.0	C5			
113	5.2	C4	143	2.0	C5			
114	2.5	C4	144	3.4	C5			
115	3.7	C4	145	3.3	C5			
116	2.7	C5	146	5.2	C5			
117	5.6	C5	147	5.2	C5			
118	3.0	C5	148	3.2	C4			
119	3.5	C5	149	3.9	C3			
120	2.9	C4	150	4.0	C3			

深度20cmのコーン指数のみ記した。これは、後に述べるが、湛水条件下における大型コンバインの走行性判定基準として、深度15～20cmのコーン指数が適しているからである。

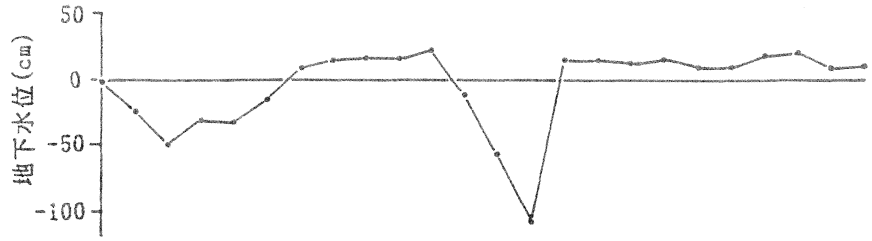
表４・２に示したように、二期作導入前のトラクタの走行性については、３段階に分類し、それぞれにＡからＣまでの記号を付した。Ａは、１年中ほとんど乾燥することがなく、大型トラクタも動力耕うん機も使用できない軟弱地盤で、その面積は全体の 0.4％であった。Ｂは、大型トラクタは進入できないが、動力耕うん機なら使用できる程度の軟弱地盤で、これも 0.8％とわずかな面積であった。Ｃは、大型トラクタの使用が可能な水田で、 98.8％という極めて高い率であった。このように、二期作導入前は、極く一部の水田を除き、ほとんどの水田で、大型トラクタの稼働が可能であったことになる。

二期作導入後の耕うん条件については、５段階に区分し、それぞれに１から５までの記号を付した。１は最も悪い条件で、第１作、第２作とも機械の使用ができない水田である。その比率は 0.7％であった。２は、第１作は動力耕うん機を使用できるが、第２作はできない水田で、0.4％であった。３は、大型トラクタは使用できないが、両シーズンとも、動力耕うん機を使用できる水田で、 21.6％であった。４は、第１作には大型トラクタを使用できるが、第２作にはできず、動力耕うん機なら使用できる水田で 46.3％となった。５は、両シーズンとも、大型トラクタを使用できる水田で、31.0％となった。二期作導入前は、ほぼ全域で大型トラクタの使用が可能であったものが、二期作導入後は、わずか 31％に激減していることが判明した。

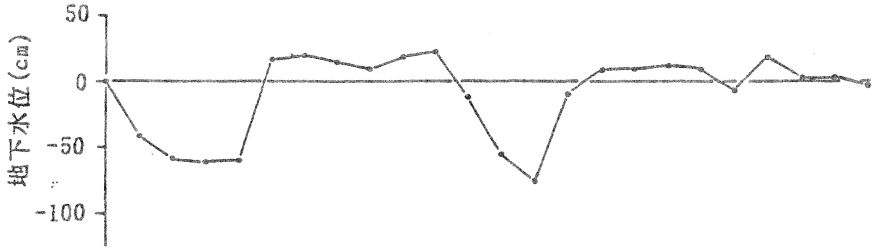
表　４・２　北部ムダ地区における耕うん条件

時　期	耕うん条件		記号	面積	比率
	第１作	第２作		（ｈａ）	（％）
二期作導入前		機械作業不可	Ａ	２０２	０．４
		動力耕うん機可	Ｂ	４２５	０．８
		大型トラクタ可	Ｃ	５１，９１８	９８．８
二期作導入後（1971年）	機械作業不可	機械作業不可	１	３６４	０．７
	動力耕うん機可	機械作業不可	２	２０２	０．４
	動力耕うん機可	動力耕うん機可	３	１１，３５６	２１．６
	大型トラクタ可	動力耕うん機可	４	２４，３２６	４６．３
	大型トラクタ可	大型トラクタ可	５	１６，２９７	３１．０

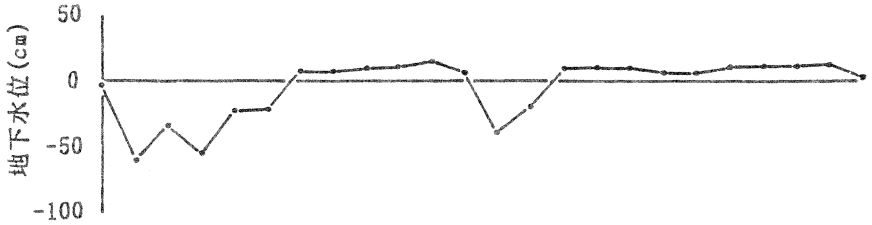
1．第3号井(1969年単期作、1970年二期作)



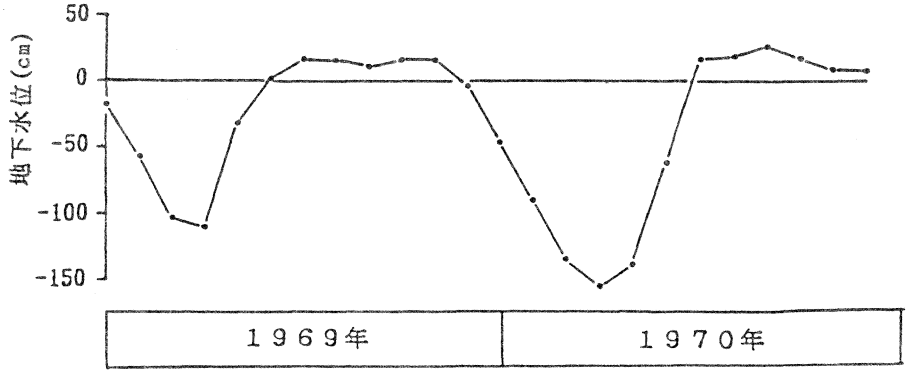
2．第5号井(1969年単期作、1970年二期作)



3．第7号井(1969年単期作、1970年二期作)



4．第8号井(1969年単期作、1970年単期作)



ペルリス州排水灌漑局観測データー
位置（図１・３参照）

図４・２　二期作化による地下水位の変化

地耐力低下の原因の一つは、乾季にも潅漑により湛水することから、田面乾燥期間が著しく短縮されたことである。その状況は、ペルリス州潅漑排水局がムダ地区北部で観測していた井戸の水位記録に見ることができる。井戸は、深さ 2m、面積 100m² 程の大きな穴で、そのなかにしみだしてくる水を、農家が生活用水に使用しているものである。観測していた17カ所の中から、外水と完全に遮断されている４つの井戸を選び、その水位をまとめたのが、図４・２である。

観測は週１回であるが、図にはその月間平均値を示してある。図示した1969年と1970年のうち、1969年は全観測井とも単期作であった。1970年は３、５、７号井で二期作、８号井で単期作であった。井戸により多少差はあるが、単期作時には１２月から６月にかけ、７カ月間の田面乾燥期間があったが、二期作後は、12月から２月までの３カ月間程度に短縮していることが分かる。乾燥期間の短縮は、当然、地耐力に悪影響をもたらす。

もう一つの原因は、従来の畜力によるり耕に替わる、馬力の高い大型トラクタによるロータリー耕が、耕盤層を破壊したことである。ロータリー耕の耕深は、10～20cmである[7]。湛水下で、土壌が膨軟化した水田では、仮に、車輪が10cm沈下したとすれば、そのままでは、耕深は20～25cmになってしまう。馬力の低い小型トラクターの場合は、負荷が増して、そのような深耕は出来ないので、ロータリーを引き上げて、耕深を浅くせざるを得ないが、馬力の高い大型トラクタの場合は、小まめな耕深調節はせず、そのまま、力まかせの、乱暴な作業を続行してしまう傾向がある。ムダ地区では、１作当たり、荒起しと代掻きにそれぞれ最低２回、合計４回ロータリーをかけるので、このような無謀な作業を行なうと、水田の軟弱化は、加速度的に進行する。

安養寺はテロチェンガイの圃場で、耕うん方法と地耐力との関係を試験している[1]。それによると、深度25cmまでの平均コーン指数で2.0kg／cm² の水準の地耐力を有する圃場において、次のような試験結果を得ている。

乾季中も田面を乾燥させず、湛水しつづけた場合には、深度25cmまでの平均コーン指数で、0.39kg/cm² の地耐力低下が認められた。耕うん方法と地耐力については、無耕うんに比べ、２輪の動力耕うん機によるロータリー耕では 0.50kg/cm²、70馬力級４輪トラクタに搭載したロータリー耕うん機では0.89kg/cm²、65馬力級セミクローラー型トラクタ搭載のロータリー耕うん機では0.46kg/cm²、同じくドラムローター耕うん機では0.14kg/cm² の低下が認められた。

この結果から、田面乾燥期間の短縮、高い接地圧を有する大型トラクタの車輪、深耕を招くロータリ耕うん機の使用は、水田地耐力低下の大きな要因となっていることがよく説明されている。ムダ地区では、間もなく、大型トラクタはほとんど姿を消し、動力耕うん機と、20～30馬力級の小型トラクタが、耕うん機の主役の座を勝ち取り、軟弱地盤問題は一旦は治まった。最近では、再び、トラクタの大型化が始まり、40馬力級の中型トラクタが普及し始めている。ＭＡＤＡの未公表資料によると、ムダ地区内の耕うん機の概数は、４輪トラクタが2,000台、動力耕うん機が 6,000台となって

いる。

４・２　農業機械の走行性と水田地耐力

ここで、農業機械と、その走行性に支障を及ぼす軟弱地盤との関係を検討してみたい。ムダ地区で軟弱地盤が問題になるのは、雨季の湛水状態で行なわれる第１作の収穫作業と、それに続く第２作の耕うん作業である。湛水状態にあっては、表層にはほとんど支持力を期待できず、いわゆる耕盤支持型地盤となっている。

表４・３は、1973年にテロチェンガイで測定した普通型コンバインのワダチ深と水田地耐力である。機械は重量７ｔ、刈り幅４ｍ、接地圧 0.4kg/cm²のセミクローラ型コンバイン（クレイソン 975)である。地耐力は、ワダチ深測定カ所の至近において、底面積 6.45cm²のコーンペネトロメータにより測定したコーン指数で表した。

ワダチ深が浅いほど、機械の走行性は高まると考えられるので、ワダチ深は機械走行性を判定する一つの指標となりうる。表４・３の相関係数が示すように、ワダチ深は、深度15cmと20cmのコーン指数と、高い相関関係を持っていることが分かった。即ち、深度15cmまたは20cmのコーン指数を、普通型コンバインの走行性判定の指標とし

表　４・３　普通型コンバインのワダチ深と水田地耐力の関係

測定番号	ワダチ深（cm）	深度別コーン指数（kg/cm²）					
		d=0cm	d=5cm	d=10cm	d=15cm	d=20cm	d=25cm
1	7．0	0．0	0．0	0．3	0．9	2．7	2．9
2	8．0	0．0	0．0	0．3	1．2	2．1	3．0
3	4．0	0．0	0．0	0．3	1．3	4．1	5．0
4	11．5	0．0	0．0	0．3	0．6	2．0	2．7
5	7．5	0．7	0．6	0．3	0．4	1．4	2．1
6	2．5	0．0	0．1	0．3	2．3	6．5	7．1
7	1．5	0．1	0．3	1．1	0．9	6．6	7．1
8	5．0	0．0	0．1	0．7	2．7	5．0	5．3
9	3．5	0．1	0．3	1．4	3．3	5．6	5．8
10	8．5	0．0	0．0	0．4	2．1	5．6	5．9
11	8．5	0．0	0．7	0．3	0．5	3．0	4．8
CC		-0.221	-0.472	-0.570	-0.738	-0.713	-0.694

CC：相関係数

供試機械：クレイソン 975（重量 7t,セミクローラ型,接地圧 0.4kg/cm²）

て用いることができる。

なお、この試験では、同じワダチの上を数回往復させてみたが、測定No.5のみにおいて、2回目に車輪が16cm沈下し、コンバインは走行不能に陥っている。他の測定点では、深度20cmのコーン指数がいずれも2.0kg/cm²以上あるのにたいして、この測定点では1.4kg/cm²しかなかった。これからコンバインの安全走行には、深度 20cmのコーン指数が少なくとも 2.0 kg/cm²は必要であると言える。

次に、普通型コンバインの走行性と、水田地耐力の関係を明らかにするため、MADAが試験繰業していた農家圃場の地耐力を測定した。機種は、同じクレイソン 975である。コンバインのオペレーターは経験的に、走行性の良い圃場と、悪い圃場を熟知していた。良否の彼らの判定基準は、1日当たり4haの作業能率である。1日当たりという表現はあいまいであるが、8:30から16:00までの7時間半の勤務時間、その内、12:45から 14:00までの1時間15分の休憩時間、それに、作業効率を0.7と考えると、1日当たり実作業時間はほぼ4時間となる。従って、1時間当たり1haの作業能率が、普通型コンバインの走行性判定基準の目安となろう。

作業能率2ha/日以下の走行性不良水田、ならびに、4ha/日以上の走行性良好水田のそれぞれ5耕区で測定した地耐力をまとめたのが、表4・4である。不良水田と良好水田のコーン指数を比べてみると、深度10cmまでは両者間に差は見られないが、走行地盤となっている深度20cmでは顕著な差が現れ、不良水田の最大が 3.2kg/cm²であるのに対して、良好水田では最低でも5.0kg/cm²の高い値となっている。

表 4・4 普通型コンバインの走行性と水田地耐力

走行性	測定地点	土性（%）			深度別コーン指数（kg/cm²）								
	（灌漑ブロック名）	粘土	シルト	砂	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm
不良	ACRBD 8	62.8	29.1	8.1	0.0	0.0	0.2	1.6	2.6	2.4	2.4	2.4	2.4
	LBLBD 7	86.0	10.9	3.1	0.0	0.3	1.0	2.2	2.8	2.7	1.9	1.9	2.3
	ARBD 4	35.8	45.7	18.5	0.0	0.2	1.1	2.0	2.3	2.5	2.8	2.9	3.1
	ARBD 3	75.2	16.9	7.9	0.0	0.0	0.0	0.4	2.7	2.8	2.8	2.9	3.2
	ARBD 3	56.6	31.1	12.3	0.0	0.0	1.1	2.8	3.2	3.5	4.0	4.1	4.0
良好	CCRBD 1b	33.8	54.8	11.4	0.0	0.0	0.4	4.1	5.1	4.9	4.8	5.4	5.8
	CCRBD 1f	35.4	47.0	7.6	0.0	0.0	1.0	5.2	5.0	4.2	4.0	4.0	4.4
	CCRBD 1e	46.4	48.2	5.4	0.0	0.0	2.4	7.6	8.7	8.8	10.0	11.2	10.1
	ACRBD 1	45.0	45.2	9.8	0.0	0.0	1.5	4.8	5.3	6.3	6.8	8.1	8.8
	NCD 2b	42.2	43.5	14.3	0.0	0.1	1.5	5.3	6.3	5.9	5.2	4.9	4.5

コーン指数は、底面積6.45cm²コーンよる。1973年11月測定。

以上の結果から、湛水条件下での普通型コンバインの走行性判定基準は、深度20cmのコーン指数に基づき、次のように整理できる。

良好： 5.0kg/cm^{2}以上
不良： 3.0kg/cm^{2}以上
困難： 2.0kg/cm^{2}以上
不能： 2.0kg/cm^{2}以下

表４・１にある耕うん機の走行性区分５(第１作・第２作とも大型トラクタ作業可)に分類される、42地点のコーン指数（深度20cm)については、平均が4.35kg/cm^2、標準偏差が1.67kg/cm^{2}となり、70％信頼区間の下限が3.79kg/cm^{2}となるので、ロータリー耕うん機を装着した大型４輪トラクタの走行性判定基準は、4.0kg/cm^{2}と考えられる。

30馬力級トラクタについては、熱研プロジェクト研究「熱帯における水田機械化農作業」のなかでの試験結果がある[3]。それによると、普通タイヤ装着の場合は15cmまで、ハイラグタイヤ装着の場合は20cmまでに、次のコーン指数が得られることである。すなわち、後輪駆動の直進の場合は2.0kg/cm^2、旋回の場合は2.5kg/cm^2、4輪駆動直進の場合は1.4kg/cm^2、旋回の場合は2.0kg/cm^{2}である。

４・３ 水田地耐力の年間変動と強化対策

水田地耐力の強化対策としては、排水路を整備し、地表水、土壌水を速やかに排除し、田面を乾燥させるのが、日本における一般的な方法である。ムダ地区のような重粘土質の水田では、暗渠排水が効果的である。しかし、ムダ地区では、最末端用水路から排水路まで、標準1.6kmもの距離がある。現在、１５カ年計画で実施中のムダⅡプロジェクト完成後でも、その距離は、300～500m程度にしか短縮しない。雨季に、強制的な排水によって、田面を乾燥させ、地耐力を強化するのは、依然として困難である。日本におけるような、高い水準の基盤整備が実現し、排水改良による地耐力増強策が、ムダ地区にも適用できるようになるまでには、まだかなりの長年月を要するものと思われる。その一方では、耕うん・収穫作業の完全機械化が達成されており、何らかの方法で、地耐力の維持を図らねばならない必要性に迫られている。

ムダ地区における水田地耐力の年間変動状況を調べ、排水不良条件下での地耐力維持対策の可能性を探るため、1979年から1983年にかけ、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックに配置した40カ所の水位観測点において、毎月１回の水田地耐力の定期定点観測を行なった。観測結果は、表４・５のとおりである。地耐力の欄には、普通型コンバインの走行性と高い相関関係にある、深度20cmのコーン指数を記した。乾燥度の欄には、その月に、地下水位が30cm以下に下がった観測点の数を、百分率で記した。30cmという

地下水位を採ったのは、30cm以下に地下水位が低下すると、コーン指数が顕著な上昇を示す[4]ところから、水田地耐力を扱う上で、これが重要なポイントになると考えたからである。

各年の地耐力の変動は次のとおりである。1978年第２作の作期は、乾季へのずれ込みがなかったため、それに続く1979年第１作前の休閑期には、１、２月とも、全観測点で地下水位は30cm以下となった。このため、水田土壌は十分に乾燥され、深度20cmの平均コーン指数は10kg/cm^{2}に達した。３月から潅漑が開始され、土壌浸潤と機械化農作業のため、コーン指数は低下するが、作期を通して４kg/cm^{2}台のコーン指数が維持された。

1980年の乾季には、収穫が３月上旬までかかり、乾燥度合は1981年よりも低くなったが、３月は全ての観測点で、地下水位は30cm以下となった。水稲栽培期間中のコーン指数は、概ね4kg/cm^{2}台を維持していたが、12月には、初めて 4kg/cm^{2}を切ることとなった。

1981年の乾季は、作期がさらに遅れ、収穫に３月一杯かかったので、乾燥度合はま

表　４・５　水田地耐力の年間変動

月	１９７９		１９８０		１９８１		１９８２		１９８３	
	地耐力	乾燥度	地耐力	乾燥度	地耐力	乾燥度	地耐力	乾燥度	地耐力	乾燥度
1	10.0	100	5.4	5	3.6	3	-	0	3.4	0
2	8.7	100	9.3	93	5.3	15	6.6	5	3.8	0
3	6.0	18	7.9	100	5.4	88	9.0	83	4.2	58
4	6.9	0	5.6	0	6.3	0	5.2	45	3.8	35
5	5.0	0	4.1	0	5.7	0	4.4	0	3.2	23
6	4.5	0	4.7	0	5.4	3	3.4	0	3.0	0
7	4.6	0	4.7	0	5.5	0	3.6	0	3.1	0
8	4.5	5	4.6	0	5.5	0	3.3	0	2.8	0
9	4.1	0	5.0	0	6.4	3	3.6	0	2.6	0
１０	4.5	0	4.8	0	5.5	0	3.3	0	2.7	0
１１	4.4	0	4.2	0	-	0	3.3	0	2.8	0
１２	4.2	0	3.8	0	-	0	-	0	2.6	0

地耐力：ACRBD 4灌漑ブロック内の40観測田における深度20cmの平均コーン指数(kg/cm^2)

乾燥度：40観測田のうち、地下水位が30cm以下に下がった水田の百分率

すます低下し、乾季中にも、地下水位が30cmまで下がらない圃場も出現した。ところが、この年は、アロースター空港測候所開設以来の最低雨量を記録する、異常干バツ年となったため、雨季期間中にも、不十分ながらも田面が乾燥し、コーン指数は 5kg/cm²台の高い水準で推移した。

1982年には、乾燥度合は83％とさらに低下し、コーン指数は、３月に 9kg/cm²まで上がったものの、雨季に入ってから急速に低下し、4kg/cm²を大幅に下回る結果となってしまった。1983年には、２月に入っても、地下水位が30cm以下になる圃場が全く無い事態となった。３月に入って、田面乾燥のチャンスは訪れたが、乾燥度合は60％にとどまり、コーン指数も最大4.2kg/cm²に達したに過ぎない。そして、雨季には、ついに、３kg/cm²をも下回ってしまった。前節で述べたように、3kg/cm²を割る地耐力は、普通型コンバインの作業限界に近い値であり、これ以上地盤の軟弱化が進行すれば、コンバインを使用できない圃場が多数出現することになろう。

水田地耐力の変動は、１月から３月にかけての乾季中の休閑期の乾燥により、年間通じて最高値に達した後、３ないし４月の潅漑と耕うん作業により、急激に低下し、それ以降は潅漑期間中ほぼ横ばい状態を示すという、水田地耐力の年間変動のパターンは、各年共に、同じような傾向を示している。しかし、地耐力の強度には、表４・５に見るように、同一の水田でありながら、著しい差が生じることが判明した。その差は、乾燥条件が著しく異なる乾季中にとどまらず、湛水条件下にある雨季の水稲栽培期間中にも顕著である。最近、作期の大幅な遅れにより、9月から10月にかけて収穫作業が行なわれているが、この時期の地耐力を比較してみると、最高値は1981年の6.4kg/cm²であるのに対して、最低値は1983年の2.6kg/cm²となっており、大きな隔差がある。

このような雨季の地耐力の差は、潅漑期間中にたまたま干天が続き、水が切れ、軽度ではあっても、田面が乾燥することの効果によるところも大きい。さらに、１月から３月にかけての、乾季中に受ける乾燥によって、地耐力が高められ、それが年間通じての地耐力の基底水準全体を引き上げることも、この観測結果から確かめられた。

水田基盤の整備水準が低く、人為的な排水操作が難しい熱帯モンスーン地帯の水田でも、乾季中に、十分に水田土壌を乾燥できるような、計画的作付け体系を確立することにより、高度な基盤整備を実施しなくとも、機械化農作業に求められる、水田地耐力の維持は可能であると考えられる。

引用文献

1) 安養寺久男: 収穫作業機械化のための水田地耐力強化---マレーシア・ムダ地区の事例、農業土木試験場報告 第17号、1978年。

2) S. Yashima, K. Ezaki: Agricultural Engineering Study on Weak Foundation in Muda Irrigation Project, Table 4-2, 1974.
3) 熱研: 熱帯における水田機械化農作業に関する研究、p. 11, 熱帯農研集報 No. 49, 1984.
4) 江崎要、八島茂夫: マレーシア・ムダ地区の水田排水と地耐力、p. 166,農業土木学会誌 45(2),1977.
5) 八島茂夫:熱帯モンスーン地帯における水稲二期作について、農業土木学会誌 44(2), p.35～39, 1976.
6) 八島茂夫:水稲二期作に伴う水田地耐力の低下---マレーシア・ムダ地区における水稲二期作に関する農業土木研究(Ⅱ)、農業土木試験場報告 第18号、p. 31～41, 1979.
7) 農業機械学会:新版 農業機械ハンドブック、p.426、コロナ社、1981年.

第５章　水稲二期作安定化のための基盤整備

開発途上国における水田基盤整備事業では、事業費が著しく低い水準に制限される。ムダⅡプロジェクトの事業費も、約50万円/haに過ぎないが、他の開発途上国に比べれば、これでも、恵まれた方である。しかし、このような事業費では、日本の圃場整備事業にみられるような、総合的な事業内容は望むべくもない。そこで、開発途上国における水田基盤整備事業では、極めて限定された事業内容の中で、最大の効果を狙う、厳しい対応が求められる。

本章では、ムダ地区の水稲二期作を取り巻く、様々な問題を解決し、それを安定化するための、水田基盤整備の方法を検討する。その骨子と、問題解決のためのプロセスを予め概説すると、次のフローチャートのように整理できる。

二期作安定化のためには、これまで述べてきたように、作期の合理化が最も重要な課題である。それには、現在ほとんど利用されていない、落水の還元利用による水源の安定、農道造成による農業機械や労働力の効率的運用、末端用水路造成による潅漑効率の向上と計画的水管理の実現など、基盤整備事業の果たす役割は大きい。この他、短期品種の導入は、作期の合理化と共に、用水節減に極めて有効である。一方、末端排水路の造成は、水田地耐力増強、栽培技術の近代化などのための、必須の条件ではあるが、反面、水田用水量を増加させる恐れがあり、用水不足問題が解決されないうちは、その造成は見合わせるべきである。作期合理化により、乾季中に全地区一斉の休閑期が得られれば、現在大被害を及ぼしている病虫害の削減と、水田地耐力の増強が可能となり、さらに雨季最盛期の収穫の回避が図られ、モミ生産量の安定と農家所得の増収を期待できる。

５．１　乾季における一斉休閑期の重要性

ムダ地区のモミ生産高は、1970年に初めて水稲二期作が導入されて以来、1976年までは順調に伸びているが、それ以降は用水不足による作付け放棄や、ツングロ病の大発生などにより、むしろ下降線をたどっている(図１・２)。

単期作当時の収量は2.898t/ha(1965年～1969年の平均値)であったが、二期作導入後は高収量品種の導入や、潅漑の効果により、目覚ましい伸びを見せた。1979年から、マレーシア政府は、haあたり80kgに相当する、窒素を初めとする肥料を、農民に無償供与する事業を開始し、その年は4.387t/haという、過去最高記録を達成した。ところがその翌年から、ツングロ病が出始め、大発生した1982年第１作には、2.973t/haという、単期作当時の収量水準にまで落ち込んでしまった[1)]。

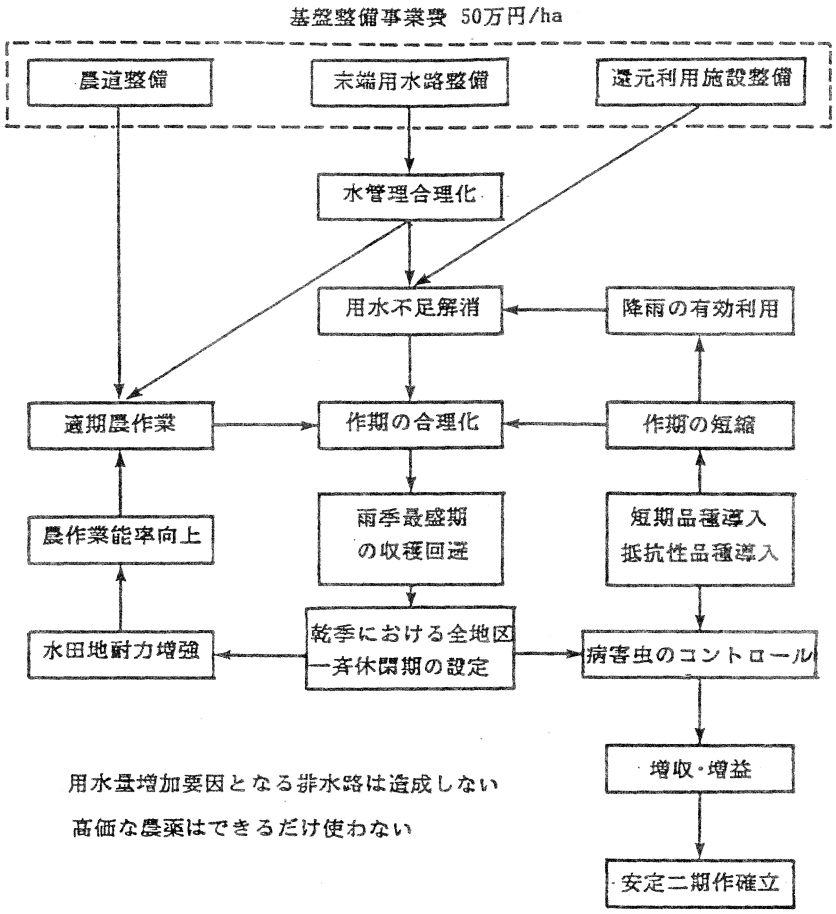


図５・１　ムダ地区水稲二期作安定化対策

ツングロ病はヨコバイ類、特に、タイワンツマグロヨコバイにより伝播されるウィルス病である。病稲から吸汁して、伝染能力を持った媒介虫により、ウィルスは機械的に伝播されてゆく。虫の体内でのウィルスの保毒期間は３日である。つまり、媒介虫が３日間病植物の汁を吸わなければ、その虫の伝染能力は、消滅してしまう[2)]。このウィルスは、媒介虫の卵によって次代に引き継がれることは無く、ある種の野草(Eleusine indica)を交換寄主として、無稲期間を過ごす[3)]。タンワンツマグロヨコバイのライフサイクルは、卵で６日、幼虫で21日、成虫で13日、計40日である[4)]。従って、このライフサイクルに合わせて、一定期間、地区全域から、ヨコバイ類のホストであるイネを無くしてしまえば、その撲滅には、極めて効果的である。雨期には、ひこばえや、落ち穂の発芽を防ぎきれないので、乾期中にこの対策を講ずるのが理想

的である。

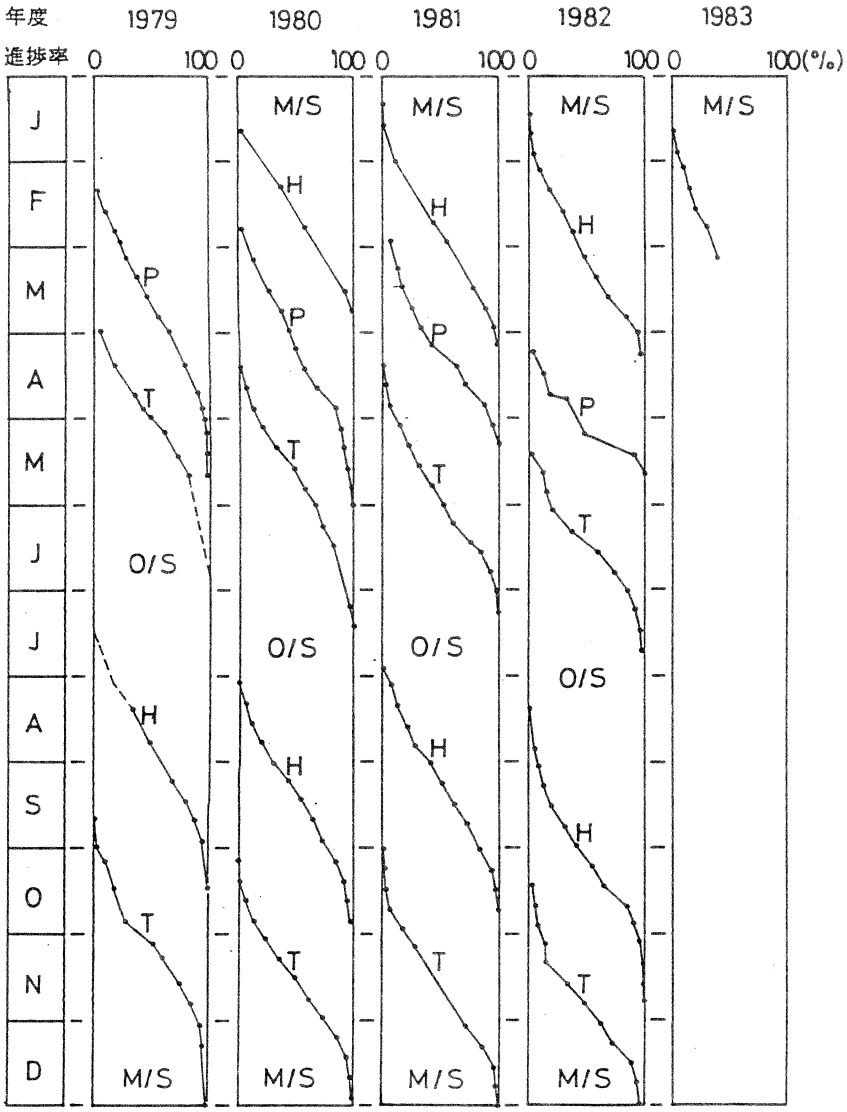
病害虫の防除方法としては、抵抗性品種の利用、薬剤散布、耕種的防除などがあるが、どれも単独では一長一短がある。抵抗性品種を軸として、薬剤散布、耕種的防除を適切に組合せた、総合防除により対処することが、最も現状に適した対策ということができる[5]。これらの中で、水田基盤整備技術が関与できる対策は、耕種的防除である。耕種的防除としては、作期の斉一化を図り、稲の栽培されない期間を最低２カ月設けること[6]、苗代で感染した病苗が本田に持ち込まれないよう、苗代設置場所に注意を払うこと[7]などが、ムダ地区のツングロ病に対して、有効な方法としてあげられる。

ここで、現在のムダ地区における、乾季中の無稲期間の状況を見てみたい。先ず、作期の時差であるが、現有作業手段をフルに稼働させた場合、農作業の中で最も日数を要する収穫[2,8]については、ＭＡＤＡによる1979年から1982年までの作期調査(図５・２）によると、作業進捗率10％から90％までの80％領域は、1981年第２作の52日が最も短かった。従って、現在ムダ地区で稼働している350台の普通型コンバインは、全水田面積を、少なくとも65日(52日÷80％）で収穫できる能力を有しているといえる。これから、ムダ地区全体の作期の時差を65日としておく。

無稲期間の終了日は、初期潅漑開始日とする。その理由は、現在の圃場条件では、面積率で４％にしかすぎない苗代に給水する際、本田をも湛水してしまうため、初期潅漑とともに、収穫時に落ちこぼれたモミや、雑草の種子が発芽し始めるからである。１４０日品種を中心に栽培している、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックの標準耕区の現況作期（表２・３）を参考に、ムダ地区全体の作期を構成してみると、水稲二期作所要期間は405日となる(図５・３の１）。第２作の収穫と第1作の初期潅漑は、40日にわたり重複してしまい、無稲期間は得られない。一耕区についてみると、第２作の収穫と、第１作の初期潅漑との間に、25日の休閑期が得られることになるが、同じ時期に、他の水田に、寄主となるイネやイネ科雑草が在るため、飛しょう能力を持つ媒介虫の防除には意味をなさない。

各経営単位ごとに通じる用水路、農道を造成し、苗代と本田への給水分離、適期適作業が可能となったとし、作期の時差65日、稲生育期間140日はそのままとして、作期を改良してみると、水稲二期作所要期間は65日縮まり、340日になり、25日の無稲期間を得られる(図５・３の２）。この場合、有稲期間は第１作の苗代への播種から第２作の収穫完了までとした。なお、第１作の収穫完了から第２作の本田準備期間は、耕うん、代掻きだけであれば15日でよいところを、雨季のため収穫後のワラの焼却に手間取ることを考慮して、30日としている。この期間はＭＡＤＡが奨励している25日の育苗期間ギリギリとなるため、専用苗代を採用し、収穫前に苗代準備に取り掛かることになる。

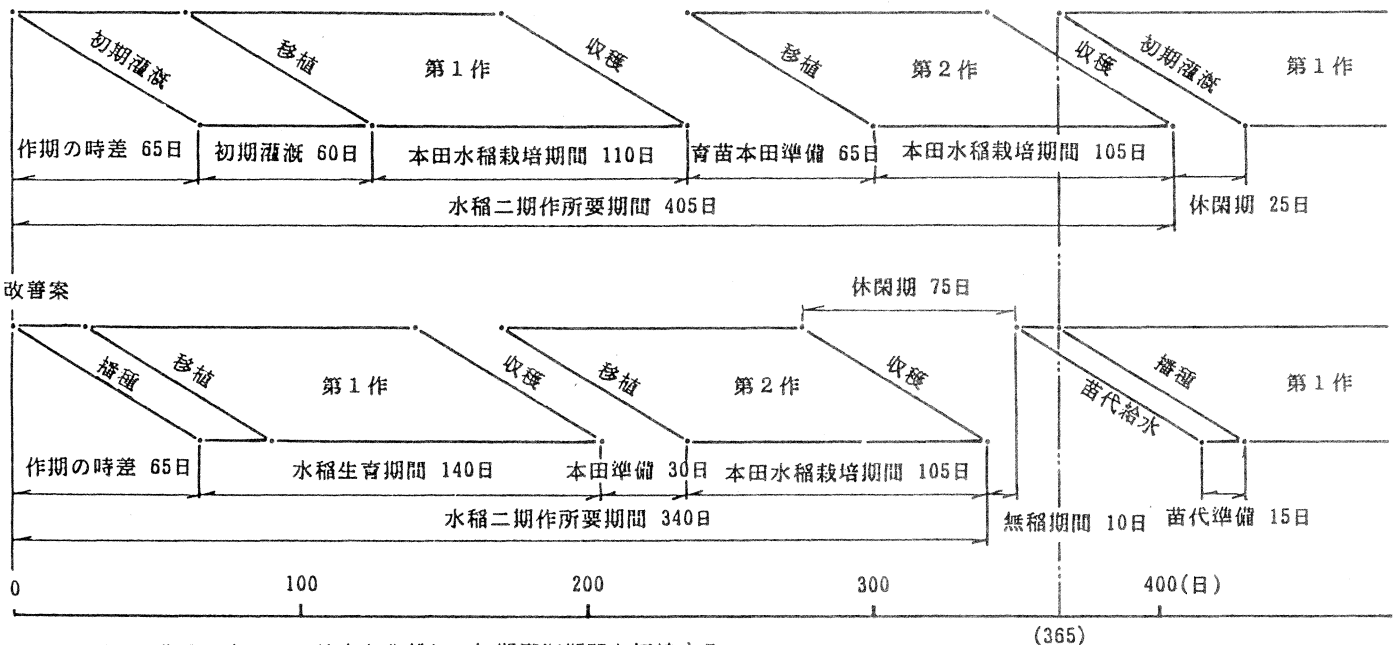
第１作の苗代給水は、潅漑用水に頼ることになるが、第２次支線用水路は素堀のため、クラックからの漏水により、水路沿いの溝畔や水田で、モミや雑草の発芽が一斉



凡例　P：初期灌漑
T：移植
H：収穫
O／S：第１作水稲栽培期間
M／S：第２作水稲栽培期間

図５・２　ムダ地区の実行作期

1．現況標準作期



2．改善案

改善事項　1.苗代と本田との給水を分離し、初期灌漑期間を短縮する。

2．専用苗代を採用し、第1作から第2作への移行期間を短縮する。

図５・３　ムダ地区における水稲二期作の標準作期

に始まるものと思われる。そこで、約15日間と考えられる苗代準備期間も、無稲期間から除くとすると、無稲期間はわずか10日に縮まってしまう。ツングロ病の媒介虫であるヨコバイの撲滅に必要な、２カ月の無稲期間を得ることは、現在の栽培体系では、きわめて難しいと言わなければならない。

無稲期間を、さらに延長する手段として、水稲生育期間の短縮が考えられる。マレーシア国内で現在実用化されている、生育期間125日の短期品種、たとえばＭＲ－１などを、現在の140日品種と入れ替えれば、両シーズン合せて、作期を30日間短縮でき、40日間の無稲期間を得られる。

乾季中に、２カ月もの無稲期間を得ることは、ほとんど不可能に近いが、水田基盤整備による水管理合理化、適期適作業の実践、短期品種の導入などにより、１カ月程度であれば、実現の期待はかなり持てそうである。１カ月もの期間、ムダ地区全体からイネが無くなれば、媒介虫の完全撲滅は無理としても、40日というライフサイクルを考えると、その数の大幅な削減の可能性は充分にあり、ツングロ病の発生を著しく抑制できるものと思われる。

また、乾季に潅漑の必要が無くなれば、作期の大幅な遅延により、乾季中に大量に放流されていたダム貯留水（図２・２、２・１２参照）を、第１作の初期潅漑用に温存でき、用水計画上、極めて有意義である。さらに、水田土壌の乾燥も十分行なわれ

表　５・１　ダム流入量

（単位：百万m³）

年	１月	２月	３月	４月	５月	６月	７月	８月	９月	１０月	１１月	１２月	計
１９７０	３８	２０	８	１８	５５	５７	５０	６８	７２	１２９	１６２	１３５	８１２
１９７１	７５	４７	６５	３６	３９	３７	２５	３０	８	２４	９	１３	４０８
１９７２	１１	３１	０	５０	３５	３４	２２	１７	７８	１２８	１２９	４４	５７９
１９７３	１５５	７８	１	５１	８４	４３	６０	１１９	１４	１００	２	－２	７０５
１９７４	７	２８	２２	２７	５６	５	４８	－３４	６３	６８	９３	６３	４４６
１９７５	６４	２８	１２	１０	４５	３２	６９	３７	１１１	９１	１５１	１４８	７９８
１９７６	４３	２８	８	２７	６４	６６	６２	４０	７０	１５７	１９１	７８	８３４
１９７７	５０	１３	－２１	２３	２８	３７	２４	５２	３８	１７８	１２８	１３	５６３
１９７８	２２	２	１４	１８	４４	２０	４７	３１	８２	９１	７２	６６	５１２
１９７９	１２	９	－２６	５８	４４	４８	４２	４６	１３９	５０	１４６	３９	６０７
１９８０	－５	８	２５	２７	４４	３０	１５	５７	４７	１８７	１５９	９５	６８９
１９８１	９	８	６	６５	１５９	５５	４１	２０	１０３	４８	１０７	９７	７１８
１９８２	３１	１４	２１	６８	１２１	３８	４９	２６	１００	１２９	１５１	１２５	８７３
１９８３	４３	４	２６	１５	４４	３９	５８	６７	１４９	１５８	１５９	１５２	９１４
平均	４０	２３	１２	３５	６２	３９	４４	４１	７７	１１０	１１７	７６	６７６
変動係数(%)	102.0	87.7	190.2	55.3	59.5	39.9	38.0	82.6	54.6	46.2	48.0	67.5	23.8

ＭＡＤＡのダム管理記録より作成

るので、水田地耐力の維持にも好都合である。乾季の全地区一斉休閑期は、このように、多くのメリットがあり、その実現は、ムダ地区の水稲二期作安定化の鍵を握っていると言っても、過言ではあるまい。

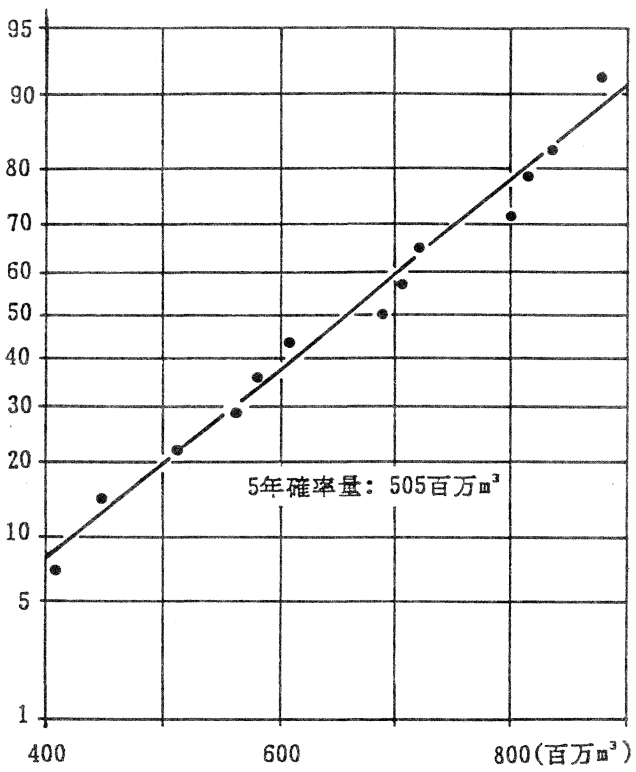


図５・４　ムダ・ペズ両ダムへの年間流入量

５・２　用水不足と落水の還元利用

実際の用水量が、計画用水量を大幅に上回っていることが、ムダ地区の用水不足の最大の原因であることは、第２章で述べたとおりである。さらに、水源の不安定性が、もう一つの大きな問題である。

ＭＡＤＡのダム管理記録によると、1970年から1983年までの、ムダおよびペズダムへの年間平均総流入量は6.76億m^3で、5年確率流入量は5.03億m^3となる(表５・１、図５・４）。一方、計画では、ダム容量9.82億m^3のうち、下流責任放流量は2.05億m^3、無効放流が2.68億m^3、差引、可能潅漑供給水量は5.09億m^3となっている[9)]。これは、実際の５年確率流入量の全量に匹敵し、現状では、下流責任放流の余裕はないことになる。事実、乾期の潅漑期間中においては、ＭＡＤＡは責任放流分をほぼ全量、潅漑用水に転用し、厳しい用水不足をしのいでいる。それでも用水供給量を充分確保出来ず、著しい作期の乱れを招いていることは、既に述べたとおりである。

現在の栽培体系のもとでの水田用水量は3,267mmである(表２・１２）が、苗代と本田の給水分離、第１作から第２作への移行期の短縮などにより改善された作期（図５・３の２）における、水田用水量とダム依存水量を計算してみることとする。

計算の根拠とする作期区分と単位用水量は、表２・１２、２・１３を参考にして、表５・２のように定めた。水稲生育期間は140日と想定した。第1作の初期潅漑期における土壌浸潤量と、湛水量を合わせた貯留水は170mmとしたが、初期湛水が、多雨月の５月以降になる水田については、潅漑開始時には、降雨により既に土壌浸潤、さら

に一部の水田では、湛水が進行していると考えられるので、第２作の貯留水量と同じ、45mmを適用することとした。

表　５・２　作期区分と単位用水量（標準耕区）

（単位：mm）

作期区分：（　）内は累加日数	日数	貯留水	日蒸発散量	日排水量
第１作				
苗代潅漑期間(1～40日)	４０	170×4%	1.0×Ep×4%	6.0×4%
本田初期潅漑期間(26～40日)	１５	170×96%	1.0×Ep×96%	6.0×96%
後期潅漑期間(41～135日)	９５		1.21×Ep×96%	3.3×96%
第２作				
苗代潅漑期間(146～185日)	４０	45×4%	1.0×Ep×4%	5.5×4%
本田初期潅漑期間(171～185日)	１５	45×96%	1.0×Ep×96%	5.5×96%
後期潅漑期間(186～275日)	９０		1.21×Ep×96%	1.7×96%

作期は140日品種を想定
貯留水は表２・１２を参照
日蒸発量、日排水量は表２・１３参照
第１作初期潅漑期が多雨月の５月に入る場合は、45mm×96%とする。
後期潅漑期は、移植日から収穫20日前まで

苗代と本田の給水分離や、第１作から第２作への移行期間の短縮には、末端用水路の整備が前提であり、当然、日減水深、特に、浸透漏水量が増加する恐れがある。逆に、潅漑効率が高まり、用水損失節減が期待できる。また一方、農民による水管理態勢が整わないうちに、末端用水路が整備されてしまうと、水利施設が適切に操作されず、水路上流部での用水の取りすぎなどにより、用水量が増加する可能性もある。これまでに完成したムダⅡプロジェクト地区では、定量的なデーターは無いが、用水量増加の例が目立つ。末端圃場施設整備による水田用水量への影響は、それを利用する農民の対応如何によるが、詳しくは、今後の調査結果を待たなければならない。そこで、この試算においては、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックで得られた、ムダＩプロジェクト段階の単位用水量を、そのまま採っておくことにする。

作期の時差は、前節で述べた収穫作業のこれまでの最短時差、65日を採ることとする。

雨量データーは、アロースター空港測候所における、1947年から1982年までの雨量データーから算出した５年確率雨量（図１・４）を、月間平均雨量の比率(表１・５)によって、各月に振り分けたものを用いる。ダム残流域流出量については、データーがないため、ダム流域の５年確率流出量（図５・４）で代用することとし、ダム流域面積1,155km^{2}と残流域面積1,274 km^{2}の比率で調整した。計器蒸発量は、ＡＣＲＢＤ４

潅漑ブロックにおける、1979年から 1983年までの観測データー(表１・６）を採った。計器蒸発量と降雨量は、反比例の関係にあると考えられ、降雨量と同じ期間の、５年確率量を使用することが望ましいが、手許にデーターがないため、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおける、1979年から1983年の平均年雨量1,796mm(表１・５）が、アロースター空港測候所の10年確率雨量(図１・４）にほぼ相当し、計器蒸発量の変動係数が4.6%と小さいことから、この平均計器蒸発量を採っても、大きな誤差は無いものと判断した（表５・３）。

表　５・３　雨量、ダム残流域流出量、計器蒸発量

（単位：mm ）

月	雨量		ダム残流域流出量		計器蒸発量	
	月間量	平均日量	月間量	平均日量	月間量	平均日量
1	38	1．2	34	1．1	203.0	6．5
2	56	2．0	20	0．7	199.7	7．1
3	101	3．3	10	0．3	226.6	7．3
4	192	6．4	30	1．0	182.9	6．1
5	222	7．2	53	1．7	164.1	5．3
6	153	5．1	33	1．1	140.2	4．7
7	189	6．1	38	1．2	136.4	4．4
8	188	6．1	35	1．1	135.3	4．4
9	259	8．6	66	2．2	130.3	4．3
10	273	8．9	94	3．0	139.3	4．5
11	193	6．4	101	3．4	126.8	4．2
12	74	2．4	65	2．1	153.1	4．9
計	1940	5．3	579	1．6	1937.7	5．3

雨量：アロースター空港測候所の５年確率年雨量（図１・４）
ダム残流域流出量：ダム流域の５年確率単位流出量を適用計器蒸発量：ACRBD4潅漑ブロックでの1979年から1983年までの平均値（表１・６）。この間の雨量はアロースター空港測候所の10年確率雨量（図１・４）に匹敵する。

用水量の計算は、潅漑、農作業などが毎日、作期の時差（65日)分の１づつ進捗するものと仮定し、表５・２にまとめた単位用水量に従って、１日ごとに行なった。その結果、３月１日に本田への潅漑を開始した場合には、用水需要量は２シーズン合わせて2,090mmとなった(表５・４）。

次に、供給水量の内訳を次のように計算する。降雨は、表５・３にある平均日雨量

が、月間通じて、毎日等量ずつ降りつづけるものと仮定する。稲作に有効な雨は、潅漑を必要とする水田面積に降った雨のみとし、その有効雨量率は 100％とする。例えば、月間平均日雨量が2.0mmで、潅漑を必要とする水田面積率が 0.3である場合、その日の用水供給量として有効に働いた雨量は、ムダ地区全体にたいして 0.6mm(2.0×0.3) ということになる。このようにして、用水需要量を先ず降雨で満たす。降雨で満たしきれない水量は、潅漑を充てることになるが、この際、送水損失および管理用水を、日本での常識的値である、30％[9]見込むこととする。潅漑需要は、先ず、ダム残流域からの流出水で満たし、それでも不足する分に対して、ダム貯留水を放流するものとする。以上の過程を経て、降雨1,336mm、河川自然流300mm、ダム放流量779mmという供給水量の内訳が得られた(表５・４)。

表　５・４　作期の合理化と用水量

(単位：mm)

項目	計画	現況	改良作期	
			I	II
水稲生育期間		140日	140日	125日
圃場用水量	2,064	3,267	2,090	1,848
供給水量				
降雨	1,299	1,431	1,336	1,186
ダム残流域	458	?	300	221
ダム	509	?	779	724
計	2,266	3,267	2,415	2,131

計画：DID, Report on a Reappraisal of the Muda River Project, p.8,p.10, 1964.
現況：ACRBD4潅漑ブロック(表2･12参照)
改良作期Ⅰ：図5･3の改善案に倣う。
改良作期Ⅱ：Ⅰの水稲生育期間のみ変更。

次に、単位用水量と作期の時差が、現在と変わらないとし、第１作の本田初期潅漑期間を、57日（表２・３）から15日に短縮し、大幅な作期の合理化を図ることにより、3,267mmあった水田用水量(表２・１２）を2,090mm（表５・４）へと、著しく節減できることが分かった。しかし、依然として779mm（表５・４）のダム貯留量を必要とする。下流責任放流量を全て潅漑用水に転用したとしても、ダムへの年間総流入量は、平均で705mm(表５・１、676百万m^3／95,855ha)、５年確率干ばつ年で525mm(図５・４、503百万m^3／95,855ha)しかなく、用水不足の不安は解消し切れない。供給水量の中では、５年確率干ばつ年でも579mmあるダム残流域流出量(表５・３）は、300mmしか利用されておらず、計画の458mmをも大幅に下回っている(表５・４）。これは、雨が多く、潅漑を必要としない時期に、流出量は多くなり、雨が少なく、潅漑を必要とする時期になると、流出量も減ってしまうため、ダム残流域流出量の有効利用が難しいためである。

現在の140日品種を、125日品種に変換した場合には、水田用水量はさらに減少し、

1,848 mmとなる。しかし、ダム依存量は724mmと依然として高く(表５・４)、５年確率干ばつ年で 200mm程度の潅漑用水が不足することになる。これは、ムダ地区の95,855haの水田面積にたいしては、約２億m^3の不足水量となる。

用水不足に悩みながら、適当なダムサイトに恵まれないムダ地区では、年間1,258mm(表２・１２)も発生している落水の有効利用に注目される。特に潅漑用水を最も必要とする第１作初期潅漑期には、11.2mmの日減水深のうち、54％の 6mm(表２・１３)が、浸透漏水量として、排水路に落ちているものと推定される。ムダ地区の水田地帯は15～20kmの奥行きがあり、その間に、約10の潅漑ブロックが並んでいるので、適当な地形勾配があれば、上流ブロックの落水を、下流ブロックの用水として還元利用できるのであるが、標準１万分の１という、極端な平坦地のために、ポンプ揚水しない限り、それはできない。現在は、還元利用施設はごくわずかで、ほとんどの落水は、再利用されることなく、マラッカ海峡に捨てられていると言って良い。

ムダ地区で実施されている還元利用形態は、２種類に分類されよう。その一つは、排水路から揚水した還元水を、直接水田に潅漑する型式のもので、「直接方式」とでも呼べるものである。この方式は、大きな水頭を得られるという、ポンプ揚水のメリットを十分に生かし、地形的に高いため、潅漑困難地区となって、ブロック内に散在している水田団地に、専用の小規模なポンプ施設によって、直接給水する場合である。

もう一つの形態は、ポンプ揚水した還元水を、既設用水路に注水し、頭首工から取水した本来の潅漑水に混ぜてから、水田に配水するもので、「補水方式」とでも呼べるものである。この方式は、上流優先取水などで、潅漑水量が不足しているような水系末端の潅漑ブロック内の、湛水促進に有利な方法である。還元利用施設の計画に当たっては、各対象地区の用水不足問題の性格により、両者を使い分けて行けば良い。

ムダ地区には、潅漑の困難性により、18,000haの単期作田と、5,300haの不完全二期作田(数年に一度単期作となる)が残っている[10]。ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロック内の潅漑進捗状況（図３・２）を見ても、進捗率60％までは、２週間ほどで達しているが、残りの40％に２カ月もかかっている。この40％が潅漑困難地区にあたり、年ごとの雨の降り方によっては、この一部で二期作ができなくなることが考えられる。このような潅漑困難地区は、約250ほどの小団地となって、ムダ地区全域に散在し(図３・１)、各潅漑ブロックの作期を遅らせる大きな要因となっている。乾季に一斉休閑期を得るためには、作期合理化につながる潅漑困難地区の解消は、最も重要な課題の一つである。

潅漑困難地区解消のもう一つの重要な手段である、末端用水路の造成は、莫大な費用がかかる上、約 100ha単位となる各末端水路ごとに、受益農民による水利組合を組織させ、維持管理をさせなければならないという、難問がついてまわる。受益者のなかには、潅漑に問題のある地区と、無い地区の農民が混じっており、利害が一致しない。水田面積が100haにもなると、受益者数も多くなり、しかも広い範囲に分散して

居住しているため（２・１・４節参照）、農民の組織化は容易ではない。維持管理が適切に行なわれなければ、用水損失を増加させる恐れもある。末端水路を造成しただけで、用水量節減、作期短縮の効果が、直ちに発現すると考えるのは早計である。

これとは対照的なのが、特に、直接方式の還元利用施設の造成である。この方式では、ムダ地区全域に分散している潅漑に問題のある地区に、それぞれ個別に給水するため、小規模のポンプ場を多数設置することになる。例えば、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックで得られた単位用水量、即ち、初期潅漑用水量170mm、日減水深11mmを適用し、初期湛水所要期間を２週間、ピーク時の運転時間を24時間として計算すると、日本国内価格で30万円[11](エンジン付き)の口径80mm、吐出量１m^3／分のポンプで、6.4haの水田面積をカバーできる。平均 1.6haの経営面積を持つ、ムダ地区の農家４戸分である。ポンプの土台・給水槽・簡単な上屋・取り付け水路にポンプもふくめ、還元利用施設に100万円かかったとしても、ヘクタールあたり工事費は15万円にすぎず、ムダⅡプロジェクトの標準事業費50万円／haの範囲内で、十分対応可能である。ポンプ場ごとに独立した潅漑システムになるため、広域的な高度の水管理技術は不用で、農民による維持管理にも、問題は少ないものと思われる。また、還元利用施設ごとの受益者数が少なくなり、利害関係も一致しているため、維持管理組織もまとまりやすい。１カ所あたりの工期は、数週間で十分と思われ、その完成後短期間に、受益地内の用水不足問題の解消・完全二期作化の達成などの、高い効果が達成される。さらに、潅漑に問題のない地区でも、問題のある地区への、無理な送水から免れるため、地区内の水管理の改善も期待出来る。

５・３　圃場施設の整備

５・３・１　末端用水路

標準1.6km間隔の水路配置の圃場条件下のもとでは、用水を必要とする水田に、必要な時期までに、必要な水量を的確に給水することは、極めて困難である。このため、潅漑効率の低下、本田潅漑期間の長期化、農作業の遅延、ひいては、作期の周年化、病害虫の激発、用水不足、地耐力低下などの諸問題を引き起こしていることは、既に述べたとおりである。末端用水路造成の最大の目的は、圃場水管理合理化を通して、上記のような問題の解決を図ることにある。

第１作初期潅漑期の課題である、苗代と本田との給水分離を実現するためには、各経営単位ごとに用水路を接続させることが、末端用水路の整備水準を決める、一つの目安となる。山下の調査によれば、ＡＣＲＢＤ４潅漑ブロックにおいては、１登記耕区を１人で耕作しているケースは68％、２人で耕作しているケースは19％である[12]。

両者併せて87%の高率になるので、各登記耕区ごとに接続するように、用水路を配置すれば、大部分の経営単位が、用水路から直接、給水を受けられるようになる。登記耕区の平均的な形状は、長辺330m、短辺61mの長方形で[13]、その短辺沿いに用水路を配置すれば、水路の両側から取水する場合は660m、片側から取水する場合は330m、全体的には、500m間隔の水路配置となる。この面積当たり水路密度は20m/haとなる。

ムダ地区は、100年ないし50年くらい前に開田された地域で、その時点で、現在の区画割りと、その土地台帳は出来上がっている。これらの変更には、莫大な労力と時間を要し、さらに、大きな混乱を来す恐れがあるため、マレーシア政府は、その変更については全く考えていない。従って、日本では一般的な交換分合や、換地は極めて難しいため、道水路の路線計画は、各農家にできるだけ平等に潰地を負担させた上、地形に適合するように配慮しながら、区画境界線を縫うように行なわなければならない。このため、屈曲が多くなるので、各登記区画に接するよう配置すべき、新たな末端水路の密度は、25m/ha程度となる。配置密度10m/haの既設水路と合わせ、35m/haの水路密度が、各経営単位ごとに水路を接続させるのに求められる、ムダ地区の基盤整備水準である。

各経営単位ごとに用水路が接続すれば、本田の一角に作っている苗代への給水を、本田を湛水することなく行なえるようになり、現在、２カ月近くも要している本田初期潅漑期間（表２・４）を、必要最小限度の15日程度に短縮でき、大きな用水節減効果が期待できる。また、雨の４分の１しかない潅漑の効率（３・２節参照）が高まり、初期潅漑期の潅漑進捗パターンを促進すると共に、輪番潅漑が可能となり、合理的な作業体系実現の道が開ける。

５・３・２　農道

ムダ地区では、農道も用水路と同じく、標準1.6km間隔の疎らな配置となっており、農業機械の圃場内移動を困難にしている。現在、普及率が90％を超えているコンバインの圃場内移動が困難なため、周辺の水田と歩調を合わせた作付をしないと、コンバインによる収穫から取り残されてしまう。現在の農道は、両側を第２支線用排水路に挟まれているため、潅漑ブロック内への進入口は数箇所に限られており、これらを起点に、順序良く、各耕区の作期を調整しているのが実情である。農民間のコミュニケーションが困難な中で、互いに周辺の作業状況を見合っているうちに、作業が遅れてしまう。農道が適切に配置されれば、コンバインの圃場内移動が自由にできるので、圃場条件が整った水田から、作付を開始できるようになり、作期合理化の推進に有効である。また、運搬条件の改善により、人肩による苗の運搬の困難性から、本田の一角に作られていた苗代を、肥培管理の目が良く届く住宅近くとか、水利の便の良い水田に作れるようになり、病害防除にも、かなりの効果を期待できる。

ムダ地区内のコンバイン台数は350台で、95,855haの水田を65日で収穫している（５・

２節参照)。１日当たり作業時間は、八島・土持が1979年８月に調査した１台のコンバインについては、12時間～18時間、平均14時間であった(表５・６)。また、熱研プロジェクト研究による調査では、８時間～15時間であった[14]。概ね12時間程度と考えられる。また、純作業能率は1.42hr/haであった(表５・５)。これらのデーターを

表　５・５　ムダ地区における主要農作業の純作業能率

(単位：hr/ha)

作業名	純能率	備　　考
動力耕運機		クボタK120、クボタＭＰ２、
ロータリー耕	6.72	クボタER75、スズエ、ミツビシ。
小型4輪トラクタ		ヒノモトE23、クボタL2201
ロータリー耕	2.74	20馬力級、1回当たり2回掛け
人力移植作業	80.2	苗取り、運搬は含まない。
人力収穫		
刈り取り	113.9	主に女１人当たり
脱穀	82.1	主に男１人当たり
普通型コンバイン収穫	1.42	クラス1530、ジョンディア955Ｒ
		マッシーファガソン520、クラス75Ｒ
自脱型コンバイン収穫	5.43	イセキ3100

1978,79年ACRBD4潅漑ブロックで調査

表　５・６　普通型コンバインの稼働状況

月　日	開始時間	終了時間	作業時間	作業面積	料金収入	備　考
8月11日	9:00	21:39	12H 39M	27.5R	M$1,650	
12日	9:15	23:30	14H 15M	30.5R	M$1,830	
13日	9:45	27:53	17H 48M	35.0R	M$2,100	午前3:53終了
14日	10:00	22:00	12H 00M	18.0R	M$1,080	
15日	9:00	21:45	12H 45M	32.0R	M$1,920	
平均			13.9時間	28.6R	M$1,716	

1979年ACRBD4潅漑ブロックにて調査

機械名:ニューホランド

所有者:アーマド・アホック

作業面積Ｒ:レロング＝0.2855ha

M$≒¥100

もとに作業効率を算出すると、0.5(95,855ha×1.42hr/ha÷(12hr/day×65day))とかなり低いものとなっている。これを0.7に高めることができれば、収穫所要日数を45日に短縮できる。農道の造成は、農業機械の圃場内移動を容易にし、作業効率向上に大きな貢献を果たすことになる。

農道は通常、水路に併走する形で設けられる。従って、農道も末端水路と同じ、35m/haの密度で配置することが望ましく、これで各経営単位ごとに農道が通じることになる。

表５・７　ムダ地区の人力移植栽培の労働時間

(単位: hr/ha)

作業名	1974年	1979年	1981年
苗代			
モミの準備	3.3	1.4	3.4
苗代作業	26.3	14.6	20.1
小計	29.6	16.0	23.5
本田			
本田準備	50.4	28.5	14.7
移植	151.7	103.3	132.9
施肥	12.2	17.0	14.4
除草	49.6	9.0	10.0
水管理	1.5	2.1	25.0
収穫	254.8	157.2	12.2
運搬	28.1	—	17.1
収穫後作業	33.8	16.0	5.4
その他	3.3	24.7	—
小計	585.4	357.8	231.7
合計	615.0	373.8	255.2

1974:熱研研究第二部、マレーシア・ムダ地域における稲作技術体系の改善とその評価に関する研究、p.47、研究第二部資料 No.2, 1977.

1979: M. Yamashita, Farm Management Study in Pilot Project ACRBD4 Irrigation Sheme, p.17~23, TARC, 1981

1981: Wong H. S., Muda II Evaluation Survey Pre-project Status---The Farm Household Economy, Off Season 1981, MADA, 1983.

５・３・３　末端排水路

ムダ地区では、作期の周年化による土壌乾燥機会の減少のため、再び、水田地耐力の低下が目立ち初め、排水改良による地耐力増強策が叫ばれている。さらに最近は、政府が力をいれている、教育水準の高度化に伴い、高等教育を受けた農家子弟の農業離れが問題となり、農業労働力の不足と高齢化が進行し、その質的、量的低下が深刻化しつつある。耕うん・収穫作業の機械化が達成されている現在、最も労力のかかる農作業は移植作業となっている。人力収穫が主体であった1974年の調査[15]では、１ha当たり、収穫に255時間、移植に155時間、その他を含め、合計 615時間の労働力を投下していた。1978年頃から、タイやケランタン州からの出稼労働者の減少などから、その時点で最大の労働消費作業であった、収穫の機械化が急速に進行し、1981年の調査[16]では、収穫の労働時間は12時間に激減し、133時間の移植作業が、最大の労働消費作業とな

った。その結果、全労働時間255時間の52％を移植が占めることとなった（表５・７）。なお、1980年の日本の稲作労力は、１haあたり644時間である[17]。

このような状況のもとで、農民の焦眉の関心事は、移植労働時間の削減対策としての直播栽培の導入である。ムダ地区における直播栽培は、1980年までは、１％以下の普及率であったが、1981年頃から急速に普及し初め、1982年には20％台、1983年には30％台の率に高まった（表５・８）[18]。さらに、1984年第１作には、遂に50％を超えるに至った。この作期は、用水不足対策と乾季中の一斉休閑期設定のため、1983年に引き続き、全水田面積の２分の１を休耕する計画で、休耕田に対しては潅漑用水の送水を止めたのであるが、実際の収穫面積は全面積の87％にあたる83,000haとなった。そのうち、正規の作付け面積は、移植39,000ha、直播12,000haからなる51,000haであった。この中での直播の率は23.5％になる。

表 5・8　ムダ地区の直播面積

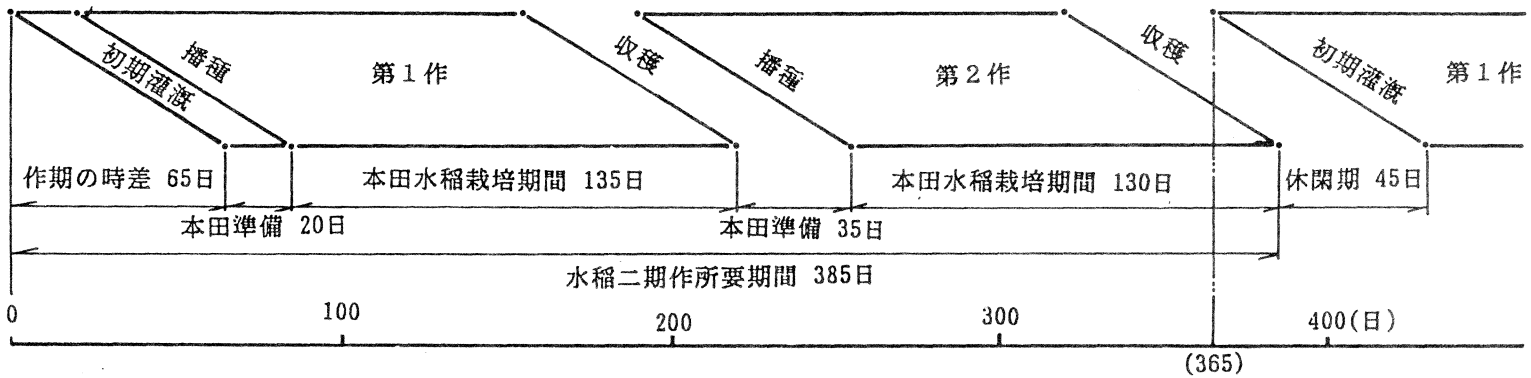
作　期	直播面積	普及率
1977 Ⅰ	9ha	0.0%
Ⅱ	-	-
1978 Ⅰ	17	0.0
Ⅱ	85	0.1
1979 Ⅰ	32	0.0
Ⅱ	181	0.2
1980 Ⅰ	662	0.7
Ⅱ	853	0.9
1981 Ⅰ	4,126	4.6
Ⅱ	6,415	6.9
1982 Ⅰ	18,575	20.7
Ⅱ	22,100	23.0
1983 Ⅰ	34,300	38
Ⅱ	27,098	35
1984 Ⅰ	44,398	53

Ⅰ：第1作
Ⅱ：第2作
率は全作付面積に対するもの
出典：18)

農民の直播栽培への志向は高いが、直播栽培にとって重要な田面均平・易排水性・浅水潅漑などの圃場条件が整わず、現在のところ、その普及率は、地区の４分の１程度にとどまっているものと見られる。末端排水路の造成により、排水条件が改善されれば、直播栽培の普及は大幅に促進されるものと思われる。

なお、1984年第１作の正規作付け面積外の32,000haは、現地でVolunteer Seedling Culture と呼ばれている、いわば捨て作り的栽培法である。雨季に先立ち、乾田の状態で耕うん・砕土すると、収穫時に田面に落ちこぼれていたモミが、程良く土中に混入される。そこに雨が降ると、一斉に発芽するという仕組である。この栽培法は、雨と同時に、広い範囲で一斉に発芽するため、収穫期が揃いすぎ、コンバインや乾燥施設の容量が、一時的に不足するという問題をもたらす。モミと同時に発芽する雑草のコントロールも難しく、低収量や病害虫の発生の原因となる。さらに問題なのは、作期が潅漑水田とは大きくずれ、作期を著しく混乱させ、２分の１休耕の当初の目的であった、乾季中の一斉休閑期の目論見も崩れてしまうことである。

直播栽培導入により、現在の移植労力133hr/ha（表５．７）は、5hr/ha程度[19]に大



水稲品種：生育期間140日を想定したが、直播栽培の場合は移植のショックが無いため、生育期間は移植栽培より1週間ほど短縮するので、135日とする。

本田準備期間：移植栽培期間(図5･3参照)に、湛水調節のための5日を加える。

図５・５　直播栽培による水稲二期作の作期

幅に削減できる。苗代作業の20hr/haも削減できるが、本田準備、水管理にかなり労力を投下する必要があり、これらが相殺できるものとすれば、現在の労働投下量255hr/haは、130hr/ha程度に半減できることになる。末端用排水路の造成により、直播栽培導入可能面積は大幅に増加し、労力不足問題解決に、大きな効果をもたらすものと期待される。

表　５・９　水管理の増収効果

（単位：t/ha）

水管理	無底圃場		有底圃場	
	収量	率	収量	率
常時 2.5cm	9.55	100	10.78	100
常時 7.5cm	9.72	102	11.52	107
常時 15cm	8.96	94	10.85	101
中干し	9.12	95	10.65	99

中干しは常時15cm、最高分けつ期に落水
供試品種：IR8
IRRI:Annual Report 1968, p.207,209.

一方、直播栽培は、作期の長期化という、別の問題を生起する。図５・１と同じ　140日品種で、直播栽培の作期を構成してみると、移植栽培体系では355日であった二期作所要期間は、385日(図５・５）に延長し、作期は完全に周年化してしまう。一斉休閑期を１カ月とるには、生育期間120日くらいの短期品種を導入したうえ、65日の作期の時差を、45日程度に短縮する必要がある。

表　５・１０　各種因子増収効果

項目	比　較　根　拠	増収率
施　肥	無肥料(3,043)→N90:P30:K30(4,130)	36％
品　種	セリブガンタン(5,656)→MR-1(6,458)	14
栽培密度	10株/m^2(5,736)→20株/m^2(6,315)	10
水　深	12.5cm(5,755)→2.0cm(6,295)	9
苗　齢	32日(5,876)→25日(6,174)	5
栽植深	7.5cm(5,951)→2.5cm(6,095)	2

野崎倫夫:マレイシア・ムダかんがい地域の水稲二期作栽培技術に関する研究、第4報、熱帯農業22(1),p.32,1978.同、第6報、熱帯農業26(1),p.8,1982.
（ ）は収量を示す。(kg/ha)

さらに直播栽培の導入は、用水量増加を来す恐れがある。その第１の要因は、潅漑期間の長期化と、第２作の乾季へのずれ込みによる、ダム貯留水の消耗である。第２の要因は、湛水状態で耕うん・代掻き後、一旦落水し、播種し、発芽後は苗の生育に合せて、徐々に湛水深を上げてゆくという、圃場水管理の中で、かなりの管理用水、ならびに、無効雨量を生じると考えられるからである。第３の要因は、直播栽培普及の前提条件とも言うべき、末端用排水路の造成により、現在10mm程度に留まっている日減水深（表２・１３）を、著しく増加させる恐れのあることである。

末端排水路の造成により、圃場の水深制御は容易になるが、それによる著しい増収効果は報告されていない。ＩＲ８を使ったＩＲＲＩでの試験では、常時2.5cm，7.5cm，15cm、ならびに、常時15cmの水深を保ち、最高分けつ期に中干しした圃場の間に、有意水準5％で、収量のうえで有意差は認められなかった（表５・９）[25]。また、野崎の試験（表５・１０）[26,27]によれば、耕種的手段による増収効果は、施肥の36％が最大で、これに品種の14％，密植の10％、さらに水管理の9％が続く。水管理の効果はそれほど大きいわけではなく、目標収量が 5t／ha程度までであれば、15cm以上の深水にしないかぎり、適品種の選定と施肥改善で、十分達成できると結論している。末端排水路の造成には、そのメリット、デメリットを十分に配慮して、施工時期と方法を慎重に検討すべきである。

５・４　ムダ地区における水田基盤整備方式

５・４・１　ムダＩプロジェクトの計画と実際

ムダＩプロジェクトの目的は、米の増産と米作農家の経済強化にあった。増産については、収量は事業前の34％増の3.740t/haと目標を達成したが、二期作化率は74％にとどまり、年間モミ生産高は623,861tと目標の87％に留まった(表５・１１）。それでも、単期作時の134％増しという、大きな増産効果が上がり、目覚ましい成功例として、世界銀行などから高い評価を受けている。もう一つの柱であった、農家経済の強化については、所得倍増の計画が、10数パーセントの微増にとどまった。しかも、１ピクル（60.5kg)M$28の平均生産者米価に対して、M$10という極めて高額な補助金を交付することによって、所得水準をやっと維持しているというのが実情である。

事業実施前の農業所得の内容に関する資料が無いため、所得伸び悩みの原因を、はっきりとは指摘できないが、生産量は確実に増加しており、米価と物価の上昇率に大差がないことから、生産コストの上昇がその大きな原因と言える。なお、1972年から1982年にかけ、米価は　1.75倍[20]、物価は1.96倍[21]上昇している。

農家180戸を対象に、ＭＡＤＡが実施した農家経済調査[22]によると、1981年第1作の農家粗収入は、平均経営面積1.39haの農家１戸当たりM$3,018で、その77％をモミ販売額、21％を補助金で占めている。生産コストは粗収入の44％のM$1,303である。農業資材費はM$41とわずかで、この他に,政府から無償で供与されている80kg/ha相当の、窒素などの肥料代がある。農作業に関わる役務費は、生産コストの60％にあたる　M$779になる。借地料がM$295と23％を占めている（表５・１２）。

詳しくは、農業経営部門の専門家による、調査結果を待たなければならないが、農家所得が伸びなかったのは、単期作時には作期に余裕があり、ほとんどの農作業が家

表　５・１１　ムダ潅漑事業の計画と実際

項　　目	ムダⅠ事業計画		ムダⅠ事業実績		ムダⅡ計画	
	事業前	事業後	事業前	事業後	事業前	事業後
1．水田面積(ha)	98,000	98,000	95,855	95,855	95,919	92,204
2．事業費(M$/ha)		4,972		5,083		4,645
3．二期作化率(%)	0	100	0	74	79	100
4．収量(t/ha/シーズン)	2.898	3.745	2.782	3.740	4.1	5.5
5．年間モミ生産量	284,000	718,000	266,707	623,861	786,536	1,014,244
6．農家農業所得(M$/戸)						
自作農	3,160	6,227	3,160	3,554	6,390	8,499
小作農	2,786	5,646	2,786	3,198	4,322	5,878
7．内部償還率(%)		18.3				25.0

金額は消費者物価指数により換算し、1983年単価に統一

下記資料をもとに作成

World Bank: Muda Irrigation Project Completion Report No. 795-MA, 1975.

MADA: Feasibility Report on Tertiary Irrigation Facilities for Intensive Agricultural Development in the Muda Irrigation Scheme, 1977.

Wong Hin Soon: Muda II Evaluation Survey, Pre-project Status, The Farm Household Economy, Off Season 1981.

族労力で間にあっていたものが、水稲二期作が始まってから、作業ピークの発生や、若者の農業離れに伴う労力不足により、農作業の主力が、雇用労力や業者の機械力に移り、これらの費用負担が、生産コストを押し上げ、所得の伸びを抑え込んだと推察される。

ムダ地区の水稲二期作所要労力は、1974年の　615hr/haから1981年の255hr/haへと急激に減少しているが(表５・７)、これによって生じた余剰労力の、農外就業は捗々しくない。南部の調査[23]によると、調査対象農家98戸の労働可能人口は530人で、うち農業に携わらず、農外就業しているものは50人、農業を主とし、副業を持っているものが41人という結果になった。農外就業しているものを除くと、１戸当たり農業労働可能人口は4.90人となる。現在、最も労力を要する移植の作業能率を150hr/ha(表５・７)とし、全員でムダ地区の全水田 95,855haの移植作業を行なえば、１人あたり労働時間は50時間でよい計算になる。つまり、全員がしっかり１週間働けば、ムダ地区全体の移植ができ、雇用賃金を節減できるのである。泥塗れの重労働を忌避して、農外就業もせず、ただ、ぶらぶら無為の日を過ごす若者たちの姿が浮かび上がってくる。計算上は、ムダ地区には、労力不足問題は存在しないと言わざるをえない。

1979年に着工したムダⅡプロジェクトでは、完全二期作化、35％の収量増、35％の農家所得の増加を目標に、15年計画でM$4,645/haの事業費を投じ、現在10m/ha程度の配置となっている用水路、排水路、農道を、3.5倍程度に増強しようとしている[24]。計画書は1977年に完成したが、その５年ほど後には、各処で見直しが必要な項目が出てきている。4.1t/haと見込んでいた事業前収量は3.7t/haにとどまっている。自作農の所得も、計画の１戸あたり M$6,390が、実際にはM$3,554となっている(表５・１１)。栽培体系は移植に基づいていたが、事業により、末端用排水路が整備されれば、直播栽培が爆発的に普及し、作期の長期化と周年化を来たし、用水不足と病虫害を、さらに激化させる可能性が出てきている。

表　５・１２
ムダ地区水稲作の農業所得

費　目	M$
支出	
肥料	12.85
農薬	4.69
その他資材	13.68
耕運整地	157.98
移植	169.85
収穫	330.30
雇用労賃	21.19
運搬費	99.26
借地料	295.47
税金	194.96
その他	2.70
計	1,302.93
収入	
モミ生産額	2,330.01
労賃収入	26.51
耕運請負賃	20.00
その他	7.38
補助金	634.59
計	3,018.49
農業所得	1,715.56

1981年第1作、180戸の平均
平均経営面積 1.39ha

５・４・２　段階的事業実施方式

不確定要素の多い、開発途上国における水田基盤整備事業においては、実施過程で予期せぬ問題が輩出し、事業目的の完全達成は至難である。その上、苦しい国家財政の中から捻出した貴重な事業費が、無効投資に終わらないよう、最大限有効に活用しなければならない。換言すれば、内部償還率を極力高めるように、事業を計画し、実施することが求められる。高い内部償還率を得るには、できるだけ早期に、できるだけ高い効果を発現させるようにすることが重要である。

1970年に水稲二期作が開始されて以来、ムダ地区では、様々な問題が生起してきたことは、既に述べたとおりである。最初の５年間には、水田地耐力の低下により、農作業の機械化が危機に陥った。次の５年間には、用水不足が深刻化し、これを解決するため、ムダⅡプロジェクトが着工した。次の５年間には、ツングロ病の大発生があった。さらに最近では、農家子弟の農業離れから、農業労働力の質的量的低下が著しくなり、省力効果の大きい、直播栽培が普及し始めた。このように、ムダ地区の農業は二期作導入後、予期しなかった大問題が、ほぼ５年を周期に、次々に発生してきている。事業計画にあたっては、先見性のある、長期見通しは勿論重要である。しかし、

基盤の貧弱な開発途上国の農業は、内外の諸要因の影響を受け、容易に翻弄され、予測が難しい。そこで、５年程度ごとに計画を見直し、その間の情勢の変化に応じて、進路の微調整が必要となる。ということは、自己完結的に効果が上がるような、そして、５年程度で全地区を一巡できるような小工事を、その効果や、新たな問題を実際に確認しながら、波状的に積み重ね、徐々に、しかも、全体的に整備水準を引き上げて行く方式が、開発途上国の実情に適っていると考えられる。

経済基盤の弱い開発途上国では、計画通りに、事業費が毎年確実に割当られるという保証もない。ムダ地区でも、マレーシアの主要輸出産物であるゴム・錫・パーム油・木材・石油などの国際価格の下落から財政難に陥り、38潅漑ブロックの基盤整備を完了する予定であった最初の５年間に、完了地区がわずか６ブロックにとどまったという事実がある。このような事態は、開発途上国の農業開発事業にあっては、日常茶飯事というべきであろう。ムダⅡプロジェクトでは、末端用水路・排水路・農道を１セットとして、各潅漑ブロックごとに、一度に整備して行く方式を採っている。上記のペースで、この方式を採れば、110の全ブロックの基盤整備を完了するには、100年の歳月を要する計算になる。これでは、目まぐるしく変遷するムダ地区の農業に、適切に対応して行くのは難しいと思われる。

５・４・３　ムダ地区における水田基盤整備方式

ムダⅡプロジェクトの主要工種は、還元利用施設・末端用水路・排水路、ならびに農道と考えられるが、これらに、前述の段階的基盤整備方式をあてはめてみる。

第１期工事としては、還元利用施設の造成が挙げられる。この工事は、潅漑困難のため、不完全二期作、ないし、単期作となっている地区内20数％の水田を、完全二期作化するもので、極めて大きな増産効果が期待できる。また、落水を還元利用するため、水源の強化対策としても有利である。

これ以外の工種では、ソフトウェアとの適切なかみ合わせが無ければ、有効な事業効果は期待できず、農民の対応如何によっては、逆効果を来す恐れさえある。特に、農民の組織化が極めて難しいムダ地区では、造成施設の機能を十二分に活用し、圃場水管理や作期の合理化・用水量の節減・乾季中の一斉休閑期の設定・農業所得の向上などに結び付く、事業効果の達成は容易なことではない。

このような条件を考慮して、第２期工事としては、農業機械の移動や、農業資材の運搬を容易にし、適期適作業による作期改善の必須条件となる、農道の造成が挙げられる。

第３期工事としては、末端用水路の造成が挙げられる。還元利用施設の造成により、潅漑問題地区が解消されれば、その他の、問題のない地区にたいしては、末端用水路よりも、農道の造成が優先すべきであるとの考え方である。末端用水路の造成により、

その機能が十分活用されれば、潅漑効率が高まり、潅漑進捗パターンの促進や、節水効果が得られ、また、輪番潅漑が可能となれば、作業体系の効率化が図れる。反面、水管理が適正に行なわれず、水路上流部の農民による過剰取水等による用水配分の不合理、用水量の増加の恐れもあるが、末端排水路が未整備の条件下では、大きな問題には発展しないものと思われる。

第４期工事としては、末端排水路の造成が挙げられる。排水改良により、水田地耐力の向上と、農業機械の作業能率が高められる一方、浸透漏水量の増加、直播栽培の全面的な普及による作期の長期化と周年化、用水量増加、病虫害の激発などの、逆効果の可能性も高い。農民が組織化され、水管理技術と計画作期の遂行能力を獲得するまでは、排水路の造成には消極的とならざるをえない。また、生育日数115日のＩＲ50のような超短期品種が、ムダ地区でも実用化されれば、直播栽培体系でも、乾季に30日の一斉休閑期を得ることが可能となり(図５・４参照)、末端排水路造成の条件が整う。

引用文献

1) MADA: Lapuran Penyiasatan Pengetuaran Padi (Hasil) Musim Luar 1982(収量調査 1982年第1作), p. 15, 1983.

2) 岩田吉人: 東南アジアにおける稲病害虫の発生とその防除, p.1, p.2,農業協力専門家通信 Vol.3,No.2, AICAF,1982.

3) 田中明: 熱帯稲作生態論, p.142,養賢堂, 1971.

4) M. Nozaki: Studies on Rice Double Cropping Culture in the Muda Irrigation Area Malaysia, p.80,1984.

5) 前出 2): p.13,p.14.

6) 前出 2): p.18.

7) 前出 2): p.14.

8) DID: Report on a Reappraisal of the Muda River Project, p.10,1964.

9) 農業土木学会編:改定4版 農業土木ハンドブック, p.192～193,丸善.

10) MADA: Feasibility Report on Tertiary Irrigation Facilities for Intensive Agricultural development in the Muda Irrigation Scheme Malaysia, Annex 15, p. 3, p.4, 1977.

11) 財団法人 経済調査会: 月間 積算資料.

12) M. Yamashita: Farm Management Studies,MADA-TARC Cooperative Study, Pilot Project ACRBD4, Muda Irrigation Project, p.13, Tech. Bull. TARC, No.14, 1981.

13) 土持守・大和田貫也: マレーシア・ムダ地区の水稲二期作の実態と末端基盤の問題点, p.32,農業土木学会誌 47(11), 1979.

14) 熱研: 熱帯における水田機械化農作業に関する研究,p.68,熱帯農研集報 No.49, 1984.15)熱研研究二部:マレーシア・ムダかんがい地域における稲作技術体系の改善とその評価に関する研究, p.47, 研究第二部資料 No.2, 1977.
16) Wong Hin Soon : Muda II Evaluation Study Pre-project Status--- The Farm House-hold Economy Off Season 1981, MADA, 1983.
17) 農水産統計情報部, 第57次農林水産省統計表, p.159, 1982.
18) Ho N.K.: Weed Problem in the Direct Seeded and Volunteer Seedling Fields in the Muda Area, Annex I, MADA, 1984.
19) 宮坂昭: イネの直播栽培, p.267,農山漁村文化協会, 1973.
20) MADA: Lupuran Banci Harga Padi Musim Luar 1982, p.2.
21) Bank Negara Malaysia: Monthly Statistical Supplement, p.50, 1983.
22) Wong H. S.: 前出 16), p.107.
23) 南部博: 水稲二期作化に伴う就業構造の変化に関する研究, p.4～6, 中間帰国報告会資料 No.2, 1985.
24) 前出 10), p.11.
25) IRRI: Effect of Water Management Practices on the Growth Characteristics and Grain Yield of the Rice, p.209, IRRI Annual Report 1968.
26) 野崎倫夫: マレーシア・ムダかんがい地域の水稲二期作栽培技術に関する研究(第4報),p.32, 熱帯農業 22(1), 1978.
27) 野崎倫夫: マレーシア・ムダかんがい地域の水稲二期作栽培技術に関する研究(第6報),p.8, 熱帯農業 26(1), 1982.
28)野崎倫夫: 熱帯モンスーン低平地における水稲の生産技術体系,熱帯農業28(1), p.69, 1984.

第６章　結論

マレーシア・ムダ地区をケーススタディの対象として、熱帯地域における水稲二期作の水収支と水田基盤整備について考察した。その結果、ムダ地区における水稲二期作導入成功の土台となっている、標準1.6kmに及ぶ超長距離田越潅漑の圃場条件のもとでの、水田水収支と水田基盤整備について、次のような特徴を明らかにした。事業費の制約から、先ず

１．極端に低い末端圃場施設の整備水準
２．開発費のかかる潅漑用水源の抑制
３．不安定な降雨に依存する用水計画

とならざるを得なかった。このため、圃場水管理、適期適作業などに困難を来たし、

４．著しく低い潅漑効率
５．作期、ならびに、潅漑期間の長期化による用水消費量増加

などを招き、用水不足、病虫害の大発生、水田地耐力の低下などの、諸問題を引き起こし、それらがムダ地区の水稲二期作の不安定要因となっている。マレーシア政府が予定している事業費（５０万円／ｈａ）の範囲内で、これらの問題を改善するには、

１．供給水量の約60％を占める滲透漏水量（第１作初期潅漑期）の還元利用による潅漑問題地区の解消と水源安定
２．農道の整備（２５ｍ／ｈａレベル）による適期適作業の推進
３．末端用水路の整備（２５ｍ／ｈａレベル）による圃場水管理の合理化
４．末端排水路の不施工による用水量増加の防止

などにより、作期を合理化し、乾期に全地区一斉の休閑期を設け、病虫害の撲滅と水田地耐力の強化を図るとともに、潅漑期間を短縮し、用水不足問題の改善を図ることが重要である。

ムダ地区は、12月から３月にかけ、はっきりとした乾季を持つ、熱帯モンスーン地帯にあり、95,855haの水田からなる、マレーシア最大の稲作地帯である。年平均2,100mmの適度な降雨と、重粘土からなる低平排水不良の条件を利用して、100年以上前から、水稲単期作が営まれていた。1970年に完成したムダＩプロジェクトの中で、M$5,083(M$1≒¥100,1983年時点)/haの事業費を投じ、年間平均6.8億m^3のダム水源と、圃場最末端で標準 1.6kmの配置間隔となる用排水路、農道などの圃場施設とを整備し、約75％の二期作化率と、3.7t/haのモミ収量を達成し、単期作時の2.3倍の年間生産量を上げている。

ムダＩプロジェクトで造成された用排水路、農道の密度は、ほぼ10m/haとなるが、この基盤整備水準のもとで、水稲二期作を実施した場合の水田水収支調査の結果、水田面積731haのACRBD4潅漑ブロックの場合、２シーズン通じての水田用水量は3,267mm

であった。日減水深は、第１作初期潅漑期に11.2mm、後期潅漑期に8.8 mm、第２作の初期潅漑期に10.0mm、後期潅漑期に9.2mm、全期間通じての平均は9.7mmとなった。日減水深の総量は、２シーズン通じて3,198mmとなり、そのうち61％の1,940mmが蒸発散量、残りの1,258mmが浸透漏水量であった。

ムダＩプロジェクトによる計画用水量2,193mmに比べ、実際の用水量は、49％の大幅な増加となっている。その主な原因は、日減水深が計画の23％増となったこと、移植前の本田湛水期間が、計画の２倍の約２カ月にも長期化していることである。これは、標準1.6 kmという圃場施設配置間隔の条件のもとでは、苗代と本田との給水が分離できず、苗代期間中も本田に湛水せざるをえないこと、農業機械の圃場内移動の困難性から、農作業が遅延し、作期が長期化していることによるものである。用水量の大幅増加により、ムダ地区では、用水不足問題が慢性化してしまった。

水稲二期作の導入により、農作業のピークが高まり、農作業の機械化が避けられない課題となるが、排水不良の条件下では、馬力の高い大型トラクタによるロータリー耕は、耕盤を著しく損傷し、水田地耐力を急激に低下させることが分かった。地耐力を維持するためには、馬力の低い小型トラクタを使用し、耕盤の損傷を小さくし、さらに乾季に水田土壌を十分に乾燥し、損傷した地耐力の回復を図ることが重要で、それにより、雨季の湛水下でも、機械化農作業を可能にできることが立証され、農作業の機械化に成功した。

作期の遅延に伴う、作期の周年化と施肥量の増加により、最近、病虫害の発生が激化している。作期の周年化の理由は、用水不足対策として、初期潅漑開始時期を１カ月以上遅らせ、４月からの、雨季の雨の有効利用を図っていることが、第１の要因である。第２の要因は、適期作業の困難性から、第２作の農作業開始が、１カ月程度遅れていることである。第３の要因は、生育日数140日程度の、長期品種が栽培されていることである。このような要因が重なり、1月中旬に完了すべき第２の作期が、３月下旬まで、乾季の間中だらだらと続き、病害虫の繁殖に理想的な条件を与えてしまったことである。

病虫害対策としては、抵抗性品種の導入、薬剤散布と共に、乾季中に全地区一斉の休閑期を設けるなどの、耕種的方法を適切に組合せた、総合的な取組みが有効である。それには、短期品種の導入と共に、水田基盤整備による作期の短縮が、必須の条件である。現在の作付体系の中で、第１作の初期潅漑開始から、移植までの約60日間を、苗代準備と育苗に要する40日間へ、第１作の収穫後、第２作の移植までの約65日間を、30日程度に短縮することが目標となる。このためには、計画的水管理と、農業機械の圃場内移動を容易にする、末端用水路と農道の増設が必要である。

用水不足対策としては、現在10mm程度しか無い日減水深を、さらに節減することは難しく、潅漑期間の短縮という方向で検討すべきである。特に、最も潅漑用水を必要とする第１作初期潅漑期の本田湛水期間は、適正期間15日にたいして、長距離田越潅漑のもとでの、本田と苗代への給水分離の困難性から、約２カ月と著しく長期化して

いる。末端用水路と農道の増設により、苗代と本田との給水分離と、適期農作業を可能とし、これを適正本田初期潅漑期間の15日に短縮できれば、日減水深を11mmとして、実に500mmもの用水量節減が期待できる。このように、作期短縮は、病虫害対策とともに、水田用水量節減にも極めて有効である。平均330m×60mの登記区画ごとに用水路、農道を接続させると、約80％の経営単位が、直接、道水路と連絡できるようになり、苗代と本田との給水分離、適期農作業が推進される。この場合の水田基盤整備水準は、水路密度で35m/haとなる。

末端用水路の機能を十分に発揮させるためには、施設の維持管理態勢の確立が欠くことのできない条件である。ムダ地区では、これまでの水田開発の歴史的事情から、所有田から離れた場所に生活している農民が多いこと、また、借金の担保として耕作権が頻繁に移動することなどから、農民の組織化は極めて難しい。このため、造成された施設では、掛け流し潅漑や、上流優先取水など、無秩序な水管理が横行し、用水量増加が心配されている。水利費を徴収し、それで専従管理者を配置するなど、管理態勢の確立を、水路造成と並行して、強力に推進する必要がある。

病害虫の撲滅には、乾季中に、２カ月の一斉休閑期を設けることが望ましいが、以上のような対応策により、作期の短縮をはかっても、現在の生育期間140日の品種では、10日の一斉休閑期の確保が精一杯である。従って、水稲二期作安定化のためには、多少収量は落ちても短期品種への転換が必要である。

上記の作期の短縮策が成功しても、計算上、５年確率干バツ年には約２億m^3の潅漑用水が不足する。しかし、ムダ地区には、もはや適当なダムサイトが見当らないため、現在ほとんど利用されず、海へ流下させている落水の用水への還元利用が考えられる。最も用水を必要とする第１作初期潅漑期の日減水深のうち、54％を占めている浸透漏水量が、還元利用の対象となる。また、潅漑用水節減の見地からは、雨季の４、５月に初期潅漑期がかかるように作期を調整し、降雨の有効利用を図ることも、水源安定化対策として効果的である。この場合は、第１作の収穫が、９、10月の雨季最盛期にかかる危険を覚悟しなければならない。

水稲二期作には必須の機械化農作業のため、水田地耐力の強化は重要な課題であり、末端排水路の必要性が強調されるところである。しかしながら、排水路の配置密度の増強は、浸透漏水量の直接的増加を招く恐れがある。また、排水路造成が引き金となって、子弟の農業離れから、深刻な労力不足に直面している農民が、作期の長期化と、用水量増加を伴う直播栽培を急激に採り入れる可能性が十分にある。そこで、排水路の造成は、用水不足解消のめどがたつまで、見あわせるのが賢明である。

経済力の弱い開発途上国における水田基盤整備事業費は、日本と比べ桁違いに低い。しかも、その低い事業費も、不安定な財政事情のもとで、計画通り予算配分されるという保証はない。また、農業の基盤もき弱であり、内的外的要因により、事業途上で根本的な計画の見直しを迫られるような、大変化も発生しうる。ムダ地区では、1970年に水稲二期作が開始されて以来、水田地耐力低下、用水不足、病虫害の大発生、労

力不足などと、ほぼ５年位の周期で、当初の事業計画のなかでは、全く予想されていなかった深刻な問題が続出してきている。このような条件のもとで、内部償還率の高い、効果的な事業を行なうには、長期見通しに立った、柔軟性のあるマスタープランのもとに、効果の発現の早い工種から、５年程度で全地区を一巡できるように順番に施工し、その完成の都度、その後の変化を検討し、必要に応じて軌道修正しつつ、次の段階に進んで行くという、段階的事業実施方式が適している。

ムダ地区については、次のような、段階的事業実施方式を提案する（表６参照）。

表　６　マレーシア・ムダ地区を対象とした段階的水田基盤整備方式

整備段階 / 内容	第１段階 天水田	第２段階 ムダⅠ事業	第３段階 還元利用施設整備	第４段階 末端農道整備	第５段階 末端用水路整備	第６段階 末端排水路整備
施設配置密度(m/ha)						
用水路	0	10	10	10	35	35
排水路	0	10	10	10	10	35
農道	0	10	10	35	35	35
栽培体系	移植	移植	移植	移植	移植	直播
二期作化率(％)	0	75	100	100	100	100
収量水準(t/ha)	2.8	3.7	3.7	4.0	5.0	4.5
用水量(mm/day)	6	10	10	10	10	15

1970年以前の天水田段階（第１段階）では、現在の第1支線水路、ならびに、一部の第２支線水路が、舟運用の運河として存在していたが、天水貯留を最重要課題とする天水田の性格上、排水路としての機能は期待されていなかったと考えてよい。水田用水量は、ほとんど蒸発散量のみで、１日当たり６mm程度であったと推定される。移植栽培体系のもとで、2.8t/haの収量を上げていた。

ムダⅠプロジェクトによる水稲二期作が定着した現段階（第２段階）では、用排水路、農道の配置密度はそれぞれ10m/haとなり、移植栽培体系のもとに、3.7t/haの収量と、75％の二期作化率を達成している。用水量は１日当たり10mmである。

次に、ムダⅡプロジェクトの段階に入るが、第３段階として、ムダⅠプロジェクトによる基盤整備水準のもとでは潅漑困難のため、二期作化されていない水田を対象に、多数の小型ポンプ場からなる、直接方式の還元利用施設を造成する。ここでは、二期作化率が100％になる他は、現在と余り変化は無い。

第４段階として、農道を、各経営単位ごとに接続できるように、35m/haの密度に整備する。これによって、ある程度、作期の合理化が図られ、病虫害も緩和され、収量は微増する。

第５段階として、維持管理態勢を確立した上、35m/haの密度で末端用水路を整備する。ここで、抜本的な圃場水管理と、作期の合理化が実現し、全地区一斉の休閑期の設定などにより、病虫害も克服されるので、収量は大幅に向上し、5t/haに達する。

第6段階として、末端排水路を造成し、労働不足対策として、農家の間に関心が高かった直播栽培が急速に普及する。直播栽培導入による、作期の長期化を吸収するため、超短期品種を栽培することになり、収量の低下は免れない。収量が低減しても、生産コストの節減により、農業所得への影響は少ない。また、排水路密度の向上により増加する用水損失を回収するため、補水方式の還元利用施設を造成する。

おわりに

開発途上国における水田基盤整備方式については、各国、各地区の政治・経済・社会的事情、並びに、自然条件がそれぞれ異なり、さらに、農業そのものが、国の内外の諸情勢の変化に伴い、大きく変動する性格をもっていることから、その一般化は極めて難しい。本研究も、ムダ地区のある一時期を扱った、一過性の研究であり、この成果が将来にわたってずっと、ムダ地区に適用され続けるものではないこと、また、条件の異なる他の水田地帯に、そのまま適用できるとも言えないことは、確かである。

熱研は、1967年以来、ムダ地区の水稲作について、息の長い、地道な研究を積み重ねてきた。そして、二期作導入以来、ムダ地区で起こった変化を克明に記録してきており、その情報の質と量は、抜群のものがある。他の多くの稲作地帯の稲作技術水準が、ムダ地区以下であることを考えると、ここで蓄積されてきた、このような時系列的な研究成果は、開発途上国における水田開発の、尺度としての機能をもつようになる。実際のプロジェクトに対して、直接的な適用は出来なくても、ムダ地区との条件の違いを十分認識した上で、事業計画を診断する尺度として用いれば、多くの有用な情報を引き出すことができると思われる。これまで知られていなかった、長距離田越灌漑水田の水収支を明らかにした本研究の意義は、正に、この点にあるといってよい。

最後に、本論文とりまとめにあたり、ご指導を賜った丸山利輔教授、西口猛教授、南勲教授、長谷川高士教授、北村貞太郎教授をはじめ、京都大学農学部の諸先生方に、心から感謝いたします。また、ムダ地区での研究活動に、物心両面から絶大なご支援を賜った、ムダ農業開発公団のサイド・アーマド・アルマーダリ局長、テオ・ティアセン工務部長、ならびに、スタッフの皆様方、また、始終ご激励頂いた農業土木試験場の中川昭一郎場長、ならびに、熱帯農業研究センターの林健一所長、高橋達児研究第一部長、岩田文男研究第二部長の諸氏に厚く感謝する次第です。

付表１　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける用水供給量（1979年 第1作）

（単位：㎜）

日　月	3月			4月			5月			6月			7月			8月		
	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計
1	20.8		20.8	11.7	0.5	12.2				11.6		11.6				9.4		9.4
2	21.8	0.5	22.3	10.6		10.6	6.8		6.8	11.5		11.5		14.5	14.5	6.4		6.4
3	18.0		18.0	9.5		9.5	10.3	1.0	11.3	12.5	29.0	41.5		4.0	4.0	5.1	14.0	19.1
4	17.1		17.1	9.2	0.5	9.7	9.3	26.0	35.3	11.6		11.6				0.7		0.7
5	16.2		16.2	11.2		11.2	8.2		8.2	7.4		7.4		8.0	8.0		2.0	2.0
6	13.7		13.7	11.5	3.0	14.5	6.9	27.0	33.9	5.0		5.0		9.0	9.0		0.5	0.5
7	12.7		12.7	13.8		13.8	2.9	5.5	8.4	1.9		1.9		7.0	7.0			
8	15.5		15.5	14.8		14.8				4.1		4.1		1.5	1.5			
9	16.3		16.3	2.9	9.0	21.9				8.5	10.0	18.5		2.5	2.5		14.0	14.0
10	13.8		13.8	7.4	17.0	24.4	1.9		1.9	14.0	2.5	16.5		21.5	21.5	0.2	40.5	40.7
11	13.1		13.1	13.9		13.9	13.1		13.1	15.5		15.5		3.0	3.0			
12	12.9		12.9	12.3	10.0	22.3	14.1	7.0	21.1	12.7	1.0	13.7		2.0	2.0			
13	13.1		13.1	11.5	0.5	12.0	13.8		13.8	11.1	1.0	12.1						
14	13.6		13.6	8.2		8.2	5.6		5.6	10.8		10.8					3.5	3.5
15	12.3		12.3	9.5		9.5		8.0	8.0	11.4		11.4		10.5	10.5	3.3		3.3
16	9.6		9.6	15.0		15.0				11.4		11.4		7.5	7.5	2.0		2.0
17	13.9		13.9	13.9		13.9	0.9		0.9	11.0	62.0	73.0		2.5	2.5		0.5	0.5
18	10.6		10.6	12.5	5.0	17.5	5.1	2.0	7.1	11.0	1.5	12.5		0.5	0.5		12.5	12.5
19	9.1		9.1	12.9	5.5	18.4	4.3	2.0	6.3	9.8		9.8				3.3	0.5	3.8
20	12.4		12.4	11.4	2.5	13.9	4.0	11.5	15.5	9.4	11.0	20.4		17.0	17.0	5.6	28.5	34.1
21	15.7		15.7	7.9	3.5	11.4	3.5	34.0	37.5	8.2	2.0	10.2		66.0	66.0	5.9	23.0	28.9
22	20.9		20.9	8.8		8.8	4.2		4.2	7.8		7.8		20.5	20.5	6.0	2.5	8.5
23	21.0		21.0	8.1	16.5	24.6	4.7		4.7	7.5		7.5		3.0	3.0	6.0	13.5	19.5
24	22.2	0.5	22.7	8.8	0.5	9.3	4.3		4.3	3.7	5.0	8.7		1.5	1.5	5.6	0.5	6.1
25	23.1		23.1	6.8	10.0	16.8	4.3		4.3					1.5	1.5	5.7	0.5	6.2
26	25.0		25.0	7.1	17.0	24.1	7.6		7.6		18.5	18.5		53.5	53.5			
27	18.5	13.5	32.0	8.9	1.0	9.9	16.1		16.1					12.5	12.5			
28	13.8		13.8	9.3	7.0	16.3	15.6	20.0	35.0					1.0	1.0			
29	14.1	2.5	16.6	3.1	41.0	44.1	9.0	42.5	51.5									
30	13.8		13.8		20.5	20.5	5.9	2.5	8.4					0.5	0.5			
31	12.8	1.0	13.8				11.6		11.6									
計	487.4	18.0	505.4	292.5	180.5	473.0	194.0	189.0	383.0	229.4	143.5	372.9	0.0	271.0	271.0	65.2	156.5	221.7

IR:　灌漑用水量(水田731haに対する水深)
RF:　降雨量

付表２　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける用水供給量（1980年 第1作）

（単位：㎜）

日　月	3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月		
	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計
1				18.6		18.6	4.7		4.7		10.0	10.0	6.4		6.4		2.0	2.0			
2				18.2		18.2	6.3		6.3	3.5	1.5	5.0	5.8	2.5	8.3		1.5	1.5			
3				17.1		17.1	11.1		11.1	5.7		5.7	1.1	33.0	34.1		9.0	9.0			
4				17.8		17.8	10.1		10.1	7.1		7.1		1.5	1.5						
5				17.5		17.5	11.7		11.7	3.3	4.0	7.3	3.9		3.9					7.0	7.0
6				15.3	10.0	25.3	12.9		12.9	2.8		2.8	7.2	1.5	8.7		5.0	5.0		13.0	13.0
7				18.1	2.0	20.1	10.9	17.0	27.9	12.2	3.0	15.2	6.0	1.0	7.0		6.0	6.0		0.5	0.5
8				17.2	65.0	82.2	11.9		11.9	4.2	7.0	11.2	1.7		1.7		21.0	21.0		5.0	5.0
9				16.5	1.0	17.5	14.5	2.5	17.0		20.0	20.0					85.5	85.5		2.5	2.5
10				14.4	1.5	15.9	5.1	6.5	11.6											9.0	9.0
11				11.8	2.5	14.3	6.9		6.9	2.4	8.0	10.4					0.5	0.5			
12				11.4		11.4	12.3	1.5	13.8	9.4	2.5	11.9					40.0	40.0			
13				11.6		11.6	3.6	51.5	55.1	6.2		6.2		13.0	13.0		6.0	6.0		1.5	1.5
14				12.3	1.5	13.8		5.0	5.0	6.2	2.0	8.2		0.5	0.5		2.0	2.0			
15				13.0		13.0				7.3		7.3		6.5	6.5						
16		2.5	2.5	6.5		6.5		37.0	37.0	7.5	0.5	8.0					7.0	7.0			
17				5.3	11.0	16.3				6.8		6.8					13.0	13.0			
18		20.0	20.0	5.3		5.3				6.3		6.3		5.0	5.0		6.5	6.5			
19		19.5	19.5	5.3	1.5	6.8		33.5	33.5	5.5		5.5		6.0	6.0		0.5	0.5		30.0	30.0
20				6.8		6.8				5.6		5.6		24.0	24.0					11.5	11.5
21				9.4	15.5	24.9				1.5		1.5		5.0	5.0						
22				9.0		9.0								7.0	7.0						
23				8.9		8.9		5.5	5.5				1.1		1.1		16.5	16.5			
24				8.1	1.5	9.6		42.5	42.5		2.5	2.5	7.8		7.8						
25				6.9	3.5	10.4		4.5	4.5		17.5	17.5	6.1		6.1		14.0	14.0			
26				11.2	1.5	12.7	6.1		6.1		34.0	34.0	0.9	54.5	55.4						
27		5.5	5.5	10.4		10.4	10.9	9.5	20.4	3.8		3.8					3.0	3.0			
28				9.0		9.0	10.8	6.0	16.8	5.7	3.0	8.7		3.0	3.0		8.5	8.5			
29	4.6		4.6	9.8		9.8	2.8		2.8	6.4		6.4					13.5	13.5			
30	16.3	2.0	18.3	8.7		8.7		18.0	18.0	6.4	1.0	7.4					19.5	19.5			
31	21.8		21.8											1.0	1.0						
計	42.7	49.5	92.2	351.4	118.0	469.4	152.6	240.5	393.1	125.8	116.5	242.3	48.0	165.0	213.0		280.5	280.5		80.0	80.0

IR：灌漑用水量(水田 731haに対する水深)　RF：降水量

付表３　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける用水供給量（1980年 第2作）

（単位：㎜）

日　月	9月			10月			11月			12月			1月			2月		
	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計
1					4.5	4.5		2.5	2.5	5.1	33.0	38.1	8.7		8.7	10.6	8.5	19.1
2							6.5		6.5		0.5	0.5	7.5		7.5	10.2	7.0	17.2
3					2.5	2.5	9.9		9.9				5.8		5.8			
4					5.0	5.0	3.7	20.5	24.2		1.0	1.0	6.3		6.3			
5		7.0	7.0		18.0	18.0	4.5		4.5	6.8		6.8	7.8		7.8			
6		13.0	13.0		14.0	14.0	8.1		8.1	5.1	16.0	21.1	9.7		9.7	4.2		4.2
7		0.5	0.5		1.0	1.0	6.0		6.0	4.7	16.5	21.2	8.3		8.3			
8		5.0	5.0		4.0	4.0	11.6		11.6	3.9	97.5	101.4	9.7	1.0	10.7			
9		2.5	2.5		23.0	23.0	15.0	12.0	27.0	1.6	16.0	17.6	11.8		11.8	3.1		3.1
10		9.0	9.0		1.0	1.0	11.3		11.3				11.4		11.4	7.6		7.6
11							9.9	15.0	24.9				10.5		10.5	5.8		5.8
12					41.5	41.5	9.0	3.0	12.0				9.2		9.2	1.9		1.9
13		1.5	1.5		8.0	8.0	2.3	9.5	11.8				8.1		8.1	10.0	4.5	14.5
14					23.0	23.0				1.6		1.6	6.1		6.1	4.8		4.8
15					7.0	7.0				5.8		5.8	8.0		8.0			
16					20.0	20.0	4.9		4.9	5.8		5.8	6.7		6.7			
17							8.1		8.1	5.4	2.5	7.9						
18					4.5	4.5	7.4	26.0	33.4	4.8	3.0	7.8	12.2		12.2			
19		30.0	30.0		0.5	0.5	6.3		6.3	4.8		4.8	12.9		12.9			
20		11.5	11.5		2.5	2.5	6.1	8.0	14.1	4.8		4.8	11.0		11.0		5.0	5.0
21		3.0	3.0		13.5	13.5	6.3	19.5	25.8	4.4		4.4	11.8		11.8			
22					0.5	0.5	5.6	16.5	22.1	6.4		6.4	12.2		12.2			
23		8.0	8.0		4.5	4.5	5.1		5.1	6.5		6.5	12.1		12.1			
24							4.6	2.0	6.6	6.3		6.3	10.9		10.9		5.0	5.0
25		75.5	75.5					37.0	37.0	6.4	1.0	7.4	10.6		10.6			
26		7.5	7.5		7.5	7.5				4.4		4.4	10.8		10.8			
27		22.0	22.0		5.0	5.0				6.3		6.3	10.1		10.1		23.0	23.0
28		39.5	39.5					4.5	4.5	8.0		8.0	2.6		2.6		7.0	7.0
29		46.0	46.0		9.5	9.5				9.8		9.8	8.8		8.8			
30		11.5	11.5		2.0	2.0		6.0	6.0	11.9		11.9	7.9		7.9			
31					0.5	0.5				12.0		12.0	2.7		2.7			
計		293.0	293.0		223.0	223.0	152.2	182.0	334.2	142.6	187.0	329.6	272.2	1.0	273.2	58.2	60.0	118.2

IR：灌漑用水量（水田731haに対する水深）　RF：降水量

付表4　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける用水供給量　(1981年 第1作)

(単位：㎜)

日　月	3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月		
	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計
1				14.7	12.5	27.2		19.5	19.5	7.8		7.8					4.9	4.9		0.5	0.5
2				14.2	29.0	43.2		2.0	2.0	11.8		11.8								1.5	1.5
3				14.4	18.5	32.9		20.5	20.5	11.6		11.6		2.0	2.0					1.0	1.0
4				13.3		13.3		9.0	9.0	8.8		8.8		10.5	10.5						
5				13.9		13.9		42.5	42.5	6.7		6.7									
6				7.4		7.4		39.0	39.0	7.8	2.0	9.8				3.1		3.1		4.5	4.5
7				6.8	5.5	12.3				7.0	1.0	8.0	2.5		2.5	6.9		6.9		1.0	1.0
8				7.5	28.0	35.5							12.9		12.9	8.7		8.7			
9				8.4	1.0	9.4		17.0	17.0		16.5	16.5	11.8	14.0	25.8	5.9		5.9		33.5	33.5
10				6.6	19.5	26.1				11.7	2.5	14.2	12.1	3.5	15.6	8.5	8.0	16.5		8.5	8.5
11				6.0	15.0	21.0		1.5	1.5	12.1		12.1	9.1		9.1	7.5		7.5		1.0	1.0
12				5.1		5.1				9.2		9.2	7.0	39.5	46.5	10.1		10.1		5.5	5.5
13				4.6	11.0	15.6				8.9		8.9	3.7		3.7	11.6		11.6			
14				8.1	0.5	8.6				9.5		9.5	2.6		2.6	11.4		11.4		2.0	2.0
15				6.8		6.8		0.5	0.5	9.4	6.5	15.9				7.1		7.1		3.5	3.5
16				6.3		6.3	6.5		6.5	9.0	1.5	10.5		3.0	3.0		1.5	1.5			
17				5.9		5.9	11.8		11.8	8.1		8.1		0.5	0.5						
18				5.0	1.0	6.0	11.4	0.5	11.9	8.3		8.3		2.5	2.5						
19				10.7	43.5	54.2	11.8		11.8	10.1		10.1					2.0	2.0			
20				11.4	17.5	28.9	11.4		11.4	9.5	4.0	13.5	7.0		7.0						
21		1.5	1.5	5.5		5.5	10.8		10.8	7.5		7.5	11.1	33.0	44.1						
22		6.5	6.5		2.0	2.0	11.4		11.4	7.5		7.5	7.6		7.6						
23					26.0	26.0	10.4		10.4	8.2		8.2	6.5	1.0	7.5						
24							8.1	3.5	11.6	8.2		8.2	5.8	1.0	6.8		1.0	1.0			
25							9.3	1.5	10.8	8.0	29.5	37.5	6.1	45.5	51.6						
26		4.5	4.5				10.3		10.3	9.6	4.0	13.6	10.1		10.1						
27		18.0	18.0		0.5	0.5	8.1	2.5	10.6	8.3		8.3	12.9		12.9		3.0	3.0			
28	8.2		8.2		13.5	13.5	8.5	27.0	35.5	2.1		2.1	10.7		10.7						
29	9.1		9.1		8.5	8.5	8.6		8.6		2.5	2.5	8.1	32.0	40.1						
30	7.4		7.4				8.0		8.0				4.8	33.5	38.3						
31	14.3	23.0	37.3				8.2	2.0	10.2				4.6		4.6						
計	39.0	53.5	92.5	182.6	263.5	416.1	154.6	188.5	343.1	226.7	70.0	296.7	157.0	221.5	378.5	85.7	15.5	101.2		62.5	62.5

IR：灌漑用水量(水田 731haに対する水深)　RF：降水量

付表5　ＡＣＲＢＤ４灌漑ブロックにおける用水供給量（1981年　第2作）

（単位：　mm）

日　月	9月			10月			11月			12月			1月			2月		
	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計	IR	RF	計
1							3.8		3.8	9.8		9.8	11.3		11.3	8.2		8.2
2								41.0	41.0	9.2	14.0	23.2	11.2		11.2	6.7		6.7
3				2.4		2.4		1.0	1.0	9.2		9.2	8.5		8.5	1.6		1.6
4				8.1		8.1		4.5	4.5	7.5		7.5	9.3		9.3	1.7		1.7
5				2.7		2.7		1.0	1.0	5.2		5.2	14.3		14.3	10.4		10.4
6				0.6		0.6		3.0	3.0	5.0		5.0	12.6		12.6	9.3		9.3
7				6.1		6.1		0.5	0.5	5.5	0.5	6.0	12.5		12.5	9.5		9.5
8				10.5		10.5	6.8		6.8	4.7		4.7	12.3		12.3	10.8		10.8
9				11.0		11.0	12.4		12.4	4.1		4.1	10.9		10.9	9.2		9.2
10				8.4		8.4	14.8	1.0	15.8	3.2	8.0	11.2	10.7		10.7	8.1		8.1
11				10.6		10.6	13.6	22.5	36.1	3.7		3.7	11.8		11.8	8.3		8.3
12				13.7		13.7	13.2	37.5	50.7	4.1		4.1	11.5		11.5	8.3		8.3
13				12.2		12.2	11.9		11.9	4.5		4.5	5.0		5.0	7.1		7.1
14				12.9		12.9	12.9	1.5	14.4	6.4	3.5	9.9	7.9		7.9	5.3		5.3
15		3.5	3.5	13.1	27.5	40.6	11.6	6.5	18.1	7.7		7.7	9.9		9.9			
16		1.5	1.5	13.9	18.0	31.9	3.4	8.0	11.4	5.7		5.7	11.0		11.0			
17				9.9		9.9		1.0	1.0	4.6		4.6	12.6		12.6			
18		2.5	2.5	8.0		8.0	6.7		6.7	4.6		4.6	13.7		13.7			
19		11.0	11.0	5.6		5.6	8.9		8.9	4.8		4.8	12.9		12.9			
20		4.5	4.5	5.6		5.6	13.8	1.0	14.8	4.8		4.8	10.8		10.8	6.2		6.2
21				5.7		5.7	14.2	0.5	14.7	6.6		6.6	10.2		10.2	4.8		4.8
22		5.0	5.0	8.9	2.0	10.9	14.5	6.5	21.0	8.8		8.8	10.8		10.8	1.1		1.1
23		10.5	10.5	10.6	3.5	14.1	13.3		13.3	12.0		12.0	9.0		9.0			
24				9.3	7.5	16.8	4.1		4.1	13.4		13.4	8.2		8.2			
25				9.8		9.8				14.3		14.3	8.3		8.3	3.1		3.1
26				11.8	1.5	13.3	5.5		5.5	16.0		16.0	8.6		8.6	3.5	17.5	21.0
27				9.5	13.0	22.5	8.7		8.7	17.1		17.1	7.9		7.9	3.0	5.0	8.0
28		28.0	28.0	9.4	28.0	37.4	7.7		7.7	17.8		17.8	7.4		7.4		0.5	0.5
29				8.5		8.5	6.4	0.5	6.9	14.0		14.0	9.3		9.3			
30				8.2	4.5	12.7	7.7	7.5	15.2	7.4		7.4	11.8		11.8			
31				8.5	2.0	10.5				10.5		10.5	9.0		9.0			
計	0	66.5	66.5	255.5	107.5	363.0	215.9	145.0	360.9	251.7	26.0	277.7	321.2	0	321.2	126.2	23.0	38.5

IR：灌漑用水量（水田731haに対する水深）　RF：降水量