

第3章 生産基盤整備技術指針

第3章 生産基盤整備技術指針

3.1 氾濫原縁辺部の自然条件

3.1.1 農地整備指針対象地域の概要

ザンベジ川氾濫原において、水稻と乾期畑作の二毛作体系を前提とした農地整備を実施するには、下記の自然条件を満たす必要がある。

- ・ 乾期の水源が確保できる
- ・ 雨期の洪水による冠水深が比較的小さい
- ・ 水源から末端まで重力による灌漑が可能である
- ・ 現況の傾斜が緩やかである（1/200 以下）
- ・ 土壌が耕作に適している
- ・ 乾期における浸透量が大きくない（基準インテークレート50mm以下）
- ・ 微気象的に作物栽培に適している

以上の自然条件をほぼ満足し農業開発適地として考えられる地域は、氾濫原の縁辺部に沿ったMataba seepage zone と呼ばれる地帯である。（図 1.3.2氾濫原縁辺部の模式図参照） Mataba seepage zone はSishanjo、Mataba Sitapa、Litongo の3つの土壌地帯から成り、モング郡内では氾濫原縁辺部に沿って最大2.0km 幅で、南北45kmに渡ってほぼ連続して分布している。

特に水稻作を主体として考えた場合には、Sishanjo地帯とMataba Sitapa 地帯の開発優先度が高い。

SishanjoおよびMataba Sitapa 地帯の概略の特徴を以下に示す。

① Sishanjo地帯

氾濫原の縁辺部に沿った0.2～1.0km幅の凹地状の平坦な湿地帯で、年間を通じて東方台地から湧水の供給を受け、地下水位は比較的高く一定している。全般に排水が良好でないため土壌は黒泥、ローム質黒泥及び分解の進んだ泥炭質黒泥

が主体で土壤水分は常に高い。この地帯ではメイズ、キャッサバ、さつまいも、米等が台地からの湧水を受け、縁辺部を南北に流下する小水路(Musiama canal)の水や雨期の降雨を利用して作付されている。

Sishanjo地帯は降雨によってしばしば湛水するが、氾濫原中央寄りの砂質段丘(Saana sand terrace)によって隔てられているため、ザンベジ川の洪水の直接的な影響は小さく、雨期の終わりに浅く冠水する程度である。

ナムシャケンデ実証圃場はこの地帯の一部に属している。

② Malaba Sitapa 地帯

Sishanjo地帯に接しSaana と呼ばれる氾濫原に広く分布する砂質土壤地帯への移行部にあたる。土壤は黒泥質ロームないし砂質ロームが主体で下層は砂土である。この地帯は縁辺部の湧水の影響も若干及ぶが雨期には洪水による冠水を被り、地下水位の変動もSishanjoに比して大きい。主要作物はメイズと米で、かぼちゃ、きゅうり、ミレットなどが一部栽培されている。メイズは洪水後の土壤水分を利用して作付され雨期の洪水到達前に収穫されるが、降雨量及び洪水の時期、その大小に左右され収量は不安定である。稲作は全般に降雨を待って作付けられているが、セフラ川やナミトメ水路のように台地より氾濫原に流下する小河川を利用して灌漑を行っている所もある。

3.1.2 対象地域の自然条件

対象地域内の自然条件を明らかにするため、ナムシャケンデ実証圃場における調査に加えて、次の2ヵ所のモデル地区を選定し調査を実施した。

- ・セフラ地区 : モングの南約15kmでナムシャケンデの北約10kmにあるセフラ村西方の縁辺部に位置し、台地内の集水域を持つ小河川セフラ川の右岸地域でモデル地区内の耕作面積は約25haである。
- ・リムルンガ地区 : モングの北約15kmのリムルンガ村北西の縁辺部に位置し、人工河川ナミトメ水路の右岸地域でモデル地区内の耕作面積は約30haである。

これらの地区の調査を通して明らかになった対象地域の自然条件について以下で述べる。

(1) 土壌・土質

1) 土性およびpH値

セフラ地区はSishanjoおよびMataba Sitapa 土壌が分布し、営農は稲作が主体である。土性は各々黒泥および黒泥ないし砂質ロームを呈している。層厚は0.2～0.4 mで下層は砂質土である。

リムルンガ地区はSishanjo、Mataba SitapaおよびSaana土壌が分布している。稲作はSishanjoおよびMataba Sitapa で主に行われ、Saanaではメイズ、サツマイモ等が作付されている。Sishanjoは黒泥が主体で一部黒泥質泥炭、Mataba Sitapa は砂質ロームが表層より0.2～0.4 m分布し、下層は砂質土である。Saanaは全体に砂質を呈している。

土壌のpH値はセフラ地区で5.9～6.5、リムルンガ地区で5.6～6.3の範囲で弱酸性であった。これと比較してナムシャケンデ実証圃場のE-7圃場(黒泥質泥炭)のpHは4.8であった(Appendix Table III.1.1参照)。

2) 土の浸透性

圃場の排水性、用排水路や道路の構造等を検討するために現場透水試験を実施し、透水係数を測定した。土の透水性は比較的高く、 $2.6 \times 10^{-3} \sim 3.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ の範囲であった。

現場透水試験の結果をAppendix Table III. 1. 2に示す。

3) 圃場地耐力

圃場の農作業における牛耕の適否を検討する目的で、セフラ、リムルンガ両地区の比較的軟弱なSishanjo土地帯を中心に、コーンペネトロメータにより地耐力の調査を実施した。

その結果、地表下10cmの地耐力はセフラ地区で平均 1.8 kg/cm^2 、リムルンガ地区で 1.5 kg/cm^2 であった。また、地表下15cmにおいてはセフラ地区で平均 3.4 kg/cm^2 、リムルンガ地区で 2.5 kg/cm^2 を示した。

現地試験により牛耕を可能とする地耐力が 0.8 kg/cm^2 以上と実証されていることから、両モデル地区では牛耕が可能であることが推定される。

圃場地耐力の調査結果をAppendix Table III. 1. 3に示す。

(2) 水文

1) 水源水量

乾期の用水利用の可能性や年間を通しての灌漑可能面積を推定すること等を目的に、両モデル地区に接するセフラ川およびリムルンガのナミトメ水路において流量測定を実施した。

観測期間の1991年9月から1992年4月までの流量の変動は、セフラ川で $0.29 \sim 0.86 \text{ m}^3/\text{s}$ 、ナミトメ水路で $0.22 \sim 0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。最低流量は10月、最高流量は降雨の最も多かった12月に発現した。

月別の流量変動状況はAppendix Table III. 1. 4およびAppendix Figure III. 1. 1に示す。

2) 地区内の水位変動

モデル地区内の地下水位観測を1991年10月より実施した。両地区ともに高、低位部にそれぞれ1ヵ所ずつのピエゾパイプを設置し、地下水位および湛水位を測定した。

セフラ地区では高、低位部ともに12月中旬頃、降雨および水路からの灌漑水により圃場内の湛水が始まった。また、リムルンガ地区では、低位部では水路からの灌漑水により11月中旬に湛水が始まり、高位部では12月下旬から降雨により湛水が始まった。

地下水位の変動幅は縁辺部から遠いMataba Sitapa 土壌区の方がSishanjo土壌区より大きく、最大湛水深はセフラ地区で0.25m、リムルンガ地区で0.35m程度であった。

今期はザンベジ本流の水位上昇が小さいため（昨年比にして、ピークで1.04m低い：マトンゴ地点）、洪水の影響は両地区に及んでいない。

月別の地区内の水位変動はAppendix Table III. 1.5およびAppendix Figure III. 1.3に示す。

3) 小ザンベジの水位変動

既に実証調査開始時から観測を継続している小ザンベジ（Malile川）のマトンゴ（Matongo）に加え、その下流約20kmのナウインダ（Nawinda）地点に水位標を設置し、1991年9月より水位観測を開始した。これらの水位調査は主に雨期のザンベジ川の洪水が氾濫原に及ぼす影響範囲を把握するためのもので、これまで継続して観測しているナムシャケンデ、リアルイ両実証圃場における水位、およびセフラ、リムルンガ両モデル地区の水位と関連付けられるものである。

マトンゴはモング西方約6 kmに位置し、ナウインダはナムシャケンデ西方約10km（セフラ地区の西南約8 km）に位置している。1991年の10月から1992年の5月までの両地点の水位変動状況を図III. 1.3に示す。両者ともに最低水位は10月下旬に現われ、最高水位は3月初旬であった。水位の最大変動幅はマトンゴ地点で3.1 m、ナウインダ地点で2.5 mであった。両地点の水位は3月初旬にピークとなり4月までは最大0.2 mの僅かな水位変動幅で推移したが、5月始め頃より急速に降下し5月末までに約1 m低下した。

尚、マトンゴ地点において昨年の水位と比較すると、最高水位、最大水位変動幅ともに約1 m今期が小さくなっていた（Appendix Table III. 4. 1、およびAppendix Figure III. 1. 3、III. 1. 4参照）。

(3) 気象

1) 気温および相対湿度

ナムシャケンデ実証圃場における月平均最高、最低気温と最高、最低相対湿度の観測値（1989年7月～1992年4月）をAppendix Table III. 4. 2に示す（但し、1990年6月～1991年2月の湿度は欠測）。最高気温は9月～12月にかけて最高となり、観測期間中の絶対最高気温は38℃で1990年11月12日に発現した。観測期間中の平均最高気温は29. 8℃、平均最低気温は15. 8℃であった。最低気温は6月～7月にかけて最低となり、絶対最低気温は2. 0℃で1991年6月10日に発現した。

モンゴ気象局とナムシャケンデ実証圃場における最高、最低気温を各年の最高、最低気温発現月について比較したものをAppendix Figure III. 1. 7～Appendix Figure III. 1. 12に示す。これによると、モンゴ気象局とナムシャケンデ実証圃場との気温較差は、最高気温よりも最低気温の方が大きく、特に6月、7月の冷涼乾期におけるナムシャケンデの最低気温は、モンゴよりも3℃～4℃低い日が多かった。これはこの季節の日没後の主風向が東であり、この東からの風が台地上の冷氣とともに縁辺部のスロープに沿って吹き降ろすことが原因と考えられる。ナムシャケンデにおいて1989年7月20日には降霜が観測されているが、その日のモンゴ気象局の最低気温は6. 9℃で霜は降りていない。

月平均最高湿度は年間を通して75%～90%のレベルにあり、これを下廻ったのは1991年の9月と10月、1992年の4月だけであり、期間中の平均最高湿度は80. 3%だった。月平均最低湿度は高温雨期の11月～4月までが高く40%前後であるのに対し、乾期は30%以下となり、期間中の平均最低湿度は33%であった。

2) 降雨

ナムシャケンデ実証圃場、リアルイ実証圃場、ムエケ・ダンボおよびモンゴ気象局の1990年6月から1992年5月までの2ヶ年に対する降雨量を比較したものが

Appendix Table III. 1. 5である。2年間の総計はナムシャケンデ実証圃場を100% (1643. 9mm/年) とすると、リアルイ82%、ムエケ50%、モング98%であった。同様に月毎に降雨量を比較した結果をAppendix Figure III. 1. 13 およびIII. 1. 14 に示す。これらの結果から氾濫原縁辺部周辺では降雨の地点較差が大きいことが明らかとなった。

ナムシャケンデとモングにおける1991年2月の日雨量をAppendix Table III. 4. 2 (23)で比較すると、両地点における年降雨量に大きな差はないものの、日雨量における地点較差は顕著で80mm以上も差のある日も認められた他、一方の地区で降雨があっても他方で降雨がない日もあった。両地点の1990年と1991年における第一降雨は9月下旬、10月中旬に観測されている。その後、11月までは10日間以上の無降雨期間があり、1回当たりの降雨も5 mm以下の日が多い。12月から3月までの月降雨量は100mm を超すが、4月には雨期が明ける。

3.2 灌漑・水管理指針

3.2.1 指針の適用範囲および前提条件

(1) 指針の適用範囲

1) 対象地域

Mataba seepage zone のうち Sishanjo 地帯およびMataba Sitapa 地帯を対象とする。

2) 対象とする営農形態

この指針で取り扱う農地の栽培体系は、灌漑条件下の水稲一毛作および水稲と畑作の二毛作体系とし、農作業は人力および畜力利用を主体とする。

また、営農規模は対象地域の現況の土地所有規模（1農家当り0.5～2.0ha）が対応できる小規模圃場を基本単位とし、灌漑・水管理計画はこれらの集団地区を対象とする。

(2) 指針策定の前提条件

1) 灌漑計画は圃場に十分かつ安定した用水量を与え、作物生産の向上を図るため用水を確保する必要がある。灌漑農業の経験が少ないザンベジ川氾濫原では、配水管理の失敗による損失や灌漑施設の破損等による損失を見込み、こういった状況が発生した折りにも対処できる計画とすることが重要である。

2) 計画灌漑基準年については施設の建設費用を考慮し、3～5年確率程度の渇水を対象とする。モング気象局の最近10ヶ年間の年降雨量に対し、非超過確率解析を実施した結果、1983年を計画灌漑基準年とした。（また、1983年の日雨量とその他の気象観測資料（モング気象局）をAppendix Table III. 2. 2～III. 2. 6に示す。）

3) 灌漑諸元決定に当り必要な資料については、農業実証調査の結果を適用し、不足するものについて追加調査を実施するものとする。

4) 水管理計画は間断日数や灌漑手法および営農計画に沿って立案し、水源施設を除く施設の維持・管理については、受益農民を主体とする水管理組織をこれに当

て、郡農業局がこれを指導することが望ましい。

以上の前提条件に従い灌漑諸元を定め、二毛作体系（水稲＋畑作物）における単位面積当りの旬別粗用水量の計算結果を表 3.2.5に、計画作付体系を図 3.2.5に示す。

3.2.2 水田灌漑・水管理

(1) 水田灌漑・水管理の現状

ザンベジ川氾濫原（以下、氾濫原）における水稲は、河川水位の季節的変化と天水を組合わせた原始的な自然湛水稲作耕地で栽培されており、畦畔で囲まれた水田という形態は見られないし、耕地面も均平されていない。このような自然湛水稲作耕地では河川水位の上昇とともに水がたたえられ、下降するにつれて自然に水が引いていくという、例年くり返されるこの季節的変化を利用して水稲を栽培している。このため河川上流地域の降水条件によって水位の季節的変化が乱れると、生産が著しく阻害される。また、水位の上昇速度に対応して草丈が生長する品種を作付する必要があるため、市場の要求や多収量品種への転換もままならないのが現状である。

(2) 水田灌漑・水管理の目的

降雨や河川水位の変動に左右されにくく、安定した生産量を得ることのできる水稲作を確立するとともに、市場の需要や農家の意向に沿った品種の作付を可能にすることを目的とする。

(3) 水管理計画

用水量計算の基礎となる水管理計画を立てるに当たっては、用水量計画の前提となる営農・栽培計画、およびそれらの用水量が水源地点から末端水田にまで十分にゆきわたるための管理組織と水管理方式の二つを想定する。

1) 営農計画、栽培様式の想定

水田用水量は水田の利用方式・栽培様式によって異なるので、計画地区における将来の水田利用体系を想定し、各体系別にそれぞれの栽培様式、作付体系を策定し、各水田利用体系別での必要水量を検討する要素を明確にしておくことが必要である。(水田利用計画、栽培様式、作付体系等の想定)

氾濫原縁辺部における作付体系として、農業実証調査の成果を基に整備圃場の利用計画モデルが図 2.2.1に提案されている。営農計画、栽培様式の想定はこれに従うこととする。

2) 末端水田における水管理計画

用水量は末端水田の灌漑方法によって異なるので、計画地区における灌漑方式と時期および期間の検討が重要である。このため地区の営農計画に沿った灌漑方式を検討する必要がある。(間断灌漑、掛流し灌漑、初期灌水の時期等)

氾濫原縁辺部の水田に対する栽培方式としては、乾田直播方式が想定されている。このため初期灌水時に用水量が最大となることが多いため、初期灌水を実施する時期を計画段階で決めておくことが重要である。初期灌水の時期は稲の葉数が3葉～4葉となった頃とされており、播種後1ヵ月経過した段階で実施することとする。また、灌漑方式は農業実証調査の結果に従い間断灌漑とし、間断日数は7日～10日が望ましい。

3) 水管理組織と施設計画

用水量計画に当っては水稲栽培に必要な用水量(純用水量)のほかに、水源から末端の水田までに用水を送水するため、いくらかの送水損失水量と配水管理用水量を必要とする。配水管理用水量は管理組織、管理施設の規模、管理方式等によって異なってくるので、これらの点を計画段階で十分想定しておくことが重要である(水管理組織およびその運営、用水施設およびその操作)。

ザンビアにおいて灌漑施設を持つ圃場は、商業農家や公的機関の試験圃場を除くと殆ど見られない。また、共同で灌漑による受益を得、かつ維持管理を実施している組織の事例も無い。このため具体的な水管理組織のシステムや規則の提案は今後の研究成果に譲ざるを得ないが、公的機関(郡レベル)の指導の下で受益

農民が主体となり維持管理を実施することが基本となる。

(4) 水田用水計画

水田用水計画において、蒸発散量と浸透量の和として求められる日減水深の積算量から有効雨量を差し引き、これに灌漑効率を見込むことで粗用水量が求められる。用水計画に当り農業の近代化を考慮し、圃場整備計画、営農・栽培計画に適合する計画とすることが重要である。以下に述べる灌漑諸元より、旬別に単位面積当たりの粗用水量を算定した結果を表 3.2.6に示す。

1) 圃場単位用水量

用水量は水稲栽培に必要な水量のうち人工的に供給する灌漑水量であり、必要水量から有効雨量を差し引くことにより求められ、単位面積当りの流量 ($m^3/s/ha$)あるいは、日当りの水深(mm/d)で表したものである。圃場単位用水量は圃場における蒸発散量と浸透量から構成される。各ブロックに対する日減水深の実測値が無い氾濫原の地域については、図 3.2.1に示されている各構成要素毎に以下の方法で算定する。

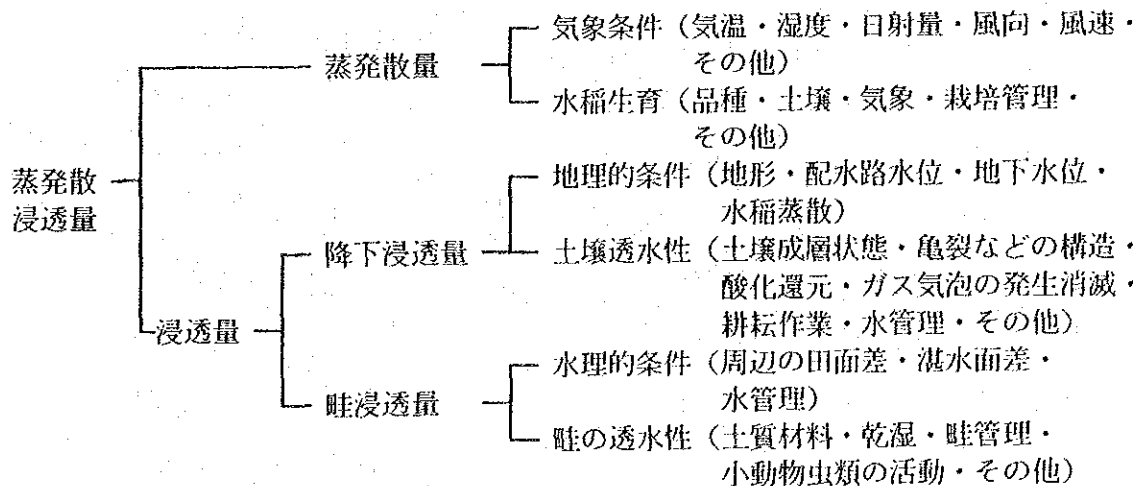


図 3.2.1 蒸発散浸透量の構成要素と規定要因^{1) 2)}

- 1) 中川昭一郎：水田用水量調査計画法（その5）
農土誌 34(10)、pp. 13 ~19 (1967)
- 2) 中川昭一郎：水田用水量調査計画法（その2）
pp. 27 ~32 (1966)

a) 蒸発散量

蒸発散量は、FAO Irrigation and Drainage Paper No24. のCrop Water Requirement (以下FAO I. D. P No. 24)に記載されているペンマン法により、求めた関係作物蒸発散量に稲の作物係数を乗じて求める(詳しくは、畑地灌漑・水管理の項参照)。計画灌漑基準年における関係作物蒸発散量の計算結果をAppendix TableIII. に示す。

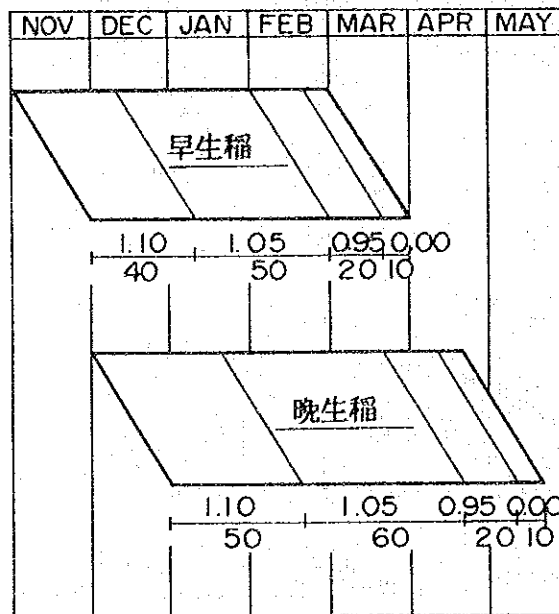
$$E T_{crop} = E T_o \times K_c$$

ここで $E T_{crop}$: 作物蒸発散量

$E T_o$: 関係作物蒸発散量

K_c : 作物係数

稲の作物係数についてもFAO I. D. P No24に従い、表28中のザンビアと同緯度の北オーストラリアに対する K_c 値を流用することとし、図 3.2.2のように定めた。最終旬の K_c が、0.0 になっているのは、落水期を考慮したためである。また、営農計画では乾田直播栽培方式をとることになっているため、播種後1ヶ月弱は無灌漑となるが、将来の栽培方式の変更による水需要の増大を考慮し、この期間の用水量も見込む事とする。



ここで、数値上段は K_c 値、下段は各生育段階の期間(日)

図 3.2.2 水稻の作物係数

b) 浸透量

浸透量は水田に供給された用水のうち、重力方向へ浸透する降下浸透と畦畔などを通して横方向に浸透する畦浸透とから構成される。降下浸透量は地下水位や土壌条件、代かきの程度等の条件の組合せによって変化する。畦浸透については、畦塗りの程度、隣接田または排水路の水位、畦畔の盛土材料タイプ等の条件の組合せにより変化する。このため、浸透量は灌漑期間を通して一定ではないが、計画においては5～10mm/day程度考慮する。

本計画ではナムシャケンデ圃場で実測した日減水深と、前項で求めた蒸発散量を比較することにより降下浸透量を5mm/day、畦畔浸透量を2mm/day 計上する。

2) 圃場単位用水量の期別変化

水田における水利用は灌漑初期に使用する用水量（初期用水量）と、その後から落水までの水稻生育期の用水量（普通期用水量）に二分できる。移植栽培においては初期用水量として苗代用水量、代かき用水量、代かき期用水量を確保する必要があるが、ここでは乾田直播栽培を前提としているため、これらの用水量は考慮せず初期灌水量を計上する。普通期用水量については生育段階毎の作物係数を用いて蒸発散量を求め、これに浸透量と栽培管理用水量を考慮して求める。

a) 乾田直播の初期灌水量

乾田直播栽培の初期灌水量は水稻の生育が所定の生育（一般には3～4葉期）に達した時点で最初に灌水を開始した後、常時灌水に切替えるまでの用水量である。乾田直播栽培では代かきを行わないため、初期灌水量は耕盤層以下の透水係数と地下水位の高さに左右され、地下水位が低くて透水性の大きい水田で大きく、透水係数の小さい土層が存在する場合、および灌水初期から地下水位が田面近くまで高まっている場合などは少ない。

本計画において、初期灌水の実施期日は早生稲で11月下旬から12月下旬、晩生稲では1月上旬から2月上旬と考えられ、この期間に初期灌水量として150mmを計上することとする。

b) 普通期用水量

乾田直播栽培では移植栽培よりも普通期用水量は増大する。その原因には代かきを省略するための下降浸透量の増と、畦塗りを行わないための畦浸透量の増の

二つがあり、周囲の条件によっては後者が以外に大きい。下降浸透量は、耕盤層以下の土層の透水係数が 10^{-5} cm/s以下の場合や、初期灌水時から地下水位が田面近くまで高まっている場合などでは、その増加量はほとんど問題にならないが、透水係数が大きく地下水位の低い場合などでは、移植栽培に比べかなり大きめの値となる。期別的には初期灌水直後で最も大きく、灌水後10~20日ではほぼ安定した値にまで低下する。

3) 有効雨量

有効雨量は圃場で必要な消費水量のうち、降雨によって直接供給される水量で降雨量、降雨強度、時期、水管理方式など圃場条件によって左右される。沱濫原の水田に対する有効雨量は、以下の方法で算定する。圃場の整備水準を考慮し許容田面貯留可能量（落水口の高さ）を常時湛水面上60mmと仮定し、これを有効日雨量の最大値とする。有効雨量の下限値は5 mmとし、5 mm以下、60mm以上の雨量は無効日雨量とする。連続降雨の場合には前日の有効雨量から日減水深を差引いた量に当日の有効雨量を加えた値に対して60mmの上限を適用する。降雨分布による誤差や水管理上の損失に対する安全率を20%見込むこととし、有効日雨量の80%を有効雨量とする。

4) 純用水量

純用水量圃場において必要な水量のうち、有効雨量を差引いた水量が純用水量である。

$$\text{純用水量} = (\text{期別必要水量}) - (\text{有効雨量})$$

5) 粗用水量

区域内のすべての圃場へ純用水量を配水するために取入れるべき用水量で、純用水量に送水損失率を考慮して決定する。

$$\text{粗用水量} = \text{純用水量} / (1 - \text{送水損失率})$$

本計画における灌漑システムは1団地の農地面積を約50ha、幹線水路延長を約2 km未満としており、水路は土水路と予想される。これらを考慮し、送水損失率を15%見込む事とする。

単位面積(ha)当りの年粗用水量は表 3.2.6より1,190mm/yearであり、受益面積を50haとすると、分水量は18.9ℓ/s、ピーク用水量は2月第3旬の120.1mmで、このときの分水量は86.9ℓ/sとなる。

3.2.3 畑地灌漑・水管理

(1) 畑地灌漑・水管理の現況

ザンベジ川氾濫原では天水を利用した畑作が実施されており、灌漑は殆ど行われていない。このため自然現象、とくに降雨条件に著しく左右される不安定な生産状況となっている。また耐干性の強い品種や作物を選択する必要もある。

(2) 畑地灌漑・水管理の目的

作物に必要な水分を安定的に補給することにより、収益性の高い作物と品種の導入および計画的な生産と出荷を可能とすることを目的とする。

(3) 畑地用水計画

計画上の1回の畑地灌漑水量は作物の消費水量と有効雨量、および対象地域の土壤水分特性により、下図に示す手順に従って求められる。

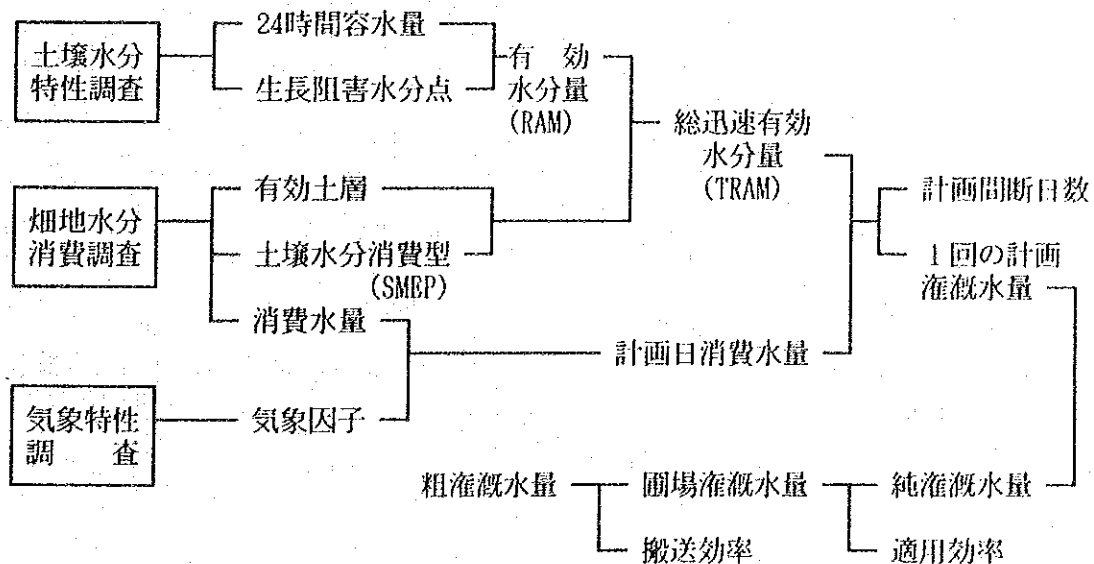


図 3.2.3 水分補給のための用水量算定の手順

1) 土壌水分の特性

土壌水分の特性として畑地灌漑計画に必要なものは、24時間容水量と、生長阻害水分点の土壌水分である。ナムシャケンデ実証圃場におけるメイズの土壌水分特性の測定結果を表 3.2.1~3.2.2 に示す。

表 3.2.1 有効土層40cmの土壌水分特性値

| 区分層 | 層 深 (cm) | 24時間容水 (容積比%) | 生長阻害水分量 (容積比%) |
|-----|----------|---------------|----------------|
| 第1層 | 0~10 | 51.0 | 28.9 |
| 第2層 | 10~20 | 58.0 | 40.7 |
| 第3層 | 20~30 | 40.2 | 29.4 |
| 第4層 | 30~40 | 37.0 | 28.4 |

表 3.2.2 有効土層80cmの土壌水分特性値

| 区分層 | 層 深 (cm) | 24時間容水 (容積比%) | 生長阻害水分量 (容積比%) |
|-----|----------|---------------|----------------|
| 第1層 | 0~20 | 54.5 | 34.8 |
| 第2層 | 20~40 | 38.6 | 28.9 |
| 第3層 | 40~60 | 37.0 | 28.4 |
| 第4層 | 60~80 | 37.0 | 28.4 |

a) 24時間容水量

十分な降雨または灌漑の後、24時間を経過したときの土壌中に保留されている水分量を24時間容水量とし、有効水分量の上限を示す水分量を示す。(PF1.5~2.0 に相当)

b) 成長阻害水分点

畑地灌漑により積極的な作物の増収と品質の向上を図るため、有効水分量の下限値として生長阻害水分点の水分量を当てはめる。加圧法によるPF3.0の水分量を生土により実測することにより求まる。

c) 有効水分量

畑地灌漑計画上の有効水分は24時間容水量と生長阻害水分点の間に分布し、正常生育に有効な範囲の土壌水分を指す。有効水分量は次式により求められる。

$$\text{有効水分量(RAM)} = (f_c - M_2) \times D \times 1/C_p \text{ (mm)}$$

ここで f_c : 24時間容水量 (容積比%)

M_2 : 生長阻害水分点 (容積比%)

D : 土壌厚さ (mm)

C_p : 土壌水分消費型の値 (%)

2) 畑地の水分消費量

a) 有効土層と制限土層

有効土層は土壌水分が24時間容水量に達した後、蒸発散や毛管補給などによって消費される土層厚を示す。本計画においては野菜やメイズの栽培を考慮し、有効土層は40cmと80cmの2ケースについて水分消費を検討した。

制限土層は有効土層内において水分消費に最も支配的な役割を果し、その層の水分状態が作物の生育、収量、品質に直接影響を与える土層である。これは、有効水分量と土壌水分消費型とから計算される各層別の総迅速有効水分量 (TRAM) が最少になる土層として与えられる。

b) 土壌水分消費型

有効土層内の土壌水分の減少度合いは一様でない場合が多く、通常は表層から下層になるにつれて小さくなる。有効土層をいくつかの土層に分割し、各層の水分減少量を有効土層全体の水分減少量に対する割合で示したものが土壌水分消費型である。通常、土壌タイプ別にそれぞれの作物に対し実測を要するが、氾濫原においては有効土層を4等分し、表層から40%、30%、20%、10%の水分消費が行われるものと仮定する。

ナムシャケンデ実証圃場における土壌水分特性値を用いて求めた有効水分量を表 3.2.3~3.2.4 に示す。

表 3.2.3 有効水分量 (層深40cm)

| 区分層 | 層 深 (cm) | 土壌水分消費型 (%) | 有効水分量 (%) |
|-----|-------------|----------------|--------------|
| 第1層 | 0~10 | 40 | 98.5 |
| 第2層 | 10~20 | 30 | 64.7 |
| 第3層 | 20~30 | 20 | 86.0 |
| 第4層 | 30~40 | 10 | 172.0 |

表 3.2.4 有効水分量 (層深80cm)

| 区分層 | 層 深 (cm) | 土壌水分消費型 (%) | 有効水分量 (%) |
|-----|-------------|----------------|--------------|
| 第1層 | 0~20 | 40 | 55.3 |
| 第2層 | 20~40 | 30 | 57.7 |
| 第3層 | 40~60 | 20 | 54.0 |
| 第4層 | 60~80 | 10 | 86.0 |

これによると、有効土層厚40cmの場合は第3層が制限土層となり、総迅速有効水分量 (以下TRAM) は54.0mmであった。有効土層厚80cmの場合は第2層が制限土層となり、TRAMは64.7mmであった。このため本計画においては、40cmおよび80cmに対する平均をとりTRAMを59.4mmとする。

3) 消費水量

消費水量は作物が正常に生育し、高収量と高品質を実現しうる状況下で消費される有効土層中の水分量であり、実測もしくはペンマン法等により蒸発散量を求めこれを適用するが、本計画における消費水量は、実測値がないためペンマン法により求めた。

a) ペンマン法¹⁾による蒸発散量の計算

温度、湿度、風速、日照時間、放射量の気象観測資料を用いて、関係作物蒸発散量(mm/day)を下式により求める。

注：¹⁾ FAO Guideline for Predicting No24
Irrigation and Water Requirement

$$ET_o = C \{ W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \}$$

ここで ET_o : 関係作物蒸発散量 mm/day

W : 温度に関する重みつき係数

R_n : 蒸発量で表す純放射量 mm/day

$f(u)$: 風速に関する関数

$(e_a - e_d)$: 平均気温の飽和蒸気圧と空気の平均実蒸気圧の差

C : 昼間と夜間の天気の影響を修正する調整係数

各作物の消費水量は、関係作物蒸発散量に各生育段階に対する作物係数を乗
 じることにより求める。

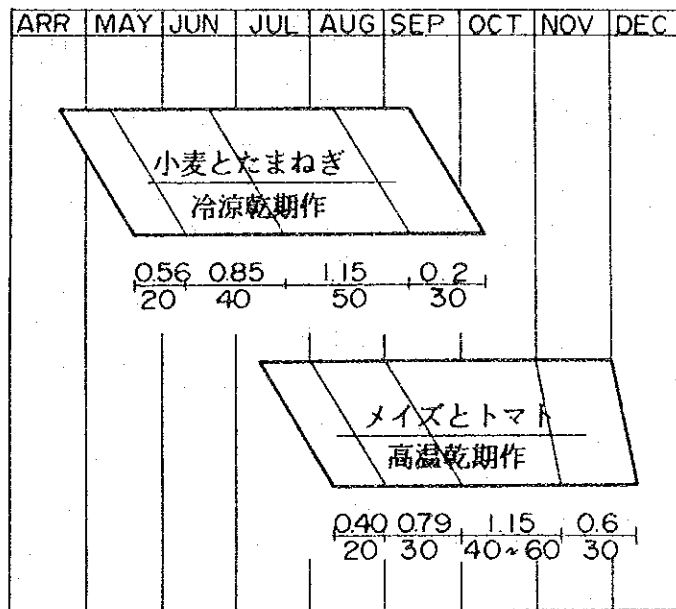
$$ET_{crop} = ET \times K_c$$

ここで ET_{crop} : 作物の消費水量

K_c : 各作物の各生育段階における係数

(FAO. Irrigation and Drainage Paper No24 第2章参照)

なお、算定に用いた作物係数を図 3.2.4に示す。



ここで、数値上段は K_c 値、下段は各生育段階の期間 (日)

図 3.2.4 生育段階別作物係数 (K_c) 値

4) 有効雨量

畑地に対する有効雨量は上限を総迅速有効水分量、下限を5mm（日蒸発計蒸発量相当）とし、これに降雨分布による誤差や水管理上の損失を考慮して80%を乗じて求める。ただし連続降雨の場合には、2日目以降は前日の有効雨量から日消費水量を差引いた量を加えた値に対して、上限(TRAM)を適用する。

① 降雨量 (R) に80%を乗じる 有効雨量 = $0.80 \times R$

(R < 5mm のとき R = 0)

② 有効雨量の上限値 (R_o) はTRAMから降雨直前における有効水分量を引く

$$R_o = (\text{TRAM} - \text{前日の有効雨量} + \text{日消費水量})$$

③ 有効雨量の決定

・ $R_o \geq 0.80 \cdot R$ のとき 有効雨量 = $0.80 \cdot R$

・ $R_o < 0.80 \cdot R$ のとき 有効雨量 = R_o

5) 間断日数と1回の計画灌漑水量

計画間断日数はTRAMを計画最大日消費水量で除して、小数点以下を切り捨てて求める。なお、計画日消費水量がピーク以外の場合も、間断日数は変更せずに灌漑時間で調整する。本計画における計画間断日数は以下のとおり。

ここで、計画最大日消費水量は表 3.2.7より3.04mm/day（面積比 60%）

$$\text{実質の計画最大日消費水量} = 3.04 / 0.60 = 5.07 \text{mm/day}$$

$$\text{計画間断日数} = \text{TRAM} / \text{ET}_{\text{crop max.}} = 59.4 / 5.07 = 11.7 \approx 11 \text{日}$$

1回の計画灌漑水量は、計画間断日数に期別ごとの計画日消費水量を乗じて求める。また、計画最大日消費水量を乗じたものを1回の計画最大灌漑水量という。

本計画における1回の計画最大灌漑水量は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{1回の計画最大灌漑水量} &= \text{ET}_{\text{crop max.}} \times \text{間断日数} = 5.07 \times 11 \\ &= 55.77 \approx 56 \text{mm} \end{aligned}$$

6) 純灌漑水量

畑作は二毛作体系中の水稲の裏作としての位置づけのため、純用水量の計算は水田純用水量の計算に準じ各旬毎に計算する。純用水量は期間消費水量から有効雨量を差引くことによつて求める。

7) 粗灌漑水量

粗灌漑水量は純灌漑水量を灌漑効率で除すことにより算定する。灌漑効率は適用効率と送水損失率により決定され、適用効率は灌漑方式により、また送水損失率は水路の長さや材料、維持管理状況により異なる。氾濫原においては、水田と同様、送水損失率を15%仮定し、適用効率をAppendixの末端灌漑計画に従い70%とすると灌漑効率は $(1-0.15) \times 0.70 = 0.612 \approx 60\%$ となる。この灌漑効率と前述の灌漑諸元より、旬別に単位面積当りの粗用水量算定結果を表 3.2.7に示す。

表 3.2.5 旬別粗用水量 (水稻 + 畑作)

| | Av.Kc | EToday | Days | ETo Dec. | ET crop | Loss(p.s.) | Init. pond | Sub Total | Rain | Eff. Rain | Net I.R. | Gross I.R. |
|-------|-------|--------|------|----------|---------|------------|------------|-----------|-------|-----------|----------|------------|
| Nov.1 | 0.35 | 4.7 | 10 | 47.0 | 16.5 | 5.8 | | 22.3 | 26.0 | 6.6 | 15.7 | 21.4 |
| Nov.2 | 0.47 | 4.6 | 10 | 46.0 | 21.6 | 17.5 | | 39.1 | 11.0 | 4.1 | 35.0 | 48.0 |
| Nov.3 | 0.66 | 3.9 | 10 | 39.0 | 25.7 | 29.2 | 12.5 | 67.4 | 40.0 | 19.4 | 48.0 | 65.8 |
| Dec.1 | 0.73 | 3.5 | 10 | 35.0 | 25.6 | 40.8 | 25.0 | 91.4 | 31.0 | 18.5 | 72.9 | 99.8 |
| Dec.2 | 0.82 | 3.5 | 10 | 35.0 | 28.7 | 52.5 | 25.0 | 106.2 | 44.0 | 23.7 | 82.5 | 97.1 |
| Dec.3 | 1.00 | 3.1 | 11 | 34.1 | 34.1 | 64.2 | 12.5 | 110.8 | 67.1 | 44.9 | 65.9 | 77.5 |
| Jan.1 | 1.08 | 2.8 | 10 | 28.0 | 30.2 | 70.0 | 12.5 | 112.7 | 25.0 | 16.0 | 96.7 | 113.8 |
| Jan.2 | 1.08 | 3.0 | 10 | 30.0 | 32.4 | 70.0 | 25.0 | 127.4 | 47.0 | 37.6 | 89.8 | 105.6 |
| Jan.3 | 10.70 | 2.6 | 11 | 28.6 | 30.6 | 70.0 | 25.0 | 125.6 | 165.0 | 129.6 | 0.0 | 0.0 |
| Feb.1 | 10.60 | 3.2 | 10 | 32.0 | 33.9 | 70.0 | 12.5 | 116.4 | 86.0 | 65.7 | 50.7 | 59.7 |
| Feb.2 | 1.03 | 4.1 | 10 | 41.0 | 42.2 | 70.0 | | 112.2 | 35.0 | 26.2 | 86.0 | 101.2 |
| Feb.3 | 0.93 | 5.1 | 8 | 40.8 | 37.9 | 64.2 | | 102.1 | 4.0 | 0.0 | 102.1 | 120.2 |
| Mar.1 | 0.77 | 3.7 | 10 | 37.0 | 28.5 | 52.5 | | 81.0 | 78.0 | 57.5 | 23.5 | 27.6 |
| Mar.2 | 0.61 | 4.4 | 10 | 44.0 | 26.8 | 40.8 | | 67.7 | 18.0 | 8.6 | 59.0 | 69.5 |
| Mar.3 | 0.52 | 4.7 | 11 | 51.7 | 26.9 | 35.0 | | 61.9 | 6.6 | 0.0 | 61.9 | 72.8 |
| Apr.1 | 0.50 | 4.3 | 10 | 43.0 | 21.5 | 35.0 | | 56.5 | 16.0 | 3.2 | 53.3 | 62.7 |
| Apr.2 | 0.41 | 4.7 | 10 | 47.0 | 19.3 | 29.2 | | 48.4 | 11.0 | 3.9 | 44.6 | 52.4 |
| Apr.3 | 0.27 | 4.8 | 10 | 48.0 | 13.0 | 17.5 | | 30.5 | 0.0 | 0.0 | 30.5 | 41.7 |
| May.1 | 0.16 | 5.8 | 10 | 58.0 | 9.3 | 5.8 | | 15.1 | 15.5 | 5.0 | 10.1 | 13.8 |
| May.2 | 0.16 | 6.3 | 10 | 63.0 | 10.1 | | | 10.1 | 0.0 | 0.0 | 10.1 | 16.5 |
| May.3 | 0.21 | 5.3 | 11 | 58.3 | 12.2 | | | 12.2 | 0.0 | 0.0 | 12.2 | 20.1 |
| Jun.1 | 0.24 | 5.3 | 10 | 53.0 | 12.7 | | | 12.7 | 0.0 | 0.0 | 12.7 | 20.9 |
| Jun.2 | 0.26 | 5.1 | 10 | 51.0 | 13.3 | | | 13.3 | 0.0 | 0.0 | 13.3 | 21.7 |
| Jun.3 | 0.27 | 5.6 | 10 | 56.0 | 15.1 | | | 15.1 | 0.0 | 0.0 | 15.1 | 24.8 |
| Jul.1 | 0.30 | 5.9 | 10 | 59.0 | 17.7 | | | 17.7 | 0.0 | 0.0 | 17.7 | 29.0 |
| Jul.2 | 0.33 | 6.3 | 10 | 63.0 | 20.8 | | | 20.8 | 0.0 | 0.0 | 20.8 | 34.1 |
| Jul.3 | 0.37 | 7.2 | 11 | 79.2 | 29.3 | | | 29.3 | 0.0 | 0.0 | 29.3 | 48.0 |
| Aug.1 | 0.41 | 6.9 | 10 | 69.0 | 28.3 | | | 28.3 | 0.0 | 0.0 | 28.3 | 46.4 |
| Aug.2 | 0.42 | 6.6 | 10 | 66.0 | 27.7 | | | 27.7 | 0.0 | 0.0 | 27.7 | 45.4 |
| Aug.3 | 0.38 | 7.1 | 11 | 78.1 | 29.7 | | | 29.7 | 0.0 | 0.0 | 29.7 | 48.7 |
| Sep.1 | 0.33 | 9.2 | 10 | 92.0 | 30.4 | | | 30.4 | 0.0 | 0.0 | 30.4 | 49.8 |
| Sep.2 | 0.31 | 7.8 | 10 | 78.0 | 24.2 | | | 24.2 | 0.0 | 0.0 | 24.2 | 39.6 |
| Sep.3 | 0.32 | 8.3 | 10 | 83.0 | 26.6 | | | 26.6 | 0.0 | 0.0 | 26.6 | 43.5 |
| Oct.1 | 0.34 | 7.5 | 10 | 75.0 | 25.5 | | | 25.5 | 0.0 | 0.0 | 25.5 | 41.8 |
| Oct.2 | 0.35 | 6.4 | 10 | 64.0 | 22.4 | | | 22.4 | 6.0 | 1.4 | 21.0 | 34.4 |
| Oct.3 | 0.35 | 4.6 | 11 | 53.9 | 18.9 | | | 18.9 | 26.4 | 4.7 | 14.2 | 23.2 |
| Total | | | 365 | | 869.6 | 840.0 | 150.0 | 1859.6 | 758.6 | 476.6 | 1387.0 | 1838.5 |

表 3.2.6 旬別粗用水量 (水稻)

| | Av.Kc | ETo day | Days | ETo Dec. | ET crop | Loss(p.-s.) | Init. pond | Sub Total | Rain | Eff. Rain | Net I.R. | Gross I.R. |
|-------|-------|---------|-------|----------|---------|-------------|------------|-----------|-------|-----------|----------|------------|
| Nov.1 | 0.09 | 4.7 | 10 | 47.0 | 4.2 | 5.8 | | 10.1 | 26.0 | 1.4 | 8.7 | 10.2 |
| Nov.2 | 0.28 | 4.6 | 10 | 46.0 | 12.9 | 17.5 | | 30.4 | 11.0 | 1.9 | 28.5 | 33.5 |
| Nov.3 | 0.46 | 3.9 | 10 | 39.0 | 17.9 | 29.2 | 12.5 | 59.6 | 40.0 | 11.3 | 48.3 | 56.8 |
| Dec.1 | 0.64 | 3.5 | 10 | 35.0 | 22.4 | 40.8 | 25.0 | 88.2 | 31.0 | 14.7 | 73.5 | 86.5 |
| Dec.2 | 0.82 | 3.5 | 10 | 35.0 | 28.7 | 52.5 | 25.0 | 106.2 | 44.0 | 23.7 | 82.5 | 97.1 |
| Dec.3 | 1.00 | 3.1 | 11 | 34.1 | 34.1 | 64.2 | 12.5 | 110.8 | 67.1 | 44.9 | 65.9 | 77.5 |
| Jan.1 | 1.08 | 2.8 | 10 | 28.0 | 30.2 | 70.0 | 12.5 | 112.7 | 25.0 | 16.0 | 96.7 | 113.8 |
| Jan.2 | 1.08 | 3.0 | 10 | 30.0 | 32.4 | 70.0 | 25.0 | 127.4 | 47.0 | 37.6 | 89.8 | 105.6 |
| Jan.3 | 1.07 | 2.6 | 11 | 28.6 | 30.6 | 70.0 | 25.0 | 125.6 | 165.0 | 129.6 | 0.0 | 0.0 |
| Feb.1 | 1.06 | 3.2 | 10 | 32.0 | 33.9 | 70.0 | 12.5 | 116.4 | 86.0 | 65.7 | 50.7 | 59.7 |
| Feb.2 | 1.03 | 4.1 | 10 | 41.0 | 42.2 | 70.0 | | 112.2 | 35.0 | 26.2 | 86.0 | 101.2 |
| Feb.3 | 0.93 | 5.1 | 8 | 40.8 | 37.9 | 64.2 | | 102.1 | 4.0 | 0.0 | 102.1 | 120.1 |
| Mar.1 | 0.77 | 3.7 | 10 | 37.0 | 28.5 | 52.5 | | 81.0 | 78.0 | 57.5 | 23.5 | 27.6 |
| Mar.2 | 0.61 | 4.4 | 10 | 44.0 | 26.8 | 40.8 | | 67.7 | 18.0 | 8.6 | 59.1 | 69.5 |
| Mar.3 | 0.52 | 4.7 | 11 | 51.7 | 26.9 | 35.0 | | 61.9 | 6.6 | 0.0 | 61.9 | 72.8 |
| Apr.1 | 0.50 | 4.3 | 10 | 43.0 | 21.5 | 35.0 | | 56.5 | 16.0 | 3.2 | 53.3 | 62.7 |
| Apr.2 | 0.41 | 4.7 | 10 | 47.0 | 19.3 | 29.2 | | 48.4 | 11.0 | 3.9 | 44.5 | 52.4 |
| Apr.3 | 0.24 | 4.8 | 10 | 48.0 | 11.5 | 17.5 | | 29.0 | 0.0 | 0.0 | 29.0 | 34.1 |
| May.1 | 0.08 | 5.8 | 10 | 58.0 | 4.6 | 5.8 | | 10.5 | 15.5 | 3.1 | 7.4 | 8.7 |
| Total | | | 191.0 | | 466.5 | 840.0 | 150.0 | 1,456.7 | 726.2 | 449.3 | 1,011.4 | 1,189.8 |

表3.2.7 旬別粗用水量 (畑作)

| | Av.Kc | ETo day | Days | ETo Dec. | ET crop | Rain | Eff. Rain | Net I.R. | Gross I.R. |
|-------|-------|---------|-------|----------|---------|-------|-----------|----------|------------|
| Apr.3 | 0.03 | 4.8 | 10 | 48.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 2.4 |
| May.1 | 0.08 | 5.8 | 10 | 58.0 | 4.6 | 15.5 | 1.9 | 2.7 | 4.5 |
| May.2 | 0.16 | 6.3 | 10 | 63.0 | 10.1 | 0.0 | 0.0 | 10.1 | 16.5 |
| May.3 | 0.21 | 5.3 | 11 | 58.3 | 12.2 | 0.0 | 0.0 | 12.2 | 20.1 |
| Jun.1 | 0.24 | 5.3 | 10 | 53.0 | 12.7 | 0.0 | 0.0 | 12.7 | 20.9 |
| Jun.2 | 0.26 | 5.1 | 10 | 51.0 | 13.3 | 0.0 | 0.0 | 13.3 | 21.7 |
| Jun.3 | 0.27 | 5.6 | 10 | 56.0 | 15.1 | 0.0 | 0.0 | 15.1 | 24.8 |
| Jul.1 | 0.30 | 5.9 | 10 | 59.0 | 17.7 | 0.0 | 0.0 | 17.7 | 29.0 |
| Jul.2 | 0.33 | 6.3 | 10 | 63.0 | 20.8 | 0.0 | 0.0 | 20.8 | 34.1 |
| Jul.3 | 0.37 | 7.2 | 11 | 79.2 | 29.3 | 0.0 | 0.0 | 29.3 | 48.0 |
| Aug.1 | 0.41 | 6.9 | 10 | 69.0 | 28.3 | 0.0 | 0.0 | 28.3 | 46.4 |
| Aug.2 | 0.42 | 6.6 | 10 | 66.0 | 27.7 | 0.0 | 0.0 | 27.7 | 45.4 |
| Aug.3 | 0.38 | 7.1 | 11 | 78.1 | 29.7 | 0.0 | 0.0 | 29.7 | 48.7 |
| Sep.1 | 0.33 | 9.2 | 10 | 92.0 | 30.4 | 0.0 | 0.0 | 30.4 | 49.8 |
| Sep.2 | 0.31 | 7.8 | 10 | 78.0 | 24.2 | 0.0 | 0.0 | 24.2 | 39.6 |
| Sep.3 | 0.32 | 8.3 | 10 | 83.0 | 26.6 | 0.0 | 0.0 | 26.6 | 43.5 |
| Oct.1 | 0.34 | 7.5 | 10 | 75.0 | 25.5 | 0.0 | 0.0 | 25.5 | 41.8 |
| Oct.2 | 0.35 | 6.4 | 10 | 64.0 | 22.4 | 6.0 | 1.4 | 21.0 | 34.4 |
| Oct.3 | 0.26 | 4.9 | 11 | 53.9 | 18.9 | 26.4 | 4.7 | 14.2 | 23.2 |
| Nov.1 | 0.26 | 4.7 | 10 | 47.0 | 12.2 | 26.0 | 5.1 | 7.1 | 11.7 |
| Nov.2 | 0.20 | 4.6 | 10 | 46.0 | 9.2 | 11.0 | 2.2 | 7.0 | 11.5 |
| Nov.3 | 0.20 | 3.9 | 10 | 39 | 7.8 | 40.0 | 8.1 | 0.0 | 0.0 |
| Dec.1 | 0.09 | 3.5 | 10 | 35 | 3.2 | 31.0 | 3.8 | 0.0 | 0.0 |
| Total | | | 234.0 | | 403.3 | 155.9 | 27.2 | 377.0 | 618.0 |

※ 但し面積比60%に対する用水量

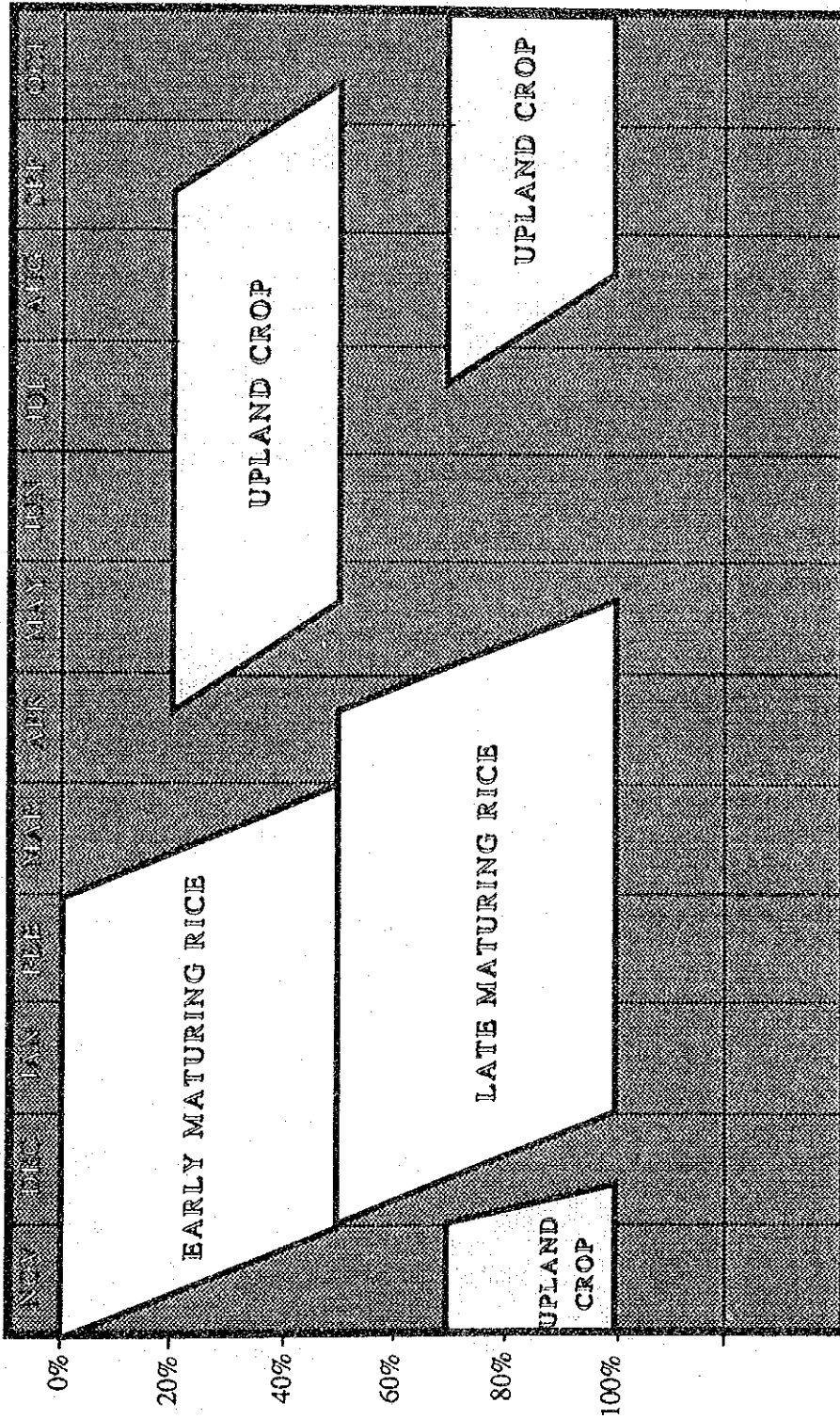


图3.2.5 計画作付体系

3.3 農地整備指針

3.3.1 指針の目的と適用範囲

(1) 指針の目的

この指針は、ザンベジ川氾濫原において農業に適し、将来、農業開発の可能性が高いと予測される地域に適用できる標準的な農地整備の計画、設計の考え方や手法等を示すものである。とりわけ、この指針は氾濫原内で稲作または稲作と畑作の二毛作を主体に営まれる小規模灌漑農業を目指す地区において適用されることを主眼としている。

(2) 指針の適用条件

1) 適用地域

この指針は、ザンベジ川左岸氾濫原で周辺農民によって永年農業が営まれ、雨期の洪水による冠水深が比較的小さく、かつ乾期の用水確保を可能とし、土壌が稲作および他の耕作に適している等の諸条件を有する氾濫原縁辺部寄りのSishanjoおよびMalaba Sitapa 土壌タイプを中心に構成される地域で主に適用されるものとする。

これらの地域は、モング郡内では氾濫原縁辺部に沿って、最大1.5km 幅で、モングより北約20km、南約25kmに渡ってほぼ連続して分布している。

2) 対象とする営農形態

この指針で取り扱う農地の栽培体系は、灌漑条件下の水稲一毛作および水稲と畑作の二毛作体系とし、農作業は人力および畜力利用を主体とする。

また、灌漑・水管理および栽培管理を同一条件で行うことのできる農区を営農の基本単位とする。農区は対象地域の現況の農家の土地所有規模（1農家当 0.5～2.0ha）と目標とする栽培体系を考慮し、2～5 haの規模とする。農地整備計画はこれらの集団地区を対象とする。

3.3.2 農地整備の目的と水準

(1) 農地整備の目的

農地整備は農業生産基盤である圃場の条件を総合的に整備することにより、農業生産性の向上を図ることを主目的とする。

具体的には、既成の農地の区画整備、用・排水施設および農道の整備等を一体的に実施することにより、農地を将来の営農形態に適合した効率的な農作業や合理的な水管理を行い得る生産性の高い条件に整備することである。

(2) 整備水準

対象地域で農地整備を計画するに当たって、地域の自然条件や当面の社会・経済および農業の水準を考慮すると高度の整備水準を導入することは困難である。このことから、農地整備指針を作成するに当たっては、計画農地において目標とする営農形態を考慮したうえで整備の基本方針を以下のように考える。

- 1) 農地整備は営農の基本となる農区（2～5 ha）の集団地区を対象とし、その規模は地域の村落単位で構成できる10～50haの範囲の小規模とする。
- 2) 計画農地の外周は農作業および水管理上必要かつ有効な農道（洪水の影響を受ける低位部では堤防の機能を有す）で囲むこととする。
- 3) 計画農地内の圃場整地は乾田直播の水田主体で灌漑を行うことを考慮し、必要に応じて最小限の均平を行う。圃場の一区画（一筆の耕地）は土工量を少なくするために現況を有効に生かした形状とし、区画境には畦畔を設ける。
- 4) 灌漑システムは最も基本的で経済的な重力灌漑を基本とし、用水路は土水路タイプとする。水源は台地より氾濫原縁辺部に流下する小河川や台地からの湧水を受けて、縁辺部を南北に流下するムシアモ水路(Musiamo canal)を想定する。

- 5) 用水路は現況地形、圃場の集団状況等に応じて必要最小限の路線配置とし、水田の農区内は基本的に田越し灌漑とする。
- 6) 計画農地内には余剰灌漑水や雨水を地区外へ排除するための排水路を設けるが、必要最小限の水路断面および水路密度とし、農地の潰れ地の縮小や経済性に配慮する。
- 7) 計画農地に付帯する水利施設や他の工作物は最小限とし、必要な設備は低価格で簡易構造、かつ操作の容易なものとする。

3.3.3 農地整備指針

(1) 農地整備の内容

この農地整備指針では一つの計画農地規模を10～50ha程度と想定し、農道、圃場の区画、用水路、排水路、および付帯施設についてそれらの標準的な整備計画を示す。

(2) 農道計画

1) 農道の配置

数個の農区から構成される計画農地（以下、地区と呼ぶ）の外周には農道を配置し、農作業や資材・収穫物の運搬等に利用するとともに、氾濫原の洪水の直接的な影響から農地を保護する堤防の役目を備えることとする。

また、地区内には耕起、播種、収穫あるいは水管理等の便利のために小規模の農道を必要最小限に設けることとするが、これらの農道による潰れ地面積を減らし建設費を小さくするために、計画される用水路の管理道路や排水路の溝畔、区画境の畦畔等をこれらの目的のための農道としてできるだけ有効に利用することが望ましい。

2) 農道の幅員、高さ

a) 地区外周道路

計画農地を囲む道路は洪水期において農地を外水による冠水から保護することをも目的とするので、これに必要な幅や高さを考慮する必要がある。

i) 幅

道路（堤防）の天端幅は、日本の小規模ため池等において透水や波浪に対する安全性に基づいて定められている次式を参考として決める。

$$B = 0.2 H + 2.0 \geq 3.0$$

ここに、 B : 堤頂幅 (m)

H : 堤 高 (m)

堤防としての天端幅は堤高が最大 2 m 程度であることから、3 m あればよい。

一方、農道を走行する農業機械や運搬車両の種類により、その幅員が決められる。対象地域では農耕用機械は無く、また、人力や牛ソリ等による運搬が現状であるが、農地整備後は小型のトラックやトラクタ、トレーラ等の走行が考えられる。

農道の幅は、将来導入する農業機械、車両の種類や走行頻度等の条件に応じて計画することが望ましく、本指針では 3.0 ~ 3.5 m の範囲で決めることとする。

(図 3.3.1 参照) なお、車両どうしのすれ違いは一方が地区内道路との交差点で待避すること等により対応できる。

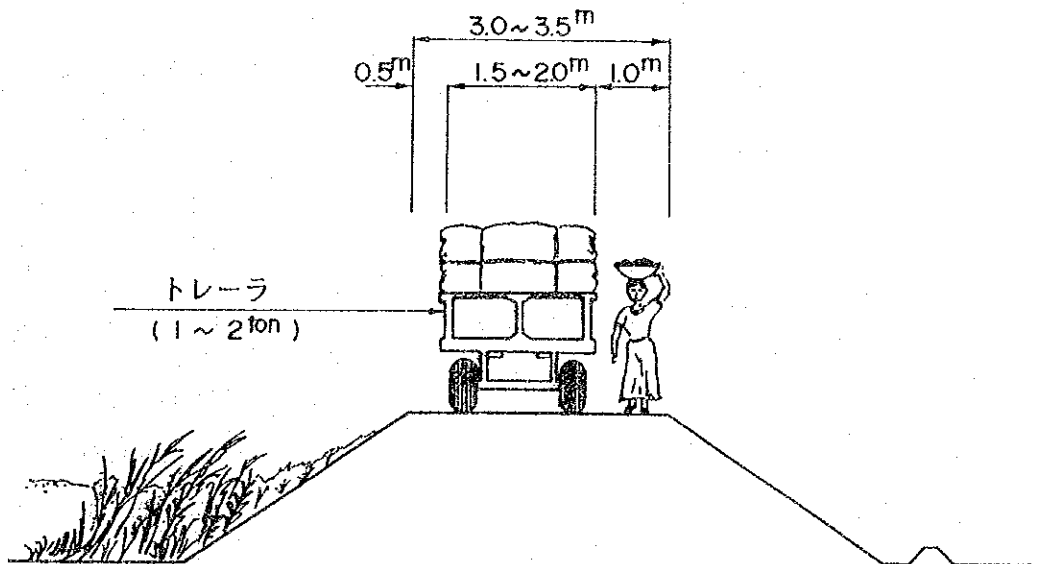


図 3.3.1 地区外周道路の幅

表 3.3.1に農道を走行すると予想される車両等の概略の幅を示す。

表 3.3.1 各種車両の参考幅員

| 種 | 類 | 全幅 (m) |
|------|-------------|--------|
| トラック | (5ton) | 2.4 |
| " | (2ton) | 1.7 |
| トレーラ | (2ton) | 1.9 |
| " | (1ton) | 1.5 |
| トラクタ | (ホイール40ps級) | 2.0 |
| " | (ホイール10ps級) | 1.3 |

ii) 高さ

地区外周道路の必要高さは洪水による冠水深の程度によって決まる。対象地域の水稻耕作地における洪水時期の冠水深は通常0.2 m～0.6 m程度と予想され、また、最近の大洪水時（1989年）の冠水深は最大1.0～1.2 mであった。この年のザンベジ川の洪水位は過去20年間で5番目の高水位で、ほぼ5年確率に相当している。（Appendix Table III.3.1参照）

堤防としての農道の盛土高さは、建設費の面から3～5年に1回程度起きる洪水位の高さを対象として決めることとし、基準圃場面からの高さは以下のように計画する。

$$\begin{aligned} \text{標準最大盛土高 (H)} &= \text{対象とする洪水深} + \text{余裕高} \\ &= 1.2 + 0.6 = 1.8 \text{ m} \end{aligned}$$

また、洪水の影響のない農道の圃場面からの高さは0.3 mを確保すれば良いこととする。

b) 地区内道路

地区内道路は地区外周道路から農区（灌漑ブロック）に進入したり、農区間を移動したりするために設けるが、用地を節約するために用水路の管理道路等とできるだけ兼用することが望ましい。また、農区内での移動は小用水路や小排水路の溝畔および畦畔を利用することとする。

主要な地区内道路の幅員は車両の単独走行が可能な幅とし、2.5～3.0 mで計画する。路面高さは圃場面上少なくとも0.3 mを確保するが、高すぎると耕牛等

の圃場への搬入が困難となったり、圃場の通風が悪くなったりするので0.3～0.4 mの間で計画することが望ましい。

3) 農道の構造

地区外周道路は洪水に対しある程度止水が可能な構造とする。対象地域で通常洪水の影響を受ける区域は、土質が全般に砂質ないし砂質ロームで透水性は 10^{-3} cm/secのオーダーと比較的高い。このために、盛土の止水材（刃金材）として、透水性の低い土の搬入利用が必要である。搬入用土は、氾濫原内でザンベジ本流寄りに分布し、Bulozi土壌タイプに属する低位部の粘性土が適当である。

刃金材としての粘性土は、洪水時の内外水位差によって生じるパイピングを防止する浸透路長を確保するための地盤への根入を必要とする。必要浸透路長はブライ(Bligh) およびレーン(Lane)の方法によって求め、根入深は1.0mとする。

(Appendix Table III.3.2参照)

このときの最大内外水位差は以下の条件より、0.8 mで計画する。

外水位：5年確率相当の洪水深で1.2 mとする。

内水位：地区内の低位水田地域の水位で、水稻の収穫期に当たるので、収穫の作業性から最大湛水深を0.4 mとする。

また、道路の側法面は洪水の波浪や大降雨等による侵食から保護するために植生（張芝）を施すことが望ましい。

地区外周道路の標準断面は図 3.3.2のように計画する。

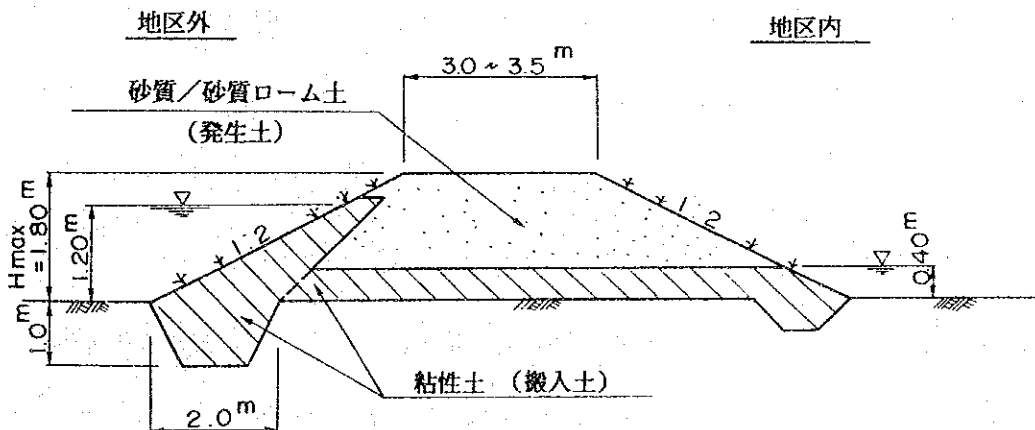


図 3.3.2 地区外周道路の標準断面

地区内道路は特に止水機能を必要としないので、これの築造には排水路の掘削等、造成に伴う発生土を利用する。

(3) 圃場区画計画

1) 区画整備の内容

計画地区内の区画（一筆の耕地）は、経済性や土地所有上の問題からできるだけ現況を活かすのが望ましいが、次のような場合は必要な整備を施すこととする。

- a) 水稲栽培において必要な畦畔が存在しない所、または不十分な所は新たにこれを設ける。
- b) 現況の区画が極端に小さく、これらがある程度集まっている所で標高差などの地形条件や土地所有上の制限を受けない場合は、耕作や水管理の便からできるだけこれらを統合する。
- c) 計画農地内の未耕地で耕地化が可能な所は、区画の集団化により効率的な農作業や水配分を行うために、できるだけこれらの未耕地を区画整備に取り込む。

2) 区画の大きさ、形状

区画の大きさは導入される労働手段、用排水操作などの水利条件、土地の傾斜、起伏などの地形条件などによって規定されるのが一般的である。

日本の農地整備においては地形や排水条件に特に制約を受けない場合、労働手段が牛馬耕の段階で $20\text{m} \times 50\text{m} = 0.1\text{ha}$ 、自動耕うん機の段階で $25\text{m} \times 80\text{m} = 0.2\text{ha}$ が標準であったが、近年の大型トラクタやコンバインを使う大型機械化稲作の段階では $0.3 \sim 0.5\text{ha}$ が標準になってきている。

計画地区で区画整備を行う場合は、均平工事において土工量が最小限となるような区画の配置、形状とすることが必要で、このためにはできるだけ区画の長辺を等高線に平行に、短辺を直角方向に配置することが望ましい。

ここでは、区画の大きさは現況の標準サイズや牛耕および人力耕作という作業手段を考慮し、 $50\text{m} \times 25\text{m} = 0.125\text{ha}$ （半リマ）を標準とする。

3) 区画の均平

整地作業における田面の均平度は水稲栽培上の制約から、湛水直播の場合±2.5cm、移植栽培で±5cm、乾田直播で±7.5cmが許容限界とみられる。日本の基準ではこれらを考慮して均平度の目安を±5cmとしている。

乾田直播の場合は、耕起や播種の作業期間および出芽期間は一様に迅速に排水され、一部でも排水不良部が発生していないことが肝要である。したがって、圃場排水が良好でない条件下では田面の均平度は湛水直播に劣らず要求がきびしいものとなる。

計画地区は乾田直播が主体であるが、耕起、播種、出芽期は未だ全般に地区内の地下水位が低く、土壌の排水性は一部のSishanjo土壌帯を除き良好なため、田面均平度の許容値は比較的緩和できるものと予想される。

ここでは区画の均平度は±10cmを目途とする。

4) 表土扱い

区画の切盛土工が必要となる場合に、表土が薄く、切土により下層の砂質土が露出するときは、できるだけ表土扱いを行うことが望ましい。

耕地の表土は長年の肥培によって作物の生育に好適な性質を有している。この表土を有効利用するために、開田や農地整備にさいして最初に表土をはぎ取り側方へ寄せておき、下層土を切盛して基盤を造成した後、その上へ表土を戻す方法がしばしば採られ、これを表土扱いと称している。表土扱いを省略した場合の栽培上の最大の問題は、切土部で下層土が露出し、その部分の生産力が著しく低下することである。

計画地区では全般に表土が薄い(15cm以下)ので、区画の切盛を行う場合は表土扱いを実施することが望ましい。ただし、黒泥層を主体とし表層が厚いSishanjo区域ではこの限りではない。

5) 畦畔

区画の境界に設ける畦畔は、各区画毎に均等な湛水を保持するのが主目的であるが、時には栽培管理作業の際の通路としての役割も果たす。

畦畔は上幅0.3m、高さ0.3m、法面勾配1:1程度の台形断面とし、泥炭土壌を除き、付近の水田の表層土を用いて土盛りにより築造する。

(4) 用水路計画

1) 用水路の分類

ここで取り扱う用水路は対象農地の面積が10～50ha程度の規模とし、機能上、以下に示す支線用水路と小用水路に分類する。

支線用水路：水源河川または水路より地区内に用水を導き、地区内の各農区（2～5 ha）を支配する小用水路に導水する。

小用水路：地区内の各農区の灌漑を支配する最小単位の用水路で、各農区の高位部を等高線に沿って配置し、これに直角方向に田越し灌漑を行う。

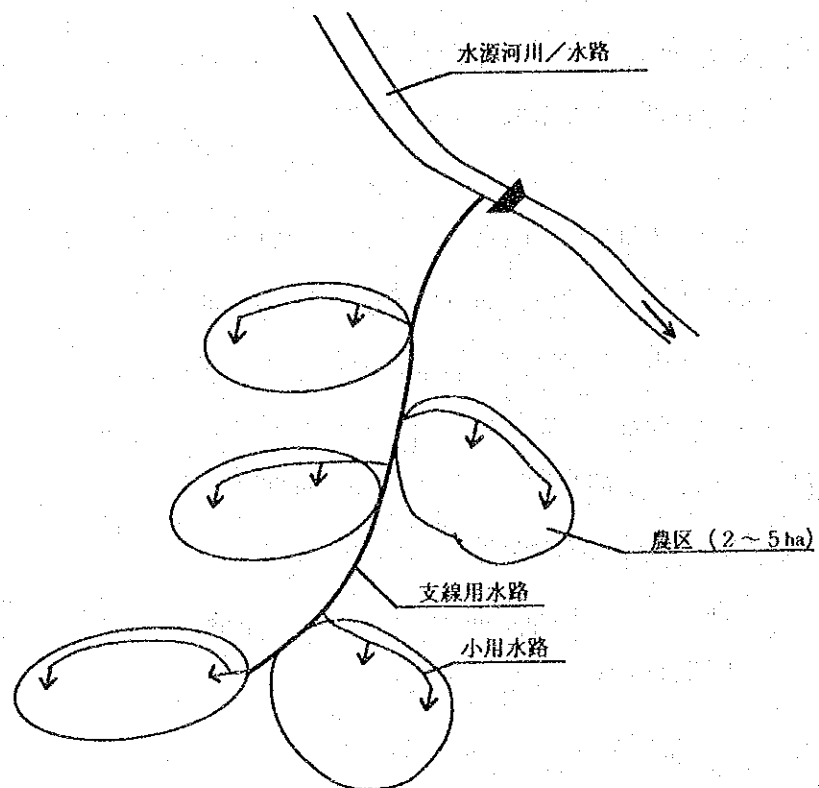


図 3.3.3 用水路システム模式図

2) 用水路の構造

用水路は最も経済的な土水路とするが、地盤の透水性が大きく ($K=10^{-1}\text{cm/sec}$ のオーダー以上) 漏水損失が大きくなる場合 (10%程度以上) や、土が洗掘・崩壊しやすく断面の維持が困難な場合等はライニングや土の置換等の工法を検討する必要がある。

対象地区は砂質系の土で透水係数は全般に 10^{-3}cm/sec のオーダーと予測されるので、粘質土によるライニング工法を採用することが望ましい。

ライニング用土は地区外周道路材と同様、氾濫原内の粘土もしくは砂質粘土を用い、用水路の底面および側斜面に10cm以上の厚さでライニングする。

3) 用水路の断面

a) 水路の断面形状

用水路の断面形状はその構造が土水路で、小規模であることから、単純かつ経済的な台形単断面とする。

b) 水路の縦断勾配

水路の縦断勾配は、対象地区の地形条件 (地形勾配) や水路の材質 (土質) に応じて異なる水路内の流速の制限に従って決定するのが妥当である。

c) 水路内の許容流速

水路の流速は、土砂の堆積や水中植物の繁茂が生じない最小許容流速と水路内面の材料が流水により侵食されず、かつ、水理的に不安定な流況が発生しない最大許容流速との範囲内であることを原則とする。

i) 最大許容流速: V_{max}

最大許容流速は水路を形成する材料によって著しく相違し、不明確なので経験や他の例から判断せざるを得ない。土質による水路の最大許容流速として、汎用的なスコビー (Scobery) の提案値と日本の設計基準で使用されている値を表 3.3.2 および 3.3.3に示す。

表 3.3.2 スコビーの最大許容流速

| 土 質 | | | | 清水の場合 | 砂を含む水 | 流砂を含む水 |
|-----|---|---|---|-----------|-----------|-----------|
| 細砂 | 質 | 口 | 一 | 0.45m/sec | 0.75m/sec | 0.45m/sec |
| 砂 | 質 | 口 | 一 | 0.50 | 0.75 | 0.60 |
| 細砂 | 質 | 口 | 一 | 0.60 | 0.90 | 0.60 |
| コイ | を | 含 | ま | 0.60 | 1.00 | 0.60 |
| コイ | を | 含 | ま | 0.75 | 1.00 | 0.70 |
| 普通 | の | 硬 | 締 | 0.75 | 1.00 | 0.70 |
| 火 | 山 | 砂 | 利 | 0.75 | 1.50 | 1.10 |
| 細 | 粒 | 粘 | 土 | 1.10 | 1.50 | 0.90 |
| 硬 | 砂 | 利 | 盤 | 1.10 | 1.50 | 1.50 |
| 山 | コ | イ | ド | 1.10 | 1.50 | 0.90 |
| コ | を | 含 | む | 1.10 | 1.50 | 0.90 |
| 硬 | い | 山 | 砂 | 1.20 | 1.70 | 1.50 |
| 粗 | 粒 | 砂 | 利 | 1.20 | 1.80 | 2.00 |
| 玉 | | | 石 | 1.50 | 1.70 | 2.00 |
| 水 | 成 | | 岩 | 1.80 | 1.80 | 1.50 |

表 3.3.3 最大許容平均流速

| 土 質 | | | 流速 m/sec |
|-----|---|---|----------|
| 砂 | 質 | 土 | 0.45 |
| 砂 | 質 | 口 | 0.60 |
| 口 | 質 | 口 | 0.70 |
| 粘 | 質 | 口 | 0.90 |
| 粘 | 質 | 口 | 1.00 |
| 砂 | 交 | り | 1.20 |
| 軟 | | 粘 | 2.00 |
| 中 | 硬 | 土 | 2.50 |
| 硬 | | 岩 | 3.00 |

出典：日本の設計基準（水路工1）

対象地区の土質は砂質ローム主体と判断されることから、最大許容流速を $V_{max} = 0.6m/sec$ とする。（粘質土によるライニングが十分堅固であれば $V_{max} = 0.9m/s$ 程度まで可能と思われるが、長期的安全性を考慮し、 $V_{max} = 0.6m/s$ を提案する。）

ii) 最小許容流速： V_{min}

土水路の堆積や洗掘を起こさない平均流速については、ケネディの式が流速決定の目安として広く使われている。

$$V_s = C \cdot D^{0.64}$$

ここに、 V_s ：堆積や洗掘を起こさない流速(m/sec)

D ：水深(m)

C : 土質による係数

〔軽い細砂質土 : 0.46、砂質ローム : 0.56

〔重い粗砂質土 : 0.51、粗いシルトや硬質土質 : 0.60

上式に基づき、水路の水深別に V_s 値を示すと表 3.3.4 のようである。このときの C 値は 0.56 (砂質ローム) とする。

表 3.3.4 ケネディ式による限界流速

| | | | | |
|---------------|------|------|------|------|
| D (m) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| V_s (m/sec) | 0.20 | 0.26 | 0.31 | 0.36 |

計画地区の用水路は小規模のため、その水深が 0.4 m 以下であるから最小許容流速は $V_{min} = 0.3$ m/sec とする。

d) 水路の流量と流速計算

i) 流量

水路の流下流量は次式によって計算される。

$$Q = A \cdot V$$

ここに、 Q : 流量 (m³/sec)

A : 通水断面積 (m²)

V : 平均流速 (m/sec)

ii) 平均流速公式

開水路内の流速 (等流) は、精度が高く計算が容易で多くの機関で使用されている Manning (Manning) の平均流速の公式に従う。

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

ここに、 V : 平均流速 (m/sec)

R : 径深 (m)

I : 水路底勾配

n : 粗度係数

粗度係数は種々の水路の施工事例から整理された日本の設計基準の値や他で提案されている値等をもとに、対象地区で計画される用水路の状態を考慮し、その値は $n = 0.030$ とする。日本の設計基準で提案している粗度係数を表 3.3.5 に示す。

表 3.3.5 掘削水路の粗度係数

| 水路の材料と状態 | 粗 度 係 数 | | |
|------------------|---------|-------|-------|
| | 最小値 | 標準値 | 最大値 |
| 土、直線で一樣な場合 | | | |
| 1. 雑草なし（完成直後） | 0.016 | 0.018 | 0.020 |
| 2. 雑草なし（野ざらし後） | 0.018 | 0.022 | 0.025 |
| 3. 砂 利（雑草なし） | 0.022 | 0.025 | 0.030 |
| 4. 短い草はあるが雑草は少ない | 0.022 | 0.027 | 0.033 |
| 土、湾曲し一樣でない場合 | | | |
| 1. 植物被覆なし | 0.023 | 0.025 | 0.030 |
| 2. 若干の雑草 | 0.025 | 0.030 | 0.033 |
| 3. 雑草又は水草密生深い | 0.030 | 0.035 | 0.040 |
| 4. 底面は土で側面は粗石 | 0.028 | 0.030 | 0.035 |
| 5. 底面は石で側面は雑草 | 0.025 | 0.035 | 0.040 |
| 6. 底面は玉石で側面雑草なし | 0.030 | 0.040 | 0.050 |

出典：日本の設計基準（水路工1）

e) 水路の法面勾配

水路の法面は流水および自然条件に対し滑動、洗掘、侵食を起こすことなく安定を維持することが必要で、法面勾配は使用する土の性質、切土深さ、盛土高さ等の条件によって決定される。

対象地区では計画される用水路の規模は比較的小さいが、土質が砂質を主体とするため以下の法面勾配（垂直：水平）を標準とする。

切土水路の法面勾配 1 : 1.5

盛土水路の法面勾配 1 : 1.5 ~ 1 : 2.0

ナムシャケンデおよびリアルイ実証圃場造成時の用水路の盛土および排水路の切土法面勾配は以下のものであった。

表 3.3.6 実証圃場の水路法面勾配

| | 用水路盛土 | 排水路切土 | 土 質 |
|---------|---------|---------|--------------|
| ナムシャケンデ | 1 : 1.5 | 1 : 1.5 | 黒泥／泥炭土および砂質土 |
| リアルイ | 1 : 2.0 | 1 : 2.0 | 砂質土 |

また、日本の設計基準では土質および切・盛高さに応じて経験的に求めた法面勾配の標準値を表 3.3.7のようにしている。

通常、切土または盛土高が大規模になる場合は、土質試験値をもとに法面の安定解析を行い、安全かつ経済的な法面勾配を決定する。

表 3.3.7 水路の法面勾配の目安 1 : s (垂直 : 水平)

| 土 質 | 切 土 | 盛 土 | | 盛 土 (裏 法) | |
|---------|---------|---------|--------|-----------|--------|
| | | 3 m未 満 | 3 m以 上 | 3 m未 満 | 3 m以 上 |
| 砂 質 土 | 1.5~2.0 | 2.0~2.5 | 2.5 | 2.0 | 2.5 |
| 砂 れ き 土 | 1.0~1.5 | 1.5~2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| ロ ム | 0.5~1.0 | 1.0~2.0 | 2.0 | 1.5 | " |
| 粘 質 土 | " | " | " | " | " |
| れき混り粘土 | " | " | " | " | " |
| 岩 | 0~0.5 | - | - | - | - |

出典：日本の設計基準（計画排水）

f) 水路の余裕高

水路内で一時的に生ずる高水位、波浪などに対して水路の安全を保つために設定される計画水位上の高さで、水路の流量、規模、重要性、流入洪水量などを考慮して決定される。

日本の設計基準では次の3項目を考慮すべき余裕高としている。

- i) 水路粗度係数の変動に対する余裕
- ii) 流速水頭の静水頭への変換の可能性に対する余裕
- iii) 水路内の水利施設（ゲートなど）や風などによる水面動揺に対する余裕

これに基づく素掘り水路およびライニング水路の余裕高は次式で算定される。

$$F_b = 0.05d + h_v + 0.10$$

ここに、 F_b : 余裕高 (m)

d : 設計流量に対する水深 (m)

h_v : 流速水頭 (m) = $V^2/2g$

上式による余裕高の値が0.3 mを下回る場合は、他に提唱されている経験式等をも勘案し、最小余裕高を0.3 mとする。

g) 水路の底幅、水深比

用水路内の流量の大きさに応じて適切な水路底幅を計画するため、次の底幅と水深の関係式を用いる。

$$d = 0.5 \cdot b^{1/2}$$

ここに、 d : 水深 (m)

b : 底幅 (m)

小流量の台形断面水路では、底幅と水深の比は 1 : 1 ~ 3 : 1 の範囲内を目安に決めるものとする。

h) 用水路の標準断面

以上の条件より、計画地区で適用される支線用水路の標準断面を図 3.3.4 に示す。

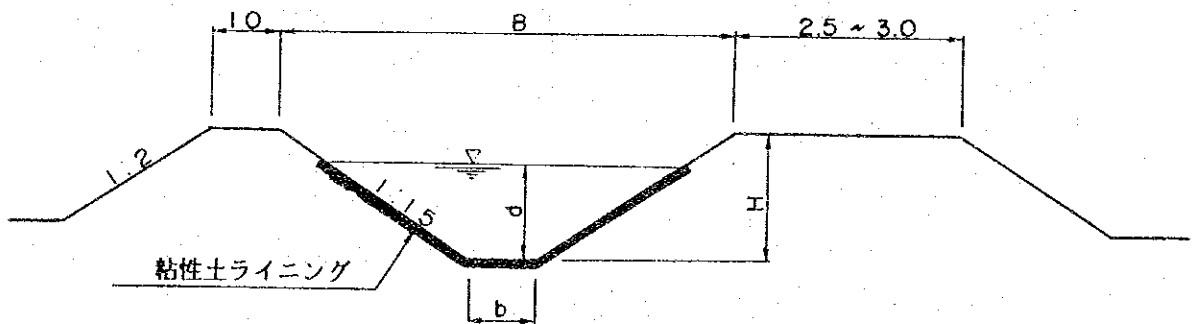


図 3.3.4 支線用水路標準断面

表 3.3.8 支線用水路標準寸法

| 灌漑面積 (ha) | 流量 Q (m ³ /s) | 水路勾配 I | b (m) | d (m) | H (m) | B (m) |
|--------------|-----------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 50 | 0.087 | 1/1000 | 0.40 | 0.31 | 0.70 | 2.50 |
| 40 | 0.069 | " | 0.30 | 0.30 | 0.60 | 2.10 |
| 30 | 0.052 | 1/500 | 0.25 | 0.23 | 0.60 | 2.05 |
| 20 | 0.035 | " | 0.20 | 0.20 | 0.50 | 1.70 |

注 1) 単位用水量は $q = 1.734$ l/sec/ha

2) 水理計算結果は Appendix Table III.3.3 参照

(5) 排水路計画

1) 排水路の必要性

排水路は大雨時の田面の余剰水排除や畑作期の降雨水排除等の目的で設け、二毛作体系では地表水排除と地下水排除の両機能を併せ持つ必要がある。

2) 排水路の分類

排水路は圃場の排水を直接うける小排水路とこれらの排水をうけて地区外へ排出する支線排水路に分ける。

a) 小排水路

小排水路は各農区の下流部に設け、耕地面からの灌漑余剰水や雨水を集めて支線排水路へ流去させる地表排水機能と、土中水あるいは耕地面のたまり水の浸透水をうける地下排水機能を有す。

b) 支線排水路

支線排水路は小排水路から流出する水をうけ、地区外へ排出する。支線排水路の流末は、近くに自然河川や排水路が存在すればこれに接続するが、これらが無い場合は地区外の低位部に導き、周囲の地下水位が低い時期は地下浸透させる。

3) 排水路の構造・断面

排水路は素掘りの土水路とし、断面は最小規模とする。排水路の深さは、地表水の排除のみを目的とする場合は、0.3～0.5 m程度で十分であるが、畑作の湿害防止のため地下水排除を考慮する場合は、0.7 m以上の深さを必要とする。

小麦、メイズの生育に支障のない地下水位は地表下0.4～0.5 m以下とされている。

地下排水を考慮する場合、小排水路の深さと間隔は土の透水性が大きいほど浅く、間隔は広くて良い。

表 3.3.9は、土性あるいは土の透水係数と排水路の深さ・間隔の関係の目安を示すものである。

表 3.3.9 地下排水支配長

| 土性 | 透水係数 | 小排水路 | |
|-----|-------------------------------|-----------|----------|
| | | 深さ | 間隔 |
| 埴壤土 | $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sec | 1.0~1.2 m | 50~120 m |
| 壤土 | 10^{-4} | 0.8~1.0 | 100~150 |
| 砂壤土 | 10^{-3} | 0.7~0.8 | 120~200 |

出典：農地工学（上）

対象地域は砂質ロームないし砂質が主体で透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/secにあること等を考慮し、小排水路の平均深さは0.8 mを標準とする。この場合、50~100 mの範囲まで地下水位低下の効果があると判断される。

排水路の法面勾配は、その深さ、主体となる土質条件を考慮し、1 : 1.5 を標準とし、降雨による法面侵食を防止するため内面に植生を施すことが望ましい。

また、排水路の底幅は0.3 mを標準とし、耕地境側には上幅0.5 m、高さ0.3 mの溝畔を設け、農作業や農区内での移動等のため通路として利用する。

排水路の標準断面を図 3.3.5 に示す。

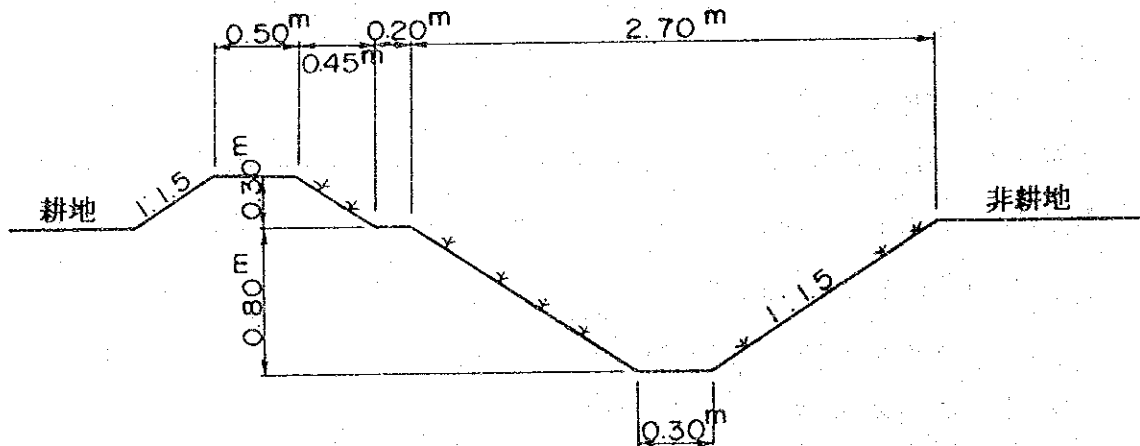


図 3.3.5 排水路の標準断面

(6) 付帯施設計画

農地整備にともない農道や用排水路に付帯して、用水分水・水位制御施設、道路・水路横断工および排水樋門等が必要となる。

分水施設としては支線用水路から小用水路への分水、小用水路から圃場への分水がある。支線用水路から小用水路への分水は、小流量の場合に経済的で構造が簡易なパイプ分水形式とする。水管理操作のために流入口に簡易な角落しゲートを設け、また、支線用水路内には分水位を十分に保ち、分水を容易にするためのチェックゲート（角落し）を設けることが望ましい。

小用水路から圃場または圃場内水路への用水の取入れは、小用水路の溝畔に欠口を設けたり、パイプを埋設し、土のう等で水管理する方法が最も単純である。水管理をより厳密に行う場合は、取水口をコンクリートブロックなどの固定的構造物とし、角落し形式とすることが望ましい。これらの設置間隔は50～100 mに1箇所程度とする。

水路が道路を横断する場合はコンクリート管または石綿管等を用いたパイプ形式の横断工を設ける。

計画地区全体の排水操作のために地区末端の支線排水路上の地区外周道路に排水樋門を設ける。樋門は地区内からの排水が必要で自然排水が可能な場合はゲートを開き、外水位が高く地区内への水の侵入を防ぐ必要のある場合にゲートを閉じる操作を行う。樋門は水密可能なコンクリートブロックまたは鉄筋コンクリート構造とし、簡易な鉄製や鉄枠木製の開閉ゲートを備える。

3.4 ダンボにおける土地利用方式

3.4.1 ムエケ地区ダンボの現況

ムエケ地区ダンボ(Dambo)はモングの東方約20kmの台地上に位置している。このダンボは連結ダンボを成し、上流ダンボは湖沼を有し常に水を湛えている。一方、下流ダンボは雨期に通常湛水する皿状に窪んだ湿潤ダンボで、その長さは5km、幅は3km程度でダンボ端部と中央部の比高は最大2m程度である。

ここでの農業は主に下流ダンボが耕作地域となっており、乾期にダンボ中央寄りの低位部で土壤水分を利用してメイズが栽培されている。雨期には、早熟性メイズがダンボの縁辺寄りで栽培され、中央寄りの湛水区域では稲作が行われている。稲の作付時期は10月～11月で収穫は5月～6月が普通であるが、降雨の時期や湛水の状況によって幾らか前後する。その他の作物ではミレット、キャッサバがダンボ周辺の砂質台地で栽培されている。農業の中心となっている下流ダンボの土壤は、ダンボの端部(高位部)は全般に砂質土であるが、中央部(低位部)はシルト質粘性土が広く分布している。その中間部は砂質ロームないしシルト質ロームの土性を呈している。これらの土層は約30cm厚で分布し、その下層は全体に砂質を呈している。また、土のpH(H₂O)は6～6.5の範囲を示している。

完全な天水依存型のムエケ地区ダンボの農業にとって降雨量の変動はこの地域の農業生産を左右する最も重要な要素となっている。当地域は土壤が比較的肥沃で稲やメイズ等の穀物栽培に適した土壤条件にあるが、年毎の降雨量や降雨時期が不安定なためこれらの作物の生産性を低くしている。特に、降雨不足が深刻となっている。

3.4.2 土地利用方式の検討

(1) 目的

ムエケ地区の下流ダンボを対象として、地域の地形、水文、土壌条件、現況の作付状況および農業実証調査の結果等をもとに地域内における適性作物を選定し、それらの地形的、時期的配置を標準的に示すことを主目的とする。

(2) ダンボの地形および土壌分布

下流ダンボの地形と土壌分布の関係は図 3.4.1 (平面)、および図 3.4.2 (断面) に示すとおりである。これらの図から分るように、標高 7.5~8.0 m (仮標高) の低位部はそのほとんどがシルト質粘土ロームの土壌を呈し、これは下流ダンボで広範に分布している。

(3) ダンボ内の水位機構

農業実証調査期間中に測定した下流ダンボの中央低位部の水位変動状況を図 3.4.3 に示す。1989年1月から1992年4月までの変動状況から、通常の降雨年は1月頃からダンボの中央部で湛水が始まり、降雨の終了する4月頃水位は最大となる。湛水は9月頃終わり、本格的な降雨開始直前の11月~12月に地下水位は最低となる。

1989年の水位は該当する年の雨量が極端に大きく、(過去10ヵ年で最大)地下水位の降下が例年に比して小さく年間を通じて湛水状態を維持するという特殊なケースである。また、1992年は逆に雨量が非常に小さく(過去10ヵ年で2番目に小さい)、例年に比べて湛水深は小さく、湛水期間、湛水面積もかなり小さい状況となっている。

図 3.4.4は下流ダンボの湛水位と湛水面積の関係を表す。

(4) 作付計画

上に述べたダンボの地形、水文、土壌条件および現況の作物作付状況を考慮して、この地方の主要作物である水稲、メイズについての作付計画を以下に述べる。

1) 水稲

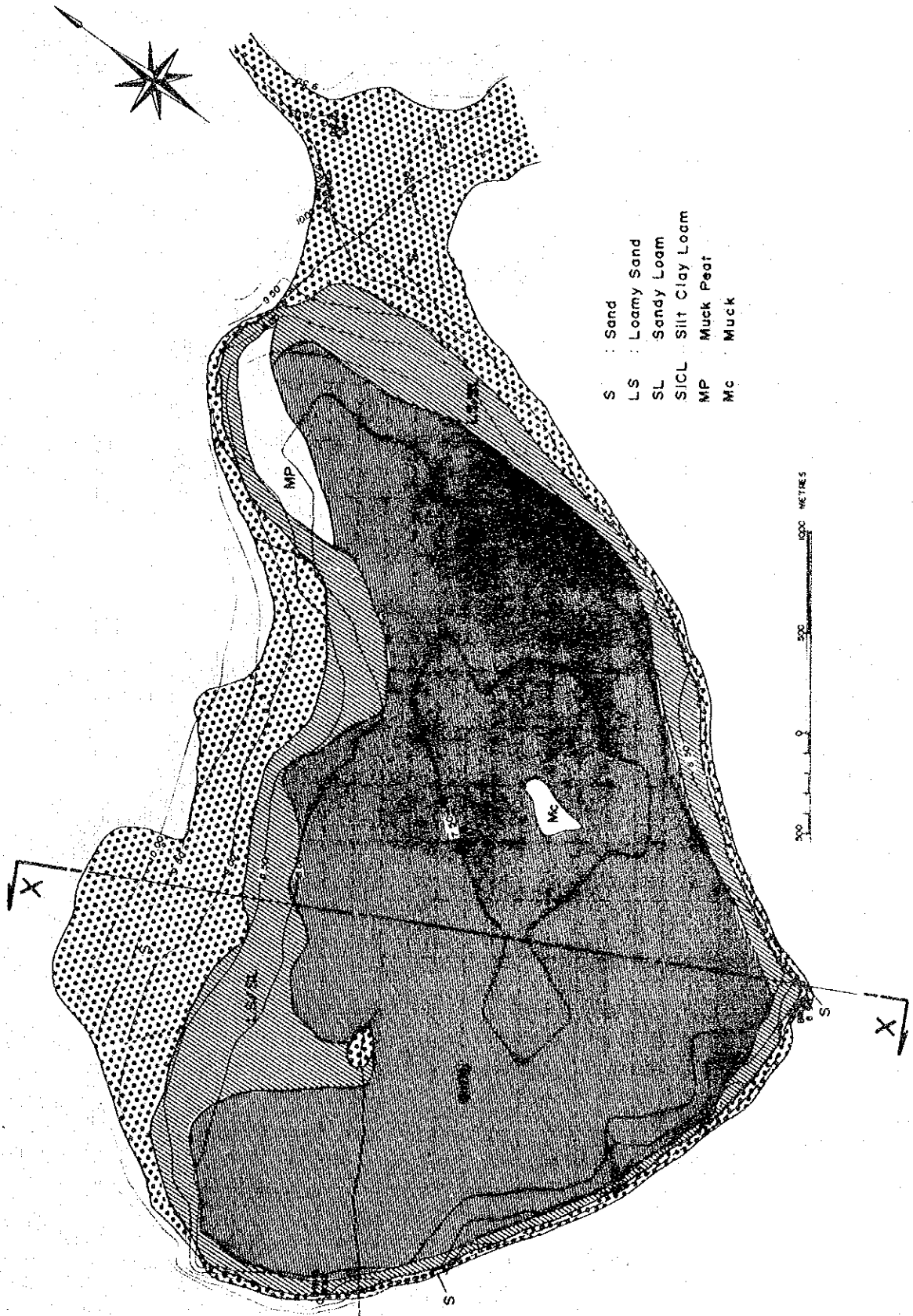
当地域の現況の作付時期および実証試験の結果等から、水稲の作付時期は11月中

旬～12月上旬が適当と推察される。また、収穫は早生種で4月上～中旬、晩生種は4月下旬から5月中旬が望ましい。品種は長稈種を選定し、年により予測できない深水に対応できるものとする。通常の生育期の最大湛水深は40cm程度を目安とし、これらの標高地帯を選定するよう計画する必要がある。

2) メイズ

作付時期は地域の土壌水分を利用して7月中～下旬とし、作付区域はこの時期に地下水位が地表下15cm以下に存在する所を選定することが望ましい。収穫は11月下旬が目安となる。

メイズの出穂期（10月中～下旬）がダンボの通常の地下水位状態において、かなり低い時期に当るので、この時期に補給水の確保が重要となる。



- S : Sand
- LS : Loamy Sand
- SL : Sandy Loam
- SICL : Silt Clay Loam
- MP : Muck Peat
- Mc : Muck

0 500 1000 METRES

図 3.4.1 下流ダンボの地形、土壌平面図

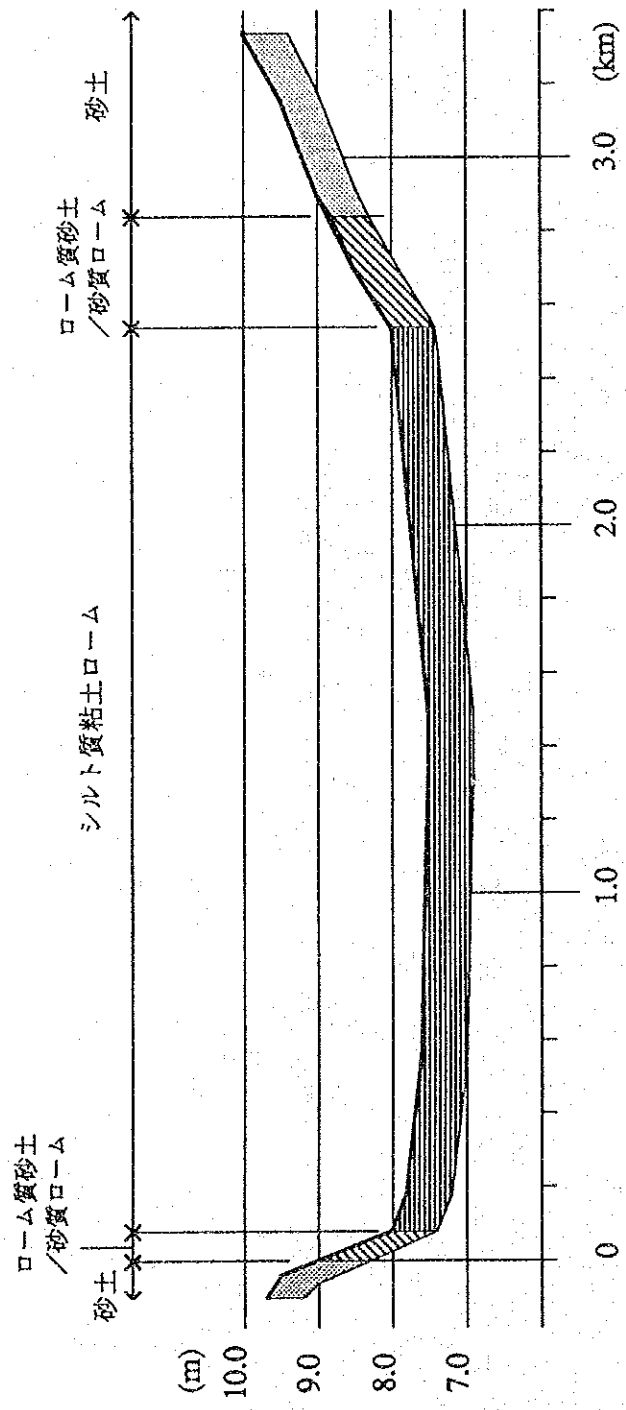


図 3.4.2 下流ダンボの地形、土壌断面

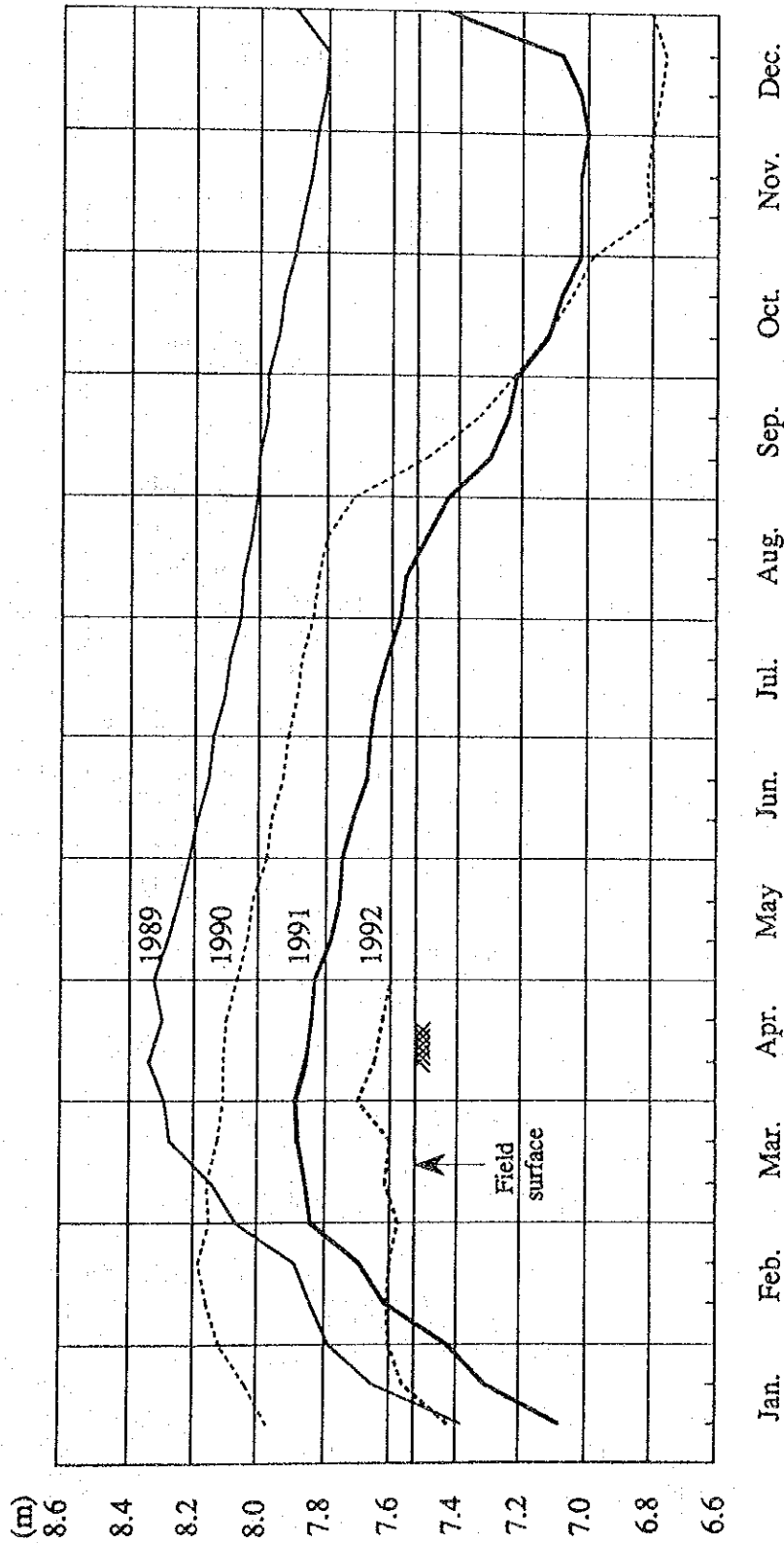


図 3.4.3 ムエケ下流ダンボの水位変動 (ダンボ中央低位部)

1989年1月～1992年4月

| Ground Level (m) | Area (ha) | Cumulative Area (ha) |
|------------------|-----------|----------------------|
| ~ 7.5 | 120 | 120 |
| 7.5 ~ 8.0 | 580 | 700 |
| 8.0 ~ 8.5 | 180 | 880 |
| 8.5 ~ 9.0 | 160 | 1,040 |
| 9.0 ~ 9.5 | 140 | 1,180 |

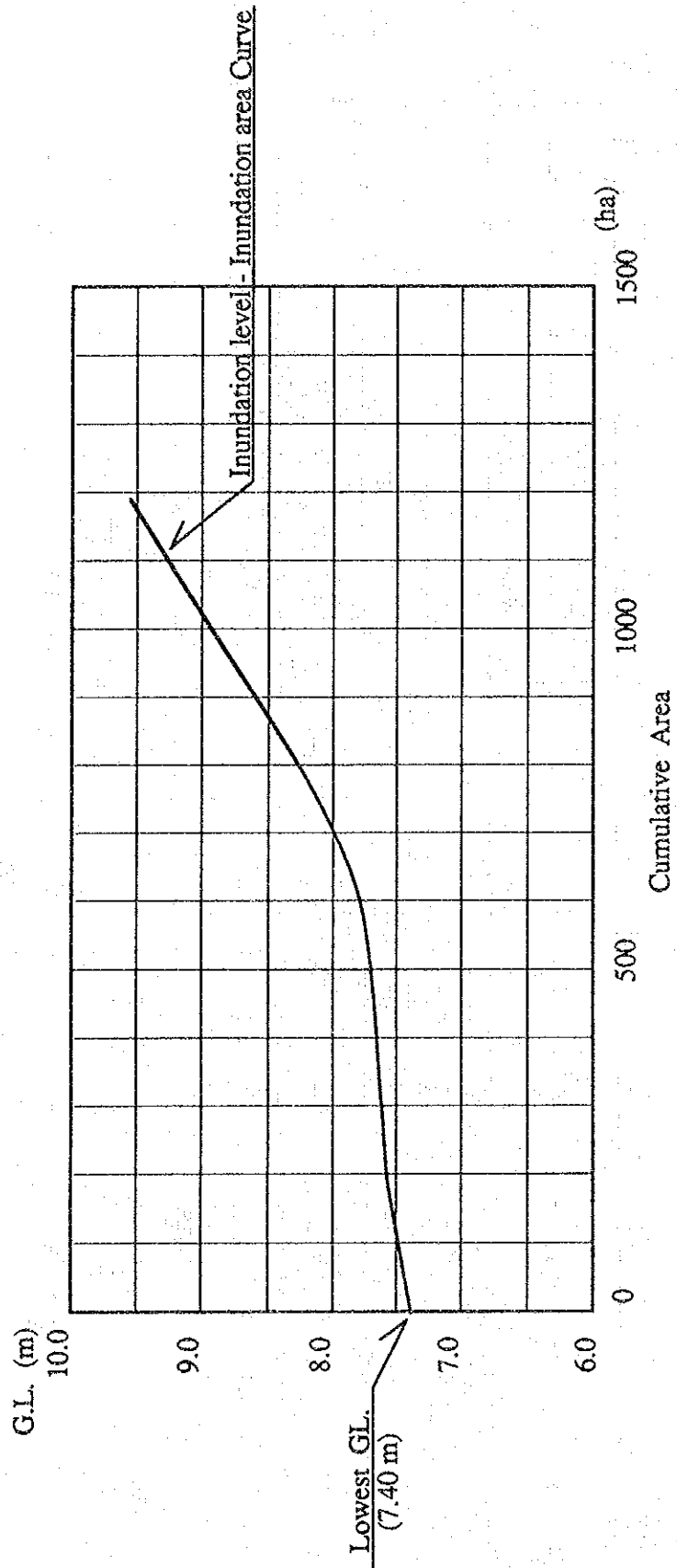


図 3.4.4 ムエケ下流ダンボの湛水位-湛水面積

第4章 結論と提言

第4章 結論と提言

4.1 結 論

西部州は既に述べたように、標高が北東部の 1,200m から南西部の 800m へと続く広大な砂土の高原で、州を二分してザンベジ川が南北に流れ、支流を含めた広大な氾濫原が比高差約40mで緩い傾斜で高原に連なっている。氾濫原の基盤はカラハリ砂土であるが、標高の差、地下水の状態、堆積物の差により複雑な土壌が存在している。

モング地区の主要な農業地帯は氾濫原であり、本農業実証調査も氾濫原を主要な対象とした。氾濫原は現状では殆ど人工が加えられておらず、伝統的小農による営農が大部分で、米は主要な作物となっている。

降雨パターンや、降雨量の変動が大きいため、農業生産は不安定で、作物の作付け面積や生産量の変動が大きい。しかし、氾濫原の中には比較的地力が高く、洪水位の影響の少ない区域があり、さらに乾期に灌漑水源が得られる区域もある。こうした地域に小農を対象として必要最小限の農地整備を実施し、最適な栽培技術による作物栽培を行えば安定した生産を期待できる。

4ヵ年にわたる実証圃場及び周辺地域の試験や調査によって、水稲と乾期畑作物との二毛作体系の可能性が明らかとなり、水稲一毛作及び水稲と畑作物との二毛作体系の体系化技術指針、直ちに適用可能な個別技術指針及びそのための農地整備指針を提示した。その要点は以下のようなものである。

(1) 体系化技術指針

作付体系別に各作物の栽培作業項目と作業内容を指針として表示した。この指針に従って作業を進めればその技術体系の実行が可能である。具体的に提示した技術体系は①早生稲一毛作体系、②晩生稲一毛作体系、③早生稲一小麦二毛作体系、④早生稲一タマネギ二毛作体系、⑤早生稲一キャベツ二毛作体系、⑥晩生稲一メイズ二毛作体系、および⑦晩生稲一トマト二毛作体系である。

実際の農家圃場においては、圃場条件、労力の条件によって、上に示した技術体系を組合わせて実施する。その一例のモデルを示した。

(2) 個別技術指針

実証試験実施中に明らかとなった個別技術の中で、直ちに適用可能と思われるものについて、体系化技術としてではなく、個別技術として示した。具体的には①播種の際の作業精度向上と省力のための作条器と稲播種器の試作、②砂質土壌での深溝播と溝際施肥ならびに枯草マルチングによる出芽、生育の促進、③泥炭・黒泥土壌での草焼および稲藁の焼却施用、④乾期に十分乾燥する土壌における水稲一毛作田への稲藁施用、等である。

(3) 灌漑・水管理指針

農業実証調査で得られた結果と体系化技術指針の営農計画を基に、水田および二毛作田における乾期期作の灌漑諸元を決定し、氾濫原縁辺部の Mataba seepage zone に対する用水計画および計画策定の手順について提示した。また、灌漑の実施や末端灌漑施設の維持・管理に対し、農民組織の構築を提言した。

(4) 農地整備指針

営農の基本単位となる農区を選定し、これによって形成される計画農地を10～50ha程度の規模で提案した。計画農地の外周は農道で囲み、氾濫原の洪水から農地を保護するとともに資材や収穫物の運搬に資することとした。農地内は乾田直播の水稲栽培に要求される最小限の圃場均平を行うこととした。計画農地は重力送水による支線用水路と小用水路を計画し、農区内は田越し灌漑とした。最終的に農道、圃場区画、用排水路および付帯施設の整備計画について標準値等を示した。

この指針によって、現状と比べて土地利用率と収益性が高く安定した営農が、将来当地域において可能となるものと期待される。

4.2 提 言

農業実証調査の結論として作物生産技術指針と生産基盤整備指針を作成した。今後、ザンベジ川氾濫原縁辺部ひいてはザンビア国内の他の類似地域において安定的な農業生産を得るためには、これらの指針を基に技術の定着を図り、地域としての農業技術水準の向上を図るための普及・訓練組織の強化を行うとともに、それぞれの対象地域に関する開発計画の策定および事業の実施が必要である。開発計画は農業実証調査で実施された調査項目に加え、地域の社会的・経済的な調査を実施し、収穫物の市場性や収穫物に付加価値を与えるためのポスト・ハーベストに係る施設計画や組織計画についても検討する外、農村の生活基盤の整備をも考慮し、持続的な農業の確立に資する計画とすることが望ましい。この農業・農村開発事業の実施に当たっては必要に応じて外国からの援助を考慮しつつ、ザンビア側の自助努力によりこれを達成されることが望ましい。

また、事業実施後における事業の運営、施設の維持等の実施および指導体制の確立についてもザンビア政府が早急に検討を始めることを提言する。

なお、本技術指針は4年間の農業実証調査期間中、限定された実証試験圃場での調査、試験を基に作成したため、今後調査の継続や調査地区の拡大等が必要とされる。これらの継続・追加調査の成果を活かし本指針を改訂していくことを合わせて提言する。

以下に短・中期的および長期的に取り組むべき事項を示す。

(1) 短・中期的に取り組むべき事項

- 1) 氾濫原土壌（土壌のタイプ別に）に適応する水稲品種の選択
- 2) 氾濫原土壌における水稲との二毛作に適応する小麦、メイズ、トマト等の品種の選択
- 3) 農地整備に関する水文・土壌調査の推進
- 4) 人力脱穀機、運搬機具等簡易な機具の開発
- 5) 普及・訓練組織の強化
- 6) 農民組織構築の推進

(2) 中・長期的に取り組むべき事項

- 1) 水稲及び水稲との二毛作を構成する畑作物の優良品種の育成
- 2) 開発可能地域の分級と評価
- 3) 農民組織の振興、強化体制の確立

付 農業実証調査の関係者

農業実証調査団

| 担当業務 | 氏名 | 調査期間(現地、国内) |
|------------|-------|-----------------|
| 総括 / 稲作 | 藤井 定吉 | (88. 2~90. 6) |
| | 高橋 保夫 | (90. 8~93. 1) |
| 稲作 | 栗田 絶学 | (88. 7~92. 12) |
| 畑作 | 吉田 正夫 | (88. 2~89. 12) |
| | 大庭 寅雄 | (89. 8~92. 10) |
| | 内山 泰孝 | (90. 9~92. 9) |
| 水文・気象 | 吉田 幹司 | (88. 2~88. 3) |
| | 中村 武男 | (88. 3~88. 6) |
| かんがい排水/水管理 | 後藤 兵作 | (88. 2~88. 12) |
| | 堀 親和 | (88. 10~89. 5) |
| 農村経済社会 | 佐々木 輝 | (88. 2~88. 6) |
| 土壌 | 三宅 修平 | (88. 7~88. 8) |
| 測量監督 | 小室 信隆 | (88. 7~88. 8) |
| 施設設計/施工監理 | 松永 俊行 | (88. 7~89. 2) |
| 施工監理 | 堀 親和 | (89. 7~89. 11) |
| 水管理 | 佐藤 総成 | (89. 7~90. 6) |
| | 唐笠 昭 | (90. 7~91. 6) |
| | 岩本 彰 | (91. 7~92. 12) |
| かんがい排水 | 堀 親和 | (91. 8~92. 11) |
| | 中川 彰一 | (92. 12~92. 12) |

JICA