



MoA



JIRCAS



KATC



ATC

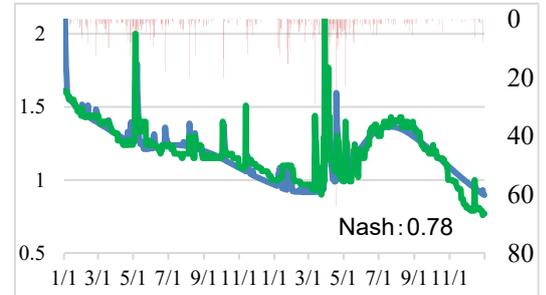


TARI



NIRC

## かんがいスキームにおける 水資源利用効率化に資する技術マニュアル



March, 2022

Ministry of Agriculture

National Irrigation Commission

Arusha Technical Collage

Tanzania Agricultural Research Institute

Kilimanjaro Agricultural Training Center

Japan International Research Center for Agricultural Sciences



## FOREWORD

**The National Irrigation Commission (NIRC)** of the United Republic of Tanzania is an Independent Institution under the Ministry of Agriculture, which was established under Section 3 of the National Irrigation Act No.4 of 2013 as an Independent Department of the Government under the Ministry responsible for irrigation. The Commission is a body corporate that is responsible for coordination, promotional and regulatory functions in the development of the irrigation sector.

Not only that but also, NIRC is responsible to collaborates with both National and International research Institutions to conduct different kind of research which are reflecting promotion of irrigation practices, development and management of irrigation infrastructure taking into account Integrated Water Resources Management to enhance water use efficiency as well as National Economic Development.

In this joint research project “Study on improving water efficiency in irrigation scheme in Africa (WEIRS for Rice)” which conducted in collaboration with other Government institutions (TARI, ATC, KATC) and JIRCAS, NIRC has effectively participated in different kind of activities such as plot leakage measurement, Plot Compaction, Canal surface Overlay and Update of division boxes improved our staffs competence in conducting research work especially in improving water use efficiency in crop production.

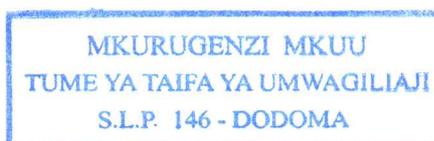
Lastly but not least, NIRC welcomes JIRCAS again and other researchers to jointly utilize our resources for mutual benefit and we are able to cooperate in all matters.

March, 2022



Daud K. Nikodemus

**Director General,  
National Irrigation Commission (NIRC)**



## FOREWORD

Globally, rice is a major food crop preferred by nearly half of the world's population (Patunru & Ilman, 2020). In Sub-Saharan Africa, Tanzania ranks second after Madagascar in terms of rice production and consumption (Kadigi et al., 2020). Consistently, rice is the second leading food crop and cash crop in Tanzania after maize. On average, about 30 percent of rice is consumed by producing households. Almost all the remainder is absorbed into the domestic market, with consumption highest in larger urban areas. Around 42 percent of all rice produced is marketed (a larger portion than any other food crop), but this is largely because of the influence of large-scale growers. Its annual production is estimated to be 2.2 million metric tons accounting for about three-quarters of the total rice produced in East Africa – making the country the top producer in the region (URT, 2019). The government of Tanzania is implementing several value-added initiatives including the 2019-2030 National Rice Development Strategy towards enhancing rice production and trade competitiveness.

However, despite the notable potential of rice development in Tanzania, it is still constrained by various challenges such as poor infrastructural development, limited technology and innovation adaptation, limited extension services, trade restrictions such as export bans. If Tanzania needs to expand its rice trade competitiveness in both regional and international markets, the government needs to promote and upgrade infrastructural networks including irrigation and road networks in cultivation areas, processing areas as well as Research and development in identifying better markets, better agricultural practices such as better seeds, control of pests and diseases, to produce better quality rice with international standards capable of standing trade competition. This shall enable the country in widening the market share of rice in both regional and international markets. In this regards Japan's Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries instructed JIRCAS (Japan International Research Center for Agricultural Sciences) to conduct the joint research titled “*Study on Improving Water Efficiency in Irrigation Scheme in Africa* (WEIRS for Rice)”. Which was implemented from February 2017 to March 2022 through support of the Japanese Government. The research was implemented in collaboration with Tanzania Ministry of Agriculture (MoA), National Irrigation Commission

(NIRC), Arusha Technical College(ATC), Tanzania Agricultural Research Institute Selian Center and Kilimanjaro Agricultural Training Center (KATC). Since then the research managed to accomplish different findings related to water resources, irrigation infrastructure, water saving rice cultivation which once was the problem faced farmers in Kilimanjaro and Arusha regions.

ATC as one of the collaborator in the research, we would like to express our great thanks to the Japanese Government, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, JIRCAS and all partners for the support and cooperation in this research.

Furthermore, the manual compiled from the research project is meant to train and develop the skills of expertise and farmers for rational decisions, henceforth government engineers need to provide the necessary scientific, technical, and agricultural knowledge of hydrology, hydraulics, and cultivation by observing the steps written in this Irrigation Manual for the goals intended to be achieved.

Special thanks are owed to JIRCAS Committee (Japan International Research Center for Agricultural Sciences) for their economic support in manual preparation research, technical review and for encouraging the publication of this Manual.

Last but not least, a lot of appreciations to those whose hard work contributed to the success of this valuable Irrigation manual in which the knowledge to users will bring more production, competitive and profitable rice sector that will deliver increased output for internal consumption as well as for export, and contribute to reducing poverty, improving food security and providing a better quality of life for all Tanzanians

March, 2022



***Dr. Musa N. Chacha***  
**Rector, Arusha Technical College**

## FOREWORD

Tanzania Agricultural Research Institute (TARI) is a semi-autonomous body under the Ministry of Agriculture responsible for all agricultural research activities conducted by public and private research institutes or organizations in Mainland Tanzania. TARI mandate is to conduct basic and applied research, regulate, promote, coordinate agricultural research on crops, crop products and by-products, soil and water management, soil mapping, agro-forestry, agricultural engineering, socio-economics, biotechnology and climate change management in Tanzania. TARI aims at strengthening national agricultural research system to enhance development and dissemination of technologies and innovations to address the real needs of farmers and other agricultural stakeholders.

We extend our sincere appreciation to all members of the JIRCAS and other stakeholders who in one way or another contributed to the preparation of this manual. It is our great hope that this manual will contribute to enhancing production and productivity of rice sub sector in Tanzania.

March, 2022

DIRECTOR GENERAL  
TANZANIA AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE  
P. O. Box 157  
DODOMA

  
Dr. Geoffrey Mkamilo

**Director General,**

Tanzania Agricultural Research Institute

## KATC FOREWORD

The **Kilimanjaro Agricultural Training Center, Moshi (KATC)** in the Kilimanjaro Region of the United Republic of Tanzania, an educational institution under the Ministry of Agriculture, was established to provide training to farmers on good agricultural practices so as to improve rice production and productivity in Tanzania. KATC also provides training at Certificate and diploma levels, and collaborates with research institutions for collaborative research.

In a this joint collaborative research project "***Study on improving water efficiency in irrigation scheme in Africa (WEIRS for Rice)***" KATC has effectively participated on experiments at plot level, specifically on Water saving cultivation techniques, AWD (Alternative Wetting and Drying) both at the centre and in farmers' fields. Data from the trial plots were submitted to JIRCAS.

We thank JIRCAS for this collaboration. Our tutors who participated in a project are now competent in research work due to experiences they gained in this project

Lastly but not least, KATC welcomes JIRCAS and other researchers to jointly utilize our resources for mutual benefit.



***Shauritanga N. Nicodemus (Mr.)***

**Principal of KATC – MOSHI**

**Kilimanjaro – Tanzania**

**PRINCIPAL**  
**Kilimanjaro Agricultural Training Centre**  
**P. O. Box 1241 Moshi – Tanzania**

## まえがき

アフリカにおいては、人口増加やコメ食の広がりを受け、コメの需要が増え続けている。わが国は、平成20年の第4回アフリカ開発会議(TICAD4)で「アフリカ稲作振興のための共同体(CARD)」を立ち上げ、サブサハラ・アフリカのコメの生産量を2018年までに1,400万tから2,800万tに倍増することを目標とし、これを達成している。しかし、コメの需要が供給を大幅に上回る状況を踏まえ、平成31年に開催されたTICAD7では、2030年までにさらなるコメ生産の倍増を目標(米生産目標5,600万t)としたCARD2を発足させた。国際農研は、アフリカに関係する10の国際機関・研究所とともにCARD運営に協力している。

これまで、アフリカでのコメの需要拡大に対応し、援助機関を中心に水田の開発と灌漑施設の整備、水稻栽培技術の普及・改善が進められ、比較的高い収量を実現している地域もある。一方で、灌漑が整備された地域において、年月が経過するとともに、河川流量の不安定化や水利施設の劣化に起因する利用可能水量の低下、灌漑区上流部の過剰取水と下流部での水不足といった上下流間の水配分の不均等が問題となり、当初期待された成果が上がっていない地域が数多くみられる。

日本からタンザニアへの稲作支援は1974年に開始され、ローアモシ地区において日本人専門家による灌漑稲作技術の定着を目指した活動が行われた。1980年代以降、同地区において円借款による灌漑施設の整備が実施され、その後の技術支援や資金援助もあり、灌漑稲作は周辺地域へも拡大し、タンザニア北部地域はアフリカを代表する米作地帯となった。しかし近年、これら地域では、灌漑施設の老朽化、灌漑面積の縮小といった問題のほか、環境変化や管理悪化に関連する課題の解決、さらには農家の経済的な自立も視野に入れた農業開発の手法を再検討することが必要となっている。

このような状況のもと、我が国の農林水産省は国際農林水産業研究センター(国際農研)に対して、アフリカにおける水資源利用効率化の促進に関する研究を指示した。国際農研は、当該研究プロジェクトをタンザニア国で実施することを決定し、2017年から2022年3月まで、タンザニアの農業省(Ministry of Agriculture)、国家灌漑委員会(National Irrigation Commission)、アルーシャ工科大学(Arusha Technical Collage)、タンザニア農業研究所セリアンセンター(Tanzania

Agricultural Research Institute Selian Center)及びキリマンジャロ農業研修センター(Kilimanjaro Agricultural Training Center)と共同研究プロジェクトを実施した。

この間、令和2年からは、新型コロナウイルスが蔓延し、日本から海外出張ができない状況に陥った。こうした中でもタンザニア関係者の協力により、各種試験研究は継続することができ、研究成果としていくつかの論文が発表された上に、この「灌漑スキームにおける水資源利用効率化に資する技術マニュアル」をとりまとめることができた。ひとえに、関係各位の努力と協力に感謝申し上げます。また、令和3年1月に、本研究に従事していた廣瀬千佳子さんが病気により急逝され、また同年8月には現地カウンターパートであるアルーシヤ工科大学のヌル教授がコロナ疾患により急逝された。お二人の多大なる貢献に感謝するとともに、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

ここにとりまとめたマニュアルは、この研究プロジェクトの成果である。本マニュアルが、サブサハラ・アフリカ地域の稲作振興に貢献できれば幸いである。

令和4年3月

国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター  
食料プログラムディレクター 中島 一雄

中島 一雄

## 序章

サブサハラアフリカにおいて、コメの生産量は消費量より少なく、アジア、北米等からの輸入量が年々拡大している。また、農林水産省の「世界の食料需給の動向と中長期的な見通し—世界食料需給モデルによる 2029 年の世界食料需給の見通し—」によると、アフリカにおけるコメの需給見通しは、2016-2018 年の 16.3 百万トンの輸入から、24.7 百万トンに増加すると予測されている（農林水産省、2020）。

このような状況の下で、第 4 回アフリカ開発会議（TICAD IV）において国際協力機構（JICA）等は、「アフリカ稲作振興のための共同体（Coalition for African Rice Development、CARD）」を設立し、アフリカにおけるコメ生産を 10 年間（2008～2018）で倍増することを目標として掲げた。CARD フェーズ 1 の実施により、2018 年にコメ生産倍増を達成したがアフリカにおける人口増加やコメ食の広がりを受け、ますますコメの需要が増加している。このため 2019 年に横浜で開催された TICAD7 において 2030 年までにさらなるコメ生産量の倍増を目標とした CARD フェーズ 2 が発足した（国際協力機構、2019）。また、サブサハラアフリカでは農業従事者が人口の 59%を占めている（UNDP、2015）一方、農業の GDP に占める割合が 16%（FAO、2019）に過ぎず、農業分野の生産性向上が貧困削減における課題の一つとなっている。

コメの増産を図るために、CARD では栽培環境別（かんがい、天水、畑地）に取り組むを行うこととしている。このうち天水については、畦畔造成、移植など日本の水田農法を取り入れた取り組みが日本の農林水産省や JICA などを通じて行われている。一方、かんがいについては、規模の大きなかんがい水田開発が日本をはじめとした援助国により実施されている。

サブサハラアフリカにおけるイネの生産面積に占めるかんがい面積は 24%である（Khagy et al., 2002）。また、その単収は 3.4t/ha と天水（2.0t/ha）と比較して大きい（E A Somado et al., 2006）。かんがいされた農地のうち、大規模なかんがい地域は海外援助機関の支援により建設されたものが多い。このなかで、かんがい用水が末端まで届かず、計画した面積にかんがいできない事例がでてきており援助が効果的に活用されていない。

この要因について分析し対策を検討することは、水資源利用の効率化に資するほか、効果的な援助や効率的な水資源の利用、ひいてはアフリカにおける食料の安定的な供給に貢献することができる。計画した面積にかんがいができない要因は、水の運搬経路別に水源、取水施設、水路、ほ場に掛かるものに分けられる。

本マニュアルは、経路別に水資源利用の効率化に資する技術をいくつか記述したものである。

マニュアルは、内容／利用者により以下に区分される。

- 1) 水路やほ場の工学的改良／利用者：国家灌漑庁などの政府技術者
- 2) 水管理改善／利用者：政府職員（政府技術者、普及員）、水利組合
- 3) 節水栽培／利用者：政府職員（普及員）、農家

なお、タンザニア国には日本の技術協力で作成された以下のマニュアルがある。

工学的マニュアルとして

Standard design manual（共同作成、管理：NIRC）

Rehabilitation manual（共同作成、管理：NIRC）

水管理マニュアルとして

Manual for water distribution in Irrigation Scheme（共同作成、管理：NIRC）

<https://www.nirc.go.tz/uploads/publications/en1566294701->

[Water%20distribution%20manual%20V1-converted.pdf](https://www.nirc.go.tz/uploads/publications/en1566294701-Water%20distribution%20manual%20V1-converted.pdf)

また、栽培マニュアルとして

Rice Cultivation Technology（共同作成、管理：MoA）

また、JICA がアフリカ各国のプロジェクトで作成したマニュアルを統合した

「JICA アフリカ稲作技術マニュアル（和、英、仏、葡）」2021年4月

<https://riceforafrica.net/wp->

[content/uploads/2022/05/jica\\_manual\\_1apr2021\\_jp.pdf](https://riceforafrica.net/wp-content/uploads/2022/05/jica_manual_1apr2021_jp.pdf)

本マニュアルは、今後深刻化するであろう水資源制約や施設劣化に対応した水利用効率向上に資するいくつかの手法を説明したマニュアルであり、上記マニュアルを補完するものである。

このため、本調査で作成されるマニュアルは上記の JICA が作成した最新（2021年3月）のマニュアルを利用することを前提に、JICA マニュアルでは紹介されていない技術について紹介するものである。

# 目 次

まえがき	
序章	
目次	
略語	
著者	
1. 水資源利用効率化対策の効果推定事例.....	1
1.1. ローアモシ地区のかんがい面積の推移.....	1
1.2. ローアモシ地区における水資源利用効率化対策の効果 .....	2
1.3. 水資源利用効率化対策の概要.....	5
2. 適正水配分.....	9
2.1. かんがい可能面積.....	10
2.2. ほ場必要水量（減水深）の測定方法.....	11
2.3. 河川流量の推定方法.....	12
3. 表面被覆工法.....	51
3.1. 必要性・効果.....	51
3.2. 開水路補修工法の選択.....	54
3.3. 有機系被覆材.....	55
3.4. 施工手順.....	55
3.5. 維持管理.....	59
3.6. 効果.....	60
4. 土水路漏水対策.....	61
4.1. 必要性・効果.....	61
4.2. 対策工の種類.....	62
4.3. 留意点.....	63
4.4. 材料と施工手順.....	64
5. 分土工更新.....	68
5.1. 必要性・効果.....	68
5.2. 更新の必要性（初期条件調査）.....	69
5.3. 既設の分土工の撤去.....	70
5.4. 材料と建設方法.....	72

5.5.	効果.....	76
6.	破砕転圧工法.....	79
6.1.	必要性・効果.....	79
6.2.	破砕転圧工法.....	81
6.3.	施工手順.....	82
6.4.	効果.....	85
6.5.	費用対効果.....	86
6.6.	収量への影響.....	87
7.	節水栽培.....	88
7.1.	必要性・効果.....	88
7.2.	節水栽培の手法.....	89
7.3.	かんがい水田における間断かんがい（AWD）の導入.....	90
7.4.	AWD を始める前に.....	91
7.5.	AWD の開始.....	95
7.6.	AWD の管理.....	95
8.	水管理.....	97
8.1.	水管理の課題（問題点を指摘）.....	97
8.2.	Central LOMIA が水配分を監視する（体制の整備）.....	98
8.3.	水配分情報を把握できるようにする（情報の開示）.....	99
8.4.	水配分計画の検討と用水管理体制の構築（将来構想）...	100
8.5.	ローテーションかんがい試行の提案.....	101
8.6.	平等な水配分の重要性と参加型かんがい管理（PIM）導入の 提案.....	102

## 付表リスト

表 1.1 サブロミア別水資源利用効率化対策費用と IRR (1,000USD) .....	4
表 2.1 パーシャルフリユームの規格(単位:mm、出典 JIS B7553) .....	14
表 2.2 パーシャルフリユームの流量係数 (K) と n.....	15
表 2.3 標高別流域面積とその割合.....	20
表 2.4 モシで利用可能な気象観測所.....	21
表 2.5 標高区間別年降水量と Kibosho 降水量との回帰結果....	21
表 2.6 河川流量とかんがい可能面積(計算値と仮想値) .....	45
表 2.7 マボギニ水系ブロック別追加かんがい面積.....	49
表 2.8 ラウ水系ブロック別追加かんがい面積.....	50
表 3.1 施工前後の粗度係数変化と費用(ローアモシ) .....	60
表 4.1 土水路漏水対策の直接費.....	63
表 4.2 ビニールシート敷設の費用詳細 (USD:3 interval(90m)) .....	64
表 5.1 分水工漏水試験の結果 (MS5-1).....	77
表 5.2 分水工漏水量試算.....	78
表 6.1 深部浸透速度別の湛水(=3,000 m <sup>2</sup> )までの漏水量 .....	80
表 6.2 破碎転圧施工後の日減水深.....	84
表 6.3 破碎転圧工法実証試験結果(ローアモシ地区) .....	85
表 6.4 破碎転圧工法の費用内訳.....	86

## 付図リスト

図 1.1	ローアモシ地区におけるかんがい実績と年間降水量	..... 1
図 1.2	2019 年かんがい実績に水資源利用効率化対策を実施した場合と 1990 年のかんがい面積との比較（サブロミア別）	2
図 1.3	水資源利用効率化対策別の追加かんがい可能面積寄与率	..... 3
図 1.4	タンザニア国のインフレ率（消費者物価）の推移（IMF）	..... 4
図 2.1	サブロミア別旬別実績かんがい強度（2018.6-2021.10）：拡大	..... 9
図 2.2	かんがいスキームのイメージ	..... 10
図 2.3	かんがいブロックのイメージ	..... 10
図 2.4	減水深の計測方法	..... 11
図 2.5	ンジョロ川の流量（1965-1970：着色は雨季）	..... 12
図 2.6	パーシャルフリュームの寸法位置	..... 15
図 2.7	ゲートサイズと位置（写真）	..... 16
図 2.8	ゲートサイズと位置（イメージ）	..... 16
図 2.9	$\frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2g(H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}})}$ と実測流量 $Q$ の関係（ラウゲート）	..... 17
図 2.10	支線水路の流速計測地点	..... 19
図 2.11	メッシュの描画	..... 23
図 2.12	GPS Visualizer の画面	..... 24
図 2.13	ポイントの表示	..... 25
図 2.14	INT 内挿	..... 26
図 2.15	r.watershed の画面	..... 27
図 2.16	タンクモデル	..... 30
図 2.17	like の収束状況	..... 38
図 2.18	遺伝的アルゴリズムと GRG の結果（標準化）	..... 40
図 2.19	パラメータ同定結果（エクセル）	..... 40
図 2.20	同定されたパラメータの検証結果（エクセル）	..... 41
図 2.21	パラメータ同定結果（SCEUA）	..... 42
図 2.22	同定されたパラメータの検証結果（SCEUA）	..... 42
図 2.23	真値とのばらつき	..... 43
図 2.24	ンジョロ流域月別降水量（標高補正後：1969-1977）	44
図 2.25	1971 年 8 月以降の降雨をゼロとした場合の河川量の推移	..... 44

図 2.26	旬別取水量	46
図 2.27	サブロミア別旬別実績かんがい面積 (2018.6-2021.10)	46
図 2.28	サブロミア別旬別実績かんがい強度 (2018.6-2021.10)	47
図 2.29	サブロミア別旬別実績かんがい強度 (2018.6-2021.10)	47
図 2.30	サブロミア別旬別追加かんがい可能面積	48
図 2.31	かんがい期間のサブロミア別追加かんがい可能面積	48
図 3.1	漸変流のイメージ図	52
図 3.2	Relation between roughness coefficient and water depth(water volume is constant)	53
図 3.3	Relation between roughness coefficient and velocity (water depth constant)	53
図 3.4	開水路補修工法	54
図 3.5	施工距離と IRR の関係	60
図 4.1	土水路の水頭試験結果 (乾期)	61
図 4.2	代かき期の土水路漏水試験結果 (土水路 1)	61
図 4.3	シリンダーインテークレート試験結果	62
図 5.1	MS5-1 の模式図	77
図 5.2	漏水量、漏水時間の推定令 (2020 年 8 月 23 日)	78
図 6.1	表土仮置き	82
図 6.2	締固め曲線 (ローアモシ)	84
図 6.3	試験施工ほ場のイメージ(中心ほ場が最大漏水)	85
図 6.4	2019 年 (NERICA,25 鉢)	87
図 6.5	2019 年 (SARO5,25 鉢)	87
図 6.6	2020 年 (NERICA,25 鉢)	87
図 6.7	2020 年 (SARO5,25 鉢)	87
図 7.1	ほ場作業、イネの生育段階とかんがいを必要とする期間	88
図 7.2	AWD 処理の節水効果 (mm)	90
図 8.1	用水管理を構成する 4 つのプロセス	101

## 付写真リスト

写真 2.1	潜り堰の状態.....	18
写真 2.2	四角堰の状態.....	18
写真 3.1	溢水状況.....	51
写真 3.2	水路表面清掃（雑草やゴミ除去）.....	55
写真 3.3	水路表面洗浄（高圧洗浄機）.....	56
写真 3.4	プライマー処理（モルタル処理）.....	56
写真 3.5	プライマーカタログサンプル（アクリルとエポキシ） .....	57
写真 3.6	スプレーガンによる塗装.....	57
写真 3.7	プライマー処理（アクリルプライマー）.....	57
写真 3.8	トップコートカタログサンプル(アクリル,エポキシ)	58
写真 3.9	完成状況 (左：アクリル、右：エポキシ).....	58
写真 3.10	藻発生状況.....	59
写真 3.11	スクイージー.....	59
写真 3.12	藻除去作業.....	59
写真 3.13	藻除去後.....	59
写真 4.1	水路のゴミ除去.....	65
写真 4.2	ビニールシート切断.....	65
写真 4.3	仮置き.....	66
写真 4.4	敷設.....	66
写真 4.5	ペグ打ち（釘）.....	66
写真 4.6	シートの補修.....	66
写真 4.7	末端処理.....	67
写真 4.8	完成状況.....	67
写真 5.1	水工劣化状況.....	68
写真 5.2	水工劣化状況を利用者が説明.....	68
写真 5.3	ゲート閉戸.....	69
写真 5.4	水深計測.....	69
写真 5.5	水入れ.....	69
写真 5.6	新しいゲート挿入.....	70
写真 5.7	水入れ.....	70
写真 5.8	測量.....	71
写真 5.9	掘削.....	71
写真 5.10	分水工除去-1.....	71

写真 5.11	分水工除去-2.....	71
写真 5.12	分水工除去-3 .....	71
写真 5.13	取り壊し.....	71
写真 5.14	説明風景-2 .....	72
写真 5.15	説明風景-1 .....	72
写真 5.16	測量.....	74
写真 5.17	掘削.....	74
写真 5.18	鉄筋調整.....	74
写真 5.19	コンクリート作業-1 .....	74
写真 5.20	コンクリート作業-2 .....	75
写真 5.21	型枠組立.....	75
写真 5.22	コンクリート打ち込み.....	75
写真 5.23	コンクリート作業-3 .....	75
写真 5.24	埋め戻し.....	75
写真 5.25	周囲調整.....	75
写真 6.1	ブルドーザー (D5).....	83
写真 6.2	表土処理.....	83
写真 6.3	ロータリープラウ .....	83
写真 6.4	表土破碎状況.....	83
写真 6.5	ロータリープラウでは硬い土層.....	83
写真 6.6	リッパーによる破碎.....	83
写真 6.7	締固め.....	84
写真 6.8	試験風景.....	87
写真 7.1	乾燥した苗床.....	92
写真 7.2	穴あきパイプの例 (左) ; 穴あきパイプによる地下湛水面の様子 (中央、右) .....	94
写真 7.3	穴あきパイプの設置.....	94
写真 7.4	地下湛水面を測定するために埋設された.....	96
写真 8.1	水位ゲージの事例 (エジプト) .....	99
写真 8.2	農民による話し合い (現地にて) .....	102
写真 8.3	Water User's Association(WUA)による現地視察.....	102
写真 8.4	対策に関する農民の話し合い.....	103
写真 8.5	WUA による補修作業 .....	103
写真 8.6	補修作業前.....	103
写真 8.7	補修作業後.....	103

略語

略名	正式名	和名
ASTM	American Society for Testing and Materials	-
ATC	Arusha Technical Collage	アルーシャ工科大学
AWD	Alternate Wetting and Drying	間断かんがい
BS	British Standard	英国規格
CSV	Comma-Separated Values	-
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
GA	Genetic Algorithm	遺伝的アルゴリズム
GRG	Generalized Reduced Gradient	-
IRR	Internal Rate of Return	内部収益率
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JIRCAS	Japan International Research Center for Agricultural Sciences	国際農林水産業研究センター
KATC	Kilimanjaro Agricultural Training Center	キリマンジャロ農業訓練センター
KML	Keyhole Markup Language	-
LMIS	Lower Moshi Irrigation Scheme	ローアモシかんがいスキーム
LOMIA	Lower Moshi Irrigators' Association	ロミア
MAFF	Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Japan	農林水産省
NIRC	National Irrigation Commission	国家灌漑庁
NSE	Nash-Sutcliffe efficiency	-
PIM	Participatory Irrigation Management	参加型灌漑管理
SCEUA	Shuffled Complex Evolution	-
TARI	Tanzania Agricultural Research Institute	タンザニア国農業研究所
WRPD	Water Requirement per Day	日必要水量
WUA	Water Users' Association	水管理組織

監修 (アルファベット順)

Dr. Frank Mmbando (TARI)

Dr. HORINO Haruhiko (Osaka prefectural Univ.)

Dr. KITAMURA Koji (National Agriculture and Food Research Organization)

Dr. Musa N. Chacha (ATC)

Mr. Nicodemus Shauritanga (KATC)

Ms. Rukia B. Makweta (KATC)

Mr. Saidi Hussein Ibrahim (NIRC)

Dr. TORIYAMA Kazunobu (Yamagata Univ.)

Dr. YAMAJI Eiji (Tokyo Univ.)

Dr. Yona Anderson (ATC)

著者

Chapter 1

HIROUCHI Shinji (JIRCAS)

Chapter 2

HIROSE Chikako (JIRCAS), HIROUCHI Shinji (JIRCAS)

Chapter 3

HIROUCHI Shinji (JIRCAS), Buzimi Mabula (NIRC), Juma O. Mdeke (NIRC), HIROSE Chikako (JIRCAS)

Chapter 4

HIROUCHI Shinji (JIRCAS), Buzimi Mabula (NIRC), Juma O. Mdeke (NIRC), HIROSE Chikako (JIRCAS)

Chapter 5

HIROUCHI Shinji (JIRCAS), Buzimi Mabula (NIRC), Juma O. Mdeke (NIRC), HIROSE Chikako (JIRCAS)

Chapter 6

HIROUCHI Shinji (JIRCAS), Buzimi Mabula (NIRC), Juma O. Mdeke (NIRC), HIROSE Chikako (JIRCAS), UNO Kenichi (JIRCAS)

Chapter 7

YANAGIHARA Seiji (JIRCAS), Zawadi Mbwambo (KATC), Nestory Pantaleo (JIRCAS), Christofa Marka (JIRCAS)

Chapter 8

SHINDO Soji (JIRCAS), UCHIMURA Motomu (JIRCAS)

## 協力者

Dr. Nuru Mziray (ATC)

Mr. Valenci Shirima, Ms. Getrude Silayo (KATC)

Mr. Fred Mawolle (KADP)

Ms. Violeth N. killeo, Mr. Gift Mayagila (Arusha region)

## 謝辞

廣瀬さんは2021年1月に、Dr. Nuru Mizirayは2021年8月に逝去されました。お二人とも当該研究の中心人物であり、また、本マニュアルへの多大なる貢献は計り知れません。ご功績を偲び敬意を表すとともに、心よりご冥福をお祈りいたします。

## 農林水産省助成

本書は、農林水産省の助成を受けて作成されました。

# 1. 水資源利用効率化対策の効果推定事例

## 1.1. ローアモシ地区のかんがい面積の推移

ローアモシ地区のかんがい面積は、1990年、2020年を除いて計画面積1,500haを大きく下回っている。

- ・ローアモシ地区の計画かんがい面積は1987年にJICA専門家により、見直しされ、年間1,500haである。
- ・計画かんがい面積は、5年確率渇水年（5年に一度の渇水）でもかんがい可能な面積として算定されている。
- ・ローアモシ地区は、建設完了（1987年）以降、年間かんがい面積がほぼ1,500haになったのは、1990年（1,492ha）と2020年（1,482ha）の2年のみである（図1.1）。
- ・地区のかんがい実績は2002年までデータとして整理されている。
- ・2014年からは、衛星データ（LandsatやSentinel）を用いてかんがい実績を推定している。

（EO Browser <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>  
や Copernicus <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>）

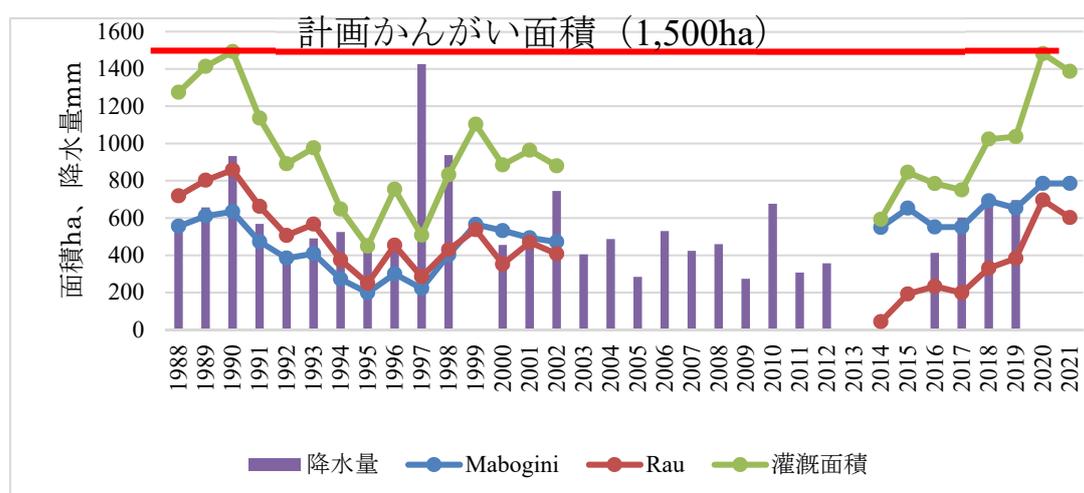


図 1.1 ローアモシ地区におけるかんがい実績と年間降水量

## 1.2. ローアモシ地区における水資源利用効率化対策の効果

ローアモシ地区のかんがい面積は、2019年で1,079haであるが、水利用効率化対策を実施することにより2,304haまでかんがいが可能（1,225haの増）であった。

図 1.2 において、左の棒は1990年のかんがい実績(サブロミア別)中央の棒は、2019年のかんがい実績に水利用効率化対策を実施した場合の増加かんがい面積を加えたもの(サブロミア別)、右の棒は2019年のかんがい実績(サブロミア別)に水利用効率化対策を実施した場合の増加かんがい面積を対策別に加えたものを示している。

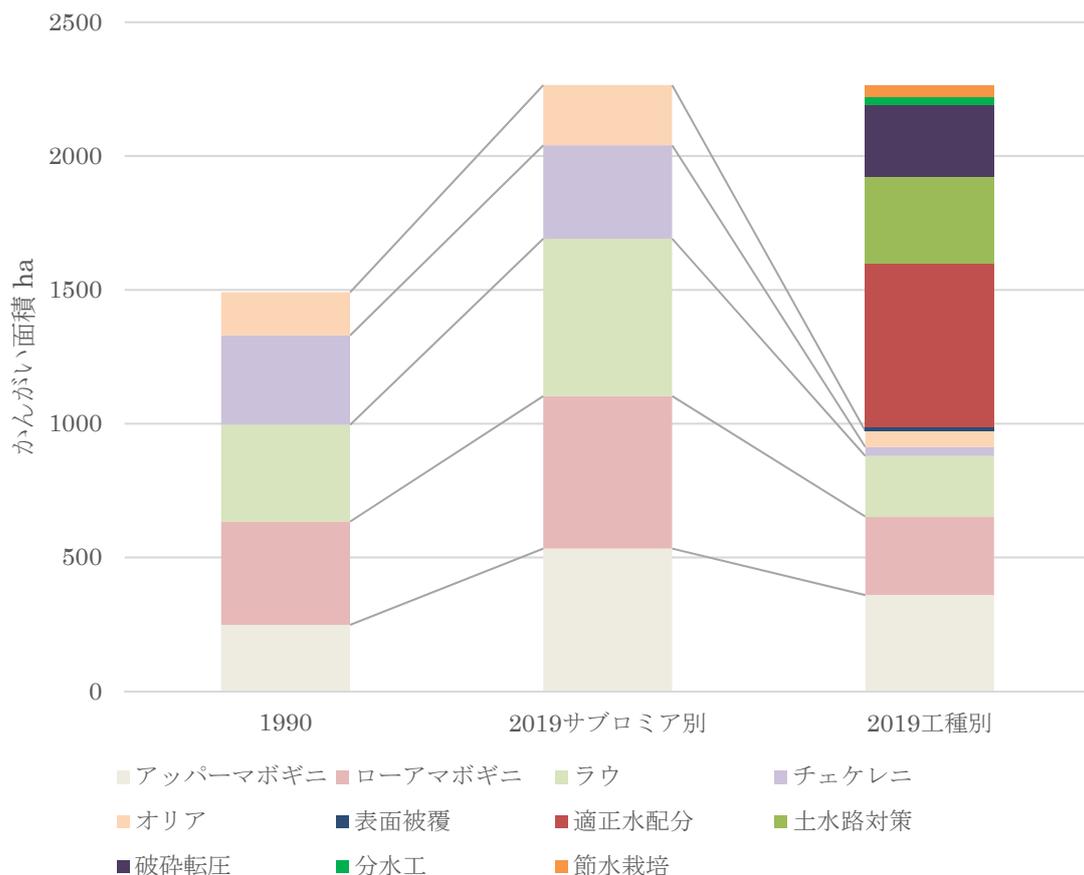


図 1.2 2019年かんがい実績に水資源利用効率化対策を実施した場合と1990年のかんがい面積との比較 (サブロミア別)

図 1.3 は 2019 年のかんがい実績に対して水利用効率化対策を実施した場合の増加かんがい面積の割合を対策別に示したものである。水配分、土水路対策工法、破砕転圧工法が大きな割合を示していることがわかる。

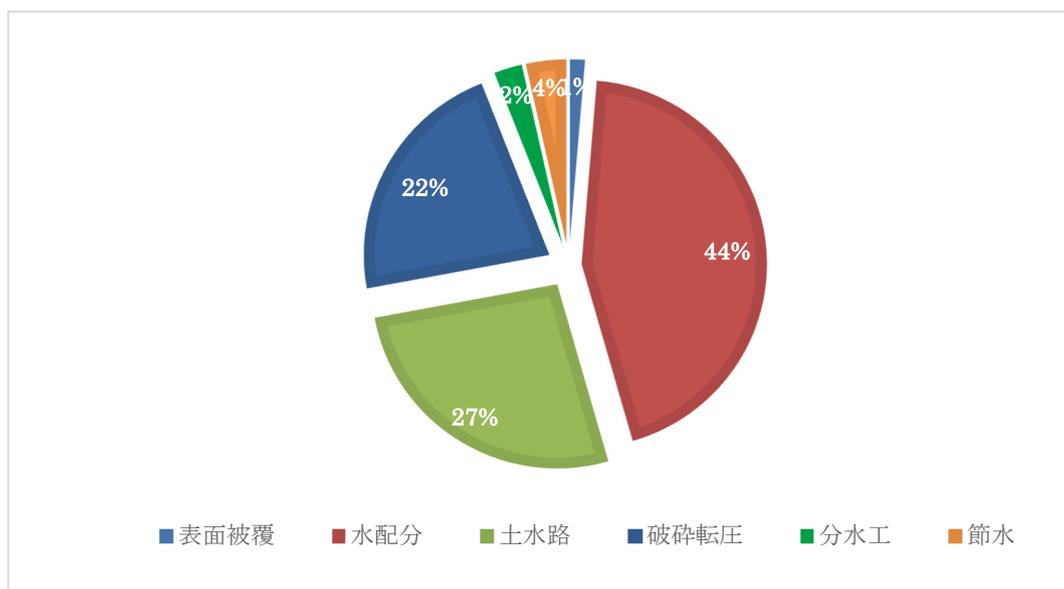


図 1.3 水資源利用効率化対策別の追加かんがい可能面積寄与率

2019 年を対象として、水資源利用効率化対策を実施した場合の費用と工法の経済的評価（内部収益率 IRR）を表 1.1 に示す。

実施可能性については、検討時の国の長期金利や耐用年数の考え方等により、検討を要するが目安として、タンザニア中央銀行の長期国債（Treasury Bond：10 年）の金利は 11.44%（2021 年 9 月<sup>1</sup>）、また図 1.4 に示すようにタンザニア国のインフレ率は 3.2%（2021 年<sup>2</sup>）であることから実質金利は 8.2%であり、これより IRR が高い場合は事業実施可能性がある。

<sup>1</sup> <https://www.bot.go.tz/TBonds>

<sup>2</sup> <https://www.imf.org/en/Countries/TZA>

表 1.1 サブロミア別水資源利用効率化対策費用と IRR (1,000USD)

	アッパー マボギニ	ローア マボギニ	ラウ	チェケレ ニ	オリア	計	IRR
水配分	0	0	0	0	0	0	-
表面被覆	-	-	51	-	-	51	20%*
土水路	10	8	6	1	2	26	-
破碎転圧	0	1,615	1,241	187	324	1,584	10%
分水工	20	16	13	2	4	54	78%
節水	0	-	-	-	-	0	-
計	30	1,639	1,311	190	330	1,715	

※施工延長 4,000m の場合

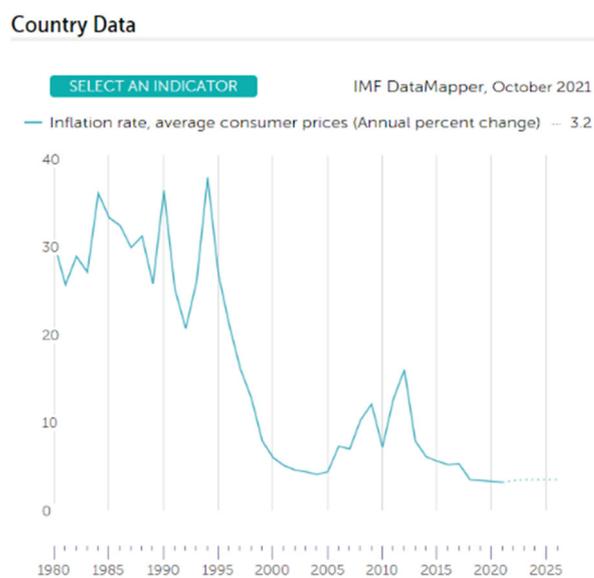


図 1.4 タンザニア国のインフレ率（消費者物価）の推移（IMF）

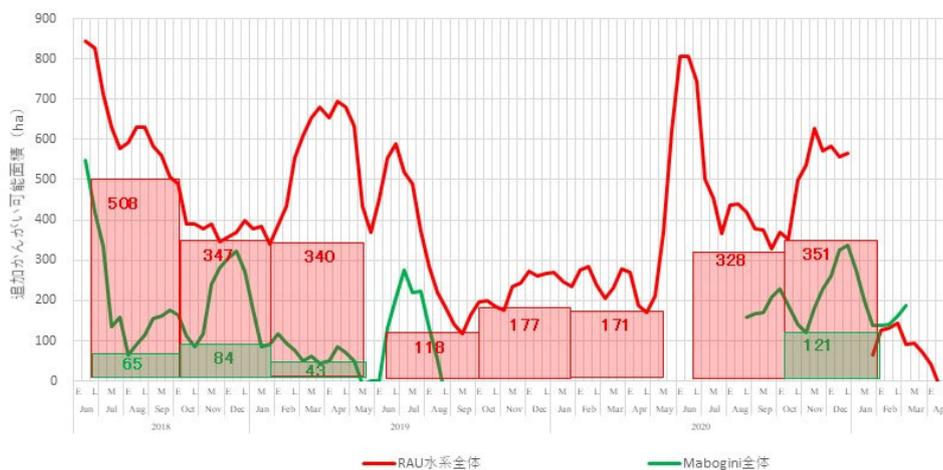
### 1.3. 水資源利用効率化対策の概要

本書で紹介する水資源利用効率化対策は、以下の7つ

- 1) 適正水配分
- 2) コンクリート水路表面被覆
- 3) 土水路漏水対策
- 4) 分水工更新
- 5) ほ場漏水対策（破碎転圧）
- 6) 節水栽培
- 7) 水管理

#### 1) 適正水配分

- ・それぞれのブロックにはほ場必要水量を上回るかんがい水が流入している。
- ・ほ場必要水量を11mm/d、ブロック入口からのかんがい効率を50%としたとき2019年で678ha、2020年で971haの追加かんがいが可能であった。
- ・現実には、ほ場の面積は限られている。実際のブロックに追加かんがい可能面積を割り当てると追加可能かんがい面積は2019年で609ha、2020年で357haである。
- ・実際の運用にあたっては、河川流量推定モデルや管理方法を検討する必要がある。



旬別かんがい余剰水量(追加かんがい可能水量) (2019.6-2021.10)

## 2) 表面被覆工法

- ・平均改善率は0.86、供用3ヶ月で、表面に藻が発生、粗度:0.0155→0.0181
- ・スクイージーで藻を除去、粗度:0.0178→0.0163、営農の範囲内で対応可
- ・ローアモシと同じ水路断面(水深0.6m)→流量が0.071m<sup>3</sup>/s(16%)増加
- ・RS-1系統で実施すると16haに追加的にかんがいが可能
- ・費用(直接工事費:被覆量2.5m<sup>2</sup>/m)はアクリルがエポキシの半額
- ・耐用年数が2年でも施行延長が4,000m以内であれば、実施可能(IRR20%以上)  
(補修回数:2回/年、補修費8.9USD/100m(試験施工実績))



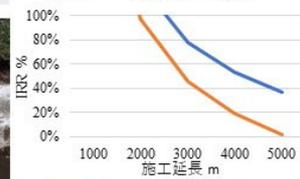
(1) 表面洗浄 (2) 付着強度確認 (3) 樹脂吹き付け



施工前 施工後 藻の発生 藻の除去

表面被覆工による粗度の変化と費用(USD/m)

	施工前	施工後	減少率	費用
RS1-7 アクリル	0.0184	0.0155	0.84	6
MS7-1 アクリル	0.0170	0.0148	0.87	6
MS7-1 エポキシ	0.0139	0.0121	0.87	12
平均	0.0164	0.0141	0.86	



耐用年数、施工延長と内部収益率

## 3) 土水路漏水対策

- ・ビニールシート敷設はコンクリートライニングなどの1/10の費用
- ・コンクリートライニング等のIRRは16%以上(耐用年数10年の場合)
- ・ビニールシートによる漏水対策の場合、ほ場の減水深を11mm/dとすると、水路30mでほ場0.5枚分の浸透に相当(代かき時漏水量)
- ・対策費用は 80 USD/ha(収入の6%(水稻栽培の収入:1,350 USD/ha))
- ・MS6-1の全土水路(32.1ha:1,820m:1,500USD)に対策:10.7haのかんがい可能面積増
- ・ビニールシート敷設が効果的であるが、費用負担者や廃棄物処理方法は要検討



材料(ビニールシート)

水路のゴミの除去

ビニールの切断

敷設

通水状況

1作使用后

各種対策の費用

	Length (m)	Price (USD)	unit price (USD/m)
1) Concrete lining	90	4,416	49.1
2) Masonry lining	90	3,415	37.9
3) Geomembrane lining	90	4,322	48.0
4) Polyethylene sheet lining	90	361	4.0

#### 4) 分土工の更新

- ・分土工はローアモシ建設時からほぼ更新されておらず、周辺が侵食して漏水
- ・**堰板更新**による漏水量の変化：**4.5 m<sup>3</sup>/h** (54 m<sup>3</sup>/12h) → **3.6m<sup>3</sup>/h** (43 m<sup>3</sup>/12h)
- ・堰板のみ更新で11m<sup>3</sup>の漏水が防止：**500m<sup>2</sup>**の水田に必要な水の量 (20mm/d換算)
- ・ブロック内分土工の**全面的改修**で**53.6m<sup>3</sup>**の漏水が防止：**2,400m<sup>2</sup>**の水田相当
- ・試験を実施したMS5-1における平均漏水量は268m<sup>3</sup> (53.6m<sup>3</sup>/box)、追加かんがい可能面積：1.22ha、ブロック面積の3.1%(1.22/39.67)
- ・分土工5カ所：1,870USD、水稻栽培の収入：1,350 USD/ha、1,647USD/1.22ha (IRR 28%：耐用年数5年)
- ・ローアモシ全体で**30ha**の追加かんがいが可能



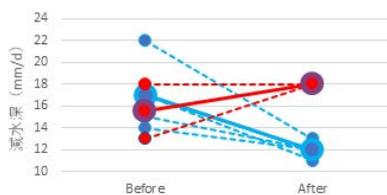
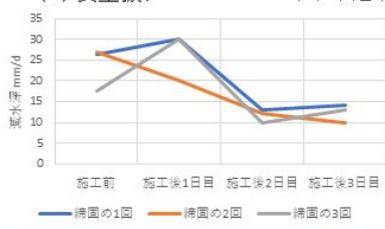
#### 5) ほ場漏水対策(破碎転圧)

##### <試験施工>

- ・減水深：**23.7mm/d**→**13mm/d**、締固め回数による差はない

##### <農家ほ場>

- ・破碎転圧工を**実施**：17.0mm/d→12.0mm/d、**対照区**：15.5mm/d→18.0mm/d
- ・減水深が17.0mm→12.0mm/dの場合、**かんがい面積約44%増** ((17-12)/11.3)
- ・直接経費：5,888USD/ha、水稻栽培の収入：1,350 USD/ha、増加面積：0.44ha/ha、内部収益率：**10.0%**(評価期間20年)
- ・ローアモシ地区(アッパーマボギニを除く)2019年作付け実績(719ha)→**269ha増**



試験施工結果

農家ほ場の減水深(青: 施工、茶: 対照区: 計測初日の減水深を除く、実線は平均、破線は個別ほ場の結果)

## 6) 節水栽培

供試品種

TXD306 (SAR05)

栽培概要

栽植密度: 20cm × 20cm (1株: 2本植)

施肥: 窒素120kg/haを分施(元肥、移植後14日、45日)

移植14日後の施肥の後にほ場内に溝切を実施

処理

かんがい条件:

常時湛水

AWD7.5(田面水位を-7.5 cm以上に維持)

AWD15(田面水位を-15 cm以上に維持)



かんがい水量計測指導

ほ場別・処理別かんがい水量(mm)

処理区	アッパーマボギニほ場				ローアマボギニほ場			
	かんがい水量	平均	SD		かんがい水量	平均	SD	
常時湛水	1552	1638	1595	43	2296	1850	2073	223
AWD7.5	1574	1217	1396	179	2876	2219	2548	329
AWD15	1434	1479	1457	22	3423	2214	2818	605

ほ場別・処理別収量(t/ha)

処理	アッパーマボギニほ場				ローアマボギニほ場			
	収量	平均	SD		収量	平均	SD	
常時湛水	9.9	9.3	9.6	0.4	6.8	8.5	7.6	1.2
AWD7.5	10.9	9.1	10.0	1.3	8.4	8.4	8.4	0.0
AWD15	10.2	9.7	10.0	0.4	7.7	7.4	7.5	0.2

- ・かんがい水量の順位がアッパーマボギニほ場では AWD7.5 < AWD15 < 常時湛水に、ローアマボギニほ場では常時湛水 < AWD7.5 < AWD15 となったことから、**地下水位がAWDによる節水の効果に影響を及ぼすことが示唆された。**
- ・**籾収量は両地区内では処理間の有意差はなく、AWD処理が収量に及ぼす影響はないことを示した。**地区間の収量差については、追加調査が必要。

## 7) 水管理

- ・幹線水路上流部では、必要水量を上回る用水が配分され、下流部は慢性的な水不足。
- ・3人のゲートキーパーによる水管理が行われているが、相互の調整は行われていない。
- ・また、5つのサブロミアが独立した状態であり、セントラルロミアは機能していない。
- ・水利用効率向上のためには、政府の主導により、セントラルロミアを中心とした水管理体制の再構築、水配分に関する情報の開示、水管理計画の再構築等を行うことを提案する。
- ・あわせて、平等な水配分を担保するため、分水工等の整備も必要である。



図 サブロミアとゲートキーパー管理の取水口の配置

## 2. 適正水配分

かんがい地区に取水された水は、かんがいブロックに必要な水量に応じて分配することが重要である。

図 2.1 は、ローアモシ地区における、実際にかんがいブロックに入ったかんがい用水の量を示している。(図では用水量をブロック必要水量で割ったブロック強度で示している)

ローアモシ地区の場合、ブロック必要水量は 22mm/d (緑色の線) であり、ブロック取水量が過剰であることがわかる。(詳細は 2.3 参照)

かんがいブロックに必要な水量は、ほ場必要水量やかんがい損失を加味して決める (2.2)。また、ある時期のかんがい可能面積は、2.1 で説明するように、当該時期における取水可能量から決まる。このため、かんがい時期における取水可能量が推定できると、当該時期のかんがい可能面積が推定できる。これにより、現状より無駄のない、適正な水配分が可能となる。取水可能量は、河川流量を推定することで、推定が可能となる。

つまり、適正な水配分を行うためには、2.2 で示すように、ほ場必要水量を計測し、2.3 で示すように河川流量を推定する必要がある。併せて、ローアモシ地区を例にして、取水実績に基づくかんがい可能面積算定の事例を 2.3.6.3.6 に示す。

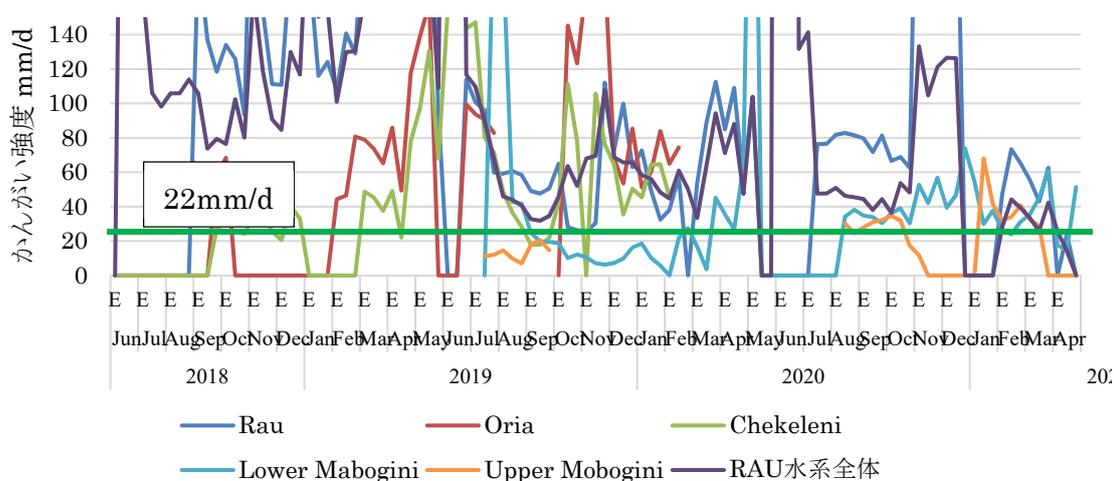


図 2.1 サブロミア別旬別実績かんがい強度 (2018.6-2021.10) : 拡大

## 2.1. かんがい可能面積

ほ場までのかんがい用水の経路を取水工～幹線水路（コンクリート）～かんがいブロック～二次水路（支線水路：コンクリート）～分水工～三次水路（末端水路：土水路）～ほ場とする（図 2.2、図 2.3）。

ブロックかんがい必要水量＝ほ場必要水量＋支線水路ロス＋末端水路ロス

取水量＝ブロックかんがい必要水量＋幹線水路ロス

かんがい可能面積＝最大取水可能水量×搬送ロス率／ほ場必要水量

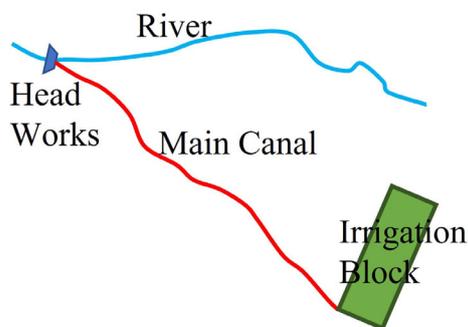


図 2.2 かんがいスキームのイメージ

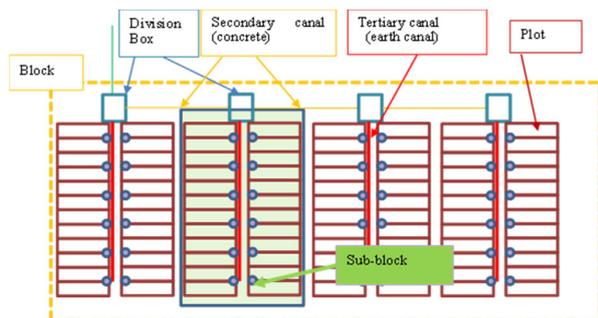


図 2.3 かんがいブロックのイメージ

- 水路ロス（搬送ロス）は、水路からの漏水など、取水場所からほ場に水が到達するまでに失われる水である。搬送ロス率は、取水場所からほ場までの距離、水路の状態（コンクリートや土水路、劣化など）で異なる。ローアモシのケースでは0.5としている。
- 土水路のロス（漏水、損失水頭）は、コンクリート水路と比べて大きい。ブロックかんがい必要水量は、ほ場必要水量の倍程度見込んでおくことが望ましい（土水路漏水対策や効率的な水配分を行うことで減少することは可能）。
- ほ場必要水量は、算出対象ほ場の漏水量（減水深）を実測する（2.2）。ローアモシのケースでは11.3mm/dであった。
- かんがい可能面積を算定するのに必要な取水可能水量は、河川流量の推定モデルを用いる（2.3）。
- 実測の取水量から、かんがい可能面積の算定例を2.3.6.3.6.(4)に示す。

## 2.2. ほ場必要水量（減水深）の測定方法

減水深は、ほ場の水位の変化量で計測する。

- ・ 減水深は、ほ場の水位を一定時間ごと計測した、時間による水位の変化である。
- ・ 計測ミスを防ぐ目的で、ほ場の水位計測は1ほ場あたり3カ所以上実施する。
- ・ 計測を行っている期間に降雨がある場合は、そのデータを利用しないことが望ましい。利用する場合は、降雨の補正を行う。
- ・ 近隣のほ場でも減水深は異なることが多いので、同一かんがいブロックで3ほ場以上の水位を計測する。
- ・ 水位計測は、以下の手順で行う（図 2.4）。

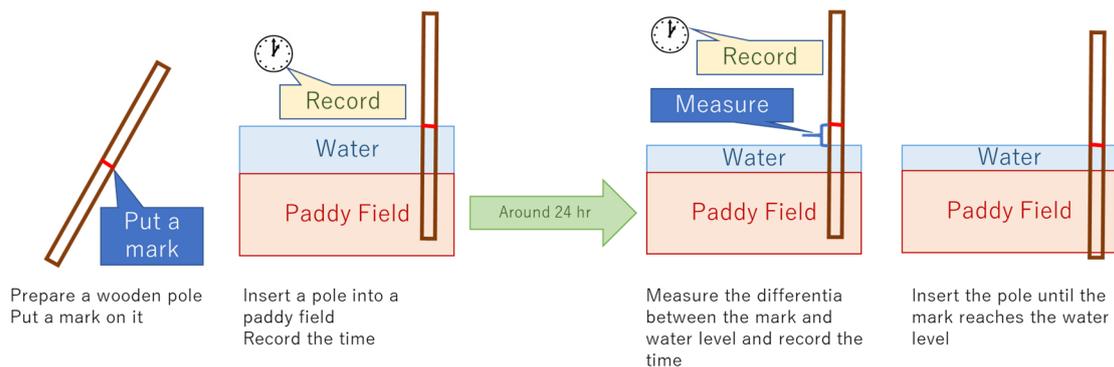


図 2.4 減水深の計測方法

- 1) 測定地点の選定（水面が水田より高い場所）
- 2) 木製の棒を用意し、棒に目印を付ける
- 3) 目印が水田の水位となるまで、棒を水田に挿入する
- 4) 時間を記録する
- 5) 翌日の目印から水での距離と時間を記録
- 6) データ記録日のかんがい排水状況を農家に聞き取り
- 7) 5日間5)–6)を繰り返す

## 2.3. 河川流量の推定方法

### 2.3.1. 必要性・効果

ある時期のかんがい可能面積は、その作期に取水可能な河川流量により変化する。

雨期の降雨から、当該年の乾期の河川流量が推定できると、乾期のかんがい可能面積の推定が可能となる。

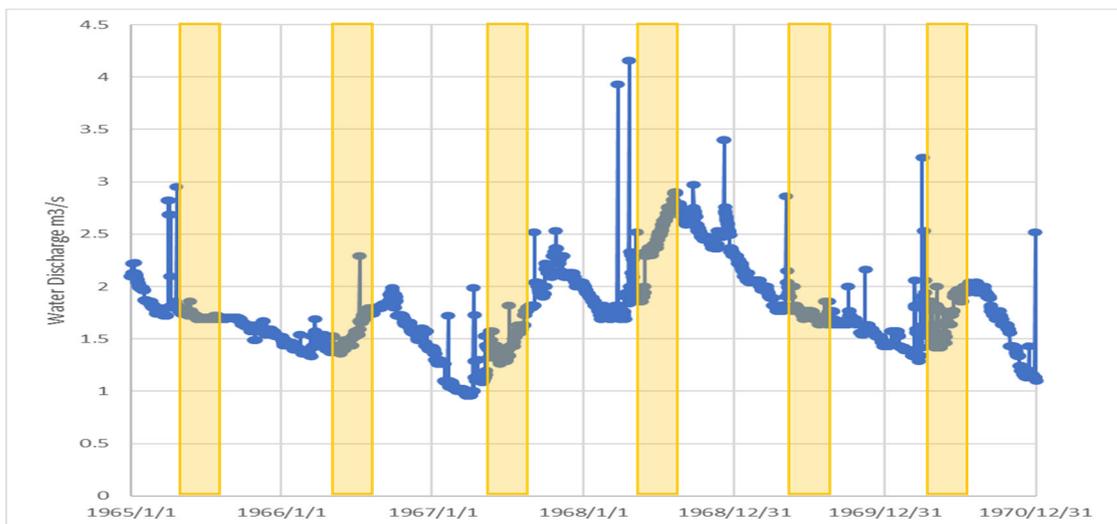


図 2.5 Nジヨロ川の流量（1965-1970：着色は雨季）

図 2.5 は、Nジヨロ川の流量を示している。黄色の帯は雨季を示しており、無地は乾季である。河川流量は、おおむね雨季に上昇し、乾季に降下する。乾季のかんがい用水はほぼ河川からの取水に頼っている。このため、乾季の流量が推定できると、最大かんがい可能面積が推定できる。

### 2.3.2. 河川流量の経年変化

河川流量記録は、流域機構（water basin authority）で記録しているものを利用する。なお、記録のない河川では、河川流量を推定する前に、最低でも3年は河川流量の観測が必要。

- ・ 対象とする流域の河川流量が流域機構のデータとして保管されている場合は、そのデータを利用する。データの有無は、各州の流域機構に直接問い合わせる。
- ・ 河川流量の記録がない場合は、最低でもモデルのパラメータ同定に2年、検証に1年の合計3年分の河川データが必要である。パラメータの数が多い場合は、パラメータ同定に必要なデータの数（年数）が多い方が望ましい。
- ・ 新しく流量を観測する場合は、最低でも日データを取得することが望ましい。本マニュアルではすでに整備されているかんがい地区を前提としているため、多くの場合は、河川に設けられた堰から取水している。この場合は、河川流量は、式1で求める。

$$\text{河川流量} = \text{取水量} + \text{堰の越流量} \quad (\text{式1})$$

1) 堰の越流量は、式2（Iwasaki,1963）で求める。

$$Q = CBH^{3/2} \quad (\text{式2})$$

ここで、Cは流量係数であり、式3で求まる。B：堰の幅（m）、H：越流水深（m）である。

$$C = 1.6 * \frac{1 + 2a\left(\frac{H}{Hd}\right)}{1 + a\left(\frac{H}{Hd}\right)} \quad (\text{式3})$$

ここで、 $a$  は定数、 $H_d$  : 設計水頭 (m)

式 3 を  $a$  の関数に変形すると

$$a = \frac{Cd - 1.6}{3.2 - Cd} \quad (\text{式 4})$$

JICA の設計 (ンジョロ川) では  $H_d=0.461\text{m}$ 、 $a=0.554$  としている。

## 2) 取水量

### a) 取水口にパーシャルフリュームが設置されている場合

取水量を把握するために、取水口にパーシャルフリュームが設置されている場合は、パーシャルフリュームの水深を測定することで流量の計測が可能。

パーシャルフリュームは、規格と水深から流量が決まる。規格は表 2.1、図 2.6 に示すとおり。

表 2.1 パーシャルフリュームの規格 (単位 : mm、出典 JIS B7553)

呼び	W	A	B	C	D	E	F	G	K	L	N	(M)	(P)	(R)
PF-03	76.2	311	457	178	259	610	152	305	25	914	57	305	768	406
PF-06	152.4	414	610	394	397	610	305	610	76	1,525	114	305	902	406
PF-09	228.6	587	864	381	575	762	305	457	76	1,626	114	305	1,080	406
PF-10	304.8	914	1,343	610	845	914	610	914	76	2,867	229	381	1,492	508
PF-15	457.2	965	1,419	762	1,026	914	610	914	76	2,943	229	381	1,676	508
PF-20	609.6	1,016	1,495	914	1,207	914	610	914	76	3,019	229	381	1,854	508
PF-30	914.4	1,118	1,645	1,219	1,572	914	610	914	76	3,169	229	381	2,223	508
PF-40	1,219.2	1,219	1,794	1,524	1,937	914	610	914	76	3,318	229	457	2,711	610
PF-50	1,524.0	1,321	1,943	1,829	2,302	914	610	914	76	3,467	229	457	3,080	610
PF-60	1,828.8	1,422	2,092	2,134	2,667	914	610	914	76	3,616	229	457	3,442	610
PF-70	2,133.6	1,524	2,242	2,438	3,032	914	610	914	76	3,766	229	457	3,810	610
PF-80	2,438.4	1,626	2,391	2,743	3,397	914	610	914	76	3,915	229	457	4,172	610

パーシャルフリュームの流量は、表 2.1 に示す規格ごとに、表 2.2 に示す  $K$  および  $n$  を用いて、式 5 から求める。

$$Q = Kh^n \quad (\text{式 5})$$

ここで、 $h$  は図 2.6 におけるオレンジの四角の位置の水深 (m)

表 2.2 パーシャルフリュームの流量係数 (K) と n

呼び	K	n	呼び	K	n
PF-03	635	1.547	PF-30	7,863	1.566
	638	1.550	PF-40	10,632	1.578
PF-06	1,372	1.580	PF-50	13,436	1.587
PF-09	1,927	1.530	PF-60	16,268	1.595
PF-10	2,487	1.522	PF-70	19,124	1.601
PF-15	3,803	1.538	PF-80	22,002	1.607
PF-20	5,141	1.550			

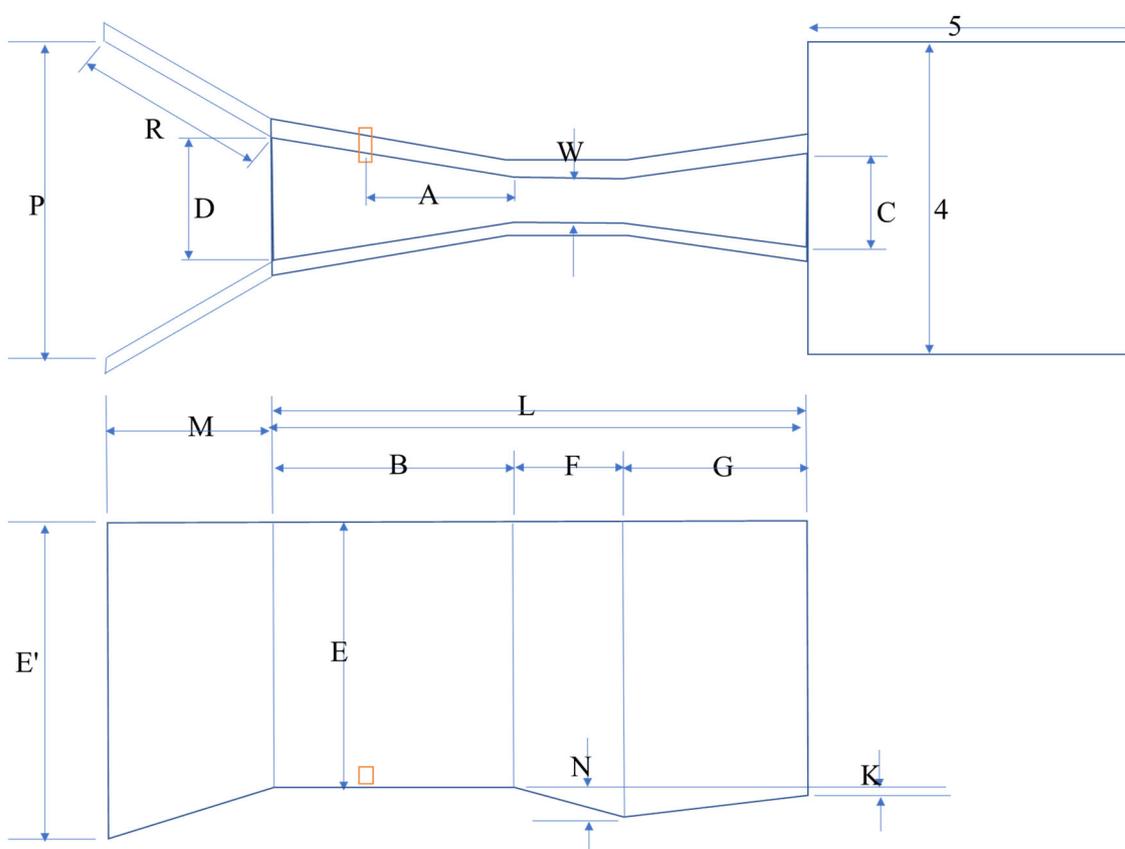


図 2.6 パーシャルフリュームの寸法位置

b) 幹線水路にゲートが設置されている場合

幹線水路にゲートが設置されている場合は、ゲートにおける水深とゲートの開度（開いている高さ）により流量を計測することが可能。ゲートの流量は、ゲートの水位と遮断部の関係（図 2.8、図 2.7）により以下により求める。

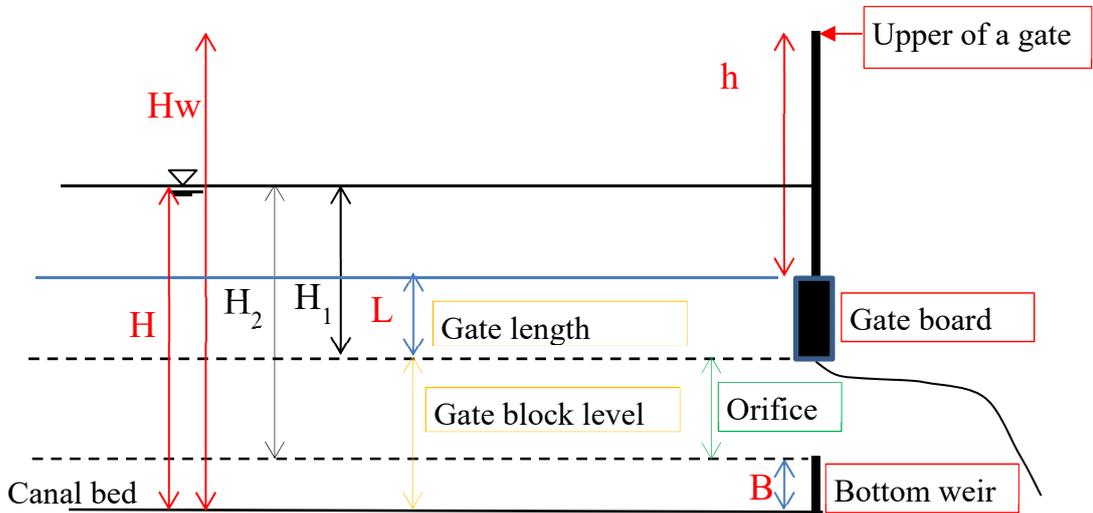


図 2.8 ゲートサイズと位置 (イメージ)



図 2.7 ゲートサイズと位置 (写真)

water level ( $H$ ) が gate block level ( $H_w - h - L$ )より高い (下流への開口部が水位より低い: 潜り堰 (Submerged weir) (写真 2.1)) 場合: 式 6

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C \cdot b \sqrt{2g} \left( H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}} \right) \quad (\text{式 6})$$

ここで、 $Q$ :流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $C$ :流量係数、 $b$ :断面幅、 $H_1$ :オリフィス上端の深さで  $H_1 = H - (H_w - h - L)$ 、 $H_2$ :オリフィス下端の深さで  $H_2 = H - B$ 、 $g$ :重力加速度 ( $9.8\text{m}/\text{s}^2$ )、 $B$ :底部堰、 $H_w$ :水路底からゲート上部、 $L$ :ゲート長、 $h$ :ゲート上部からゲート堰板(遮断部)上部

また、水位がゲート遮断部より低い(ゲート遮断部より水位が低い:四角堰(写真 2.2))場合は、式 7 より求める。

$$Q = K \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (\text{式 7})$$

ここで、 $Q$ :流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $K$ :流量係数、 $b$ :断面幅、 $H$ :越流深、 $g$ :重力加速度 ( $9.8\text{m}/\text{s}^2$ )

なお、流量係数 ( $C$  や  $K$ ) は、それぞれ 3 点以上の異なった水深 ( $H$ ) における流量を計測し、実測した  $Q$  と式 6 や式 7 の右辺の流量係数を除いた項をグラフにプロットし、その勾配から求める。図 2.9 は算定事例である。この事例(ラウ水系の幹線水路に設置されているゲート)では、 $C=0.547$  ( $R^2=0.933$ )である。

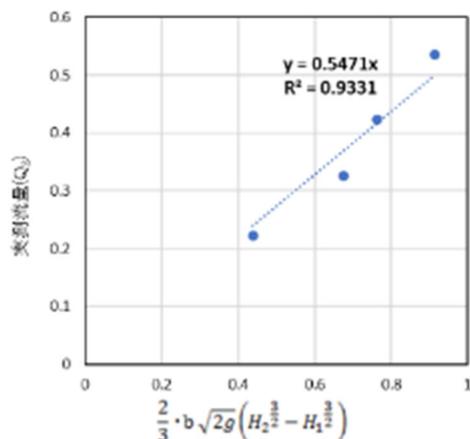


図 2.9  $\frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot (H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}})$  と実測流量  $Q$  の関係 (ラウゲート)



写真 2.1 潜り堰の状態



写真 2.2 四角堰の状態

<参考>水路の流量の計測方法

水路の流量は、流速×断面積で求める。

水路の流速は、場所によって異なる。

このため、水路をいくつかの断面に分けて、断面ごとに流速を計測し、当該断面の流量を求める。水路全体の流速は、それぞれの断面における流量の合計で求める。

図 2.10 のような水路断面の場合、以下の a)～c)の 3 つの流量を合計する。

- a)左の三角形の面積に三角形の中央の測線で測定した流速をかける
- b)中央の四角形の面積に四角形の中央の測線で測定した流速をかける
- c)左の三角形の面積に三角形の中央の測線で測定した流速をかける

測線における流速は、それぞれの測線の水深の 20%及び 80%の地点の流速の平均値を用いる。

流速の測定は、流速計（電磁式、プロペラ式など）を用いる。

支線水路（底幅 0.3～0.4m、最大水深 0.5m 以下、水路勾配 1:1 程度）であれば、水路勾配の中央で 1 カ所（左右で 2 カ所）、水路中央部で 1 カ所測定すれば良い（図 2.10）。

規模の大きな幹線水路（全幅 2.0～3.0m 程度）では、0.1～0.2m 間隔で流速を測定、断面を乗じて流量を計算する。

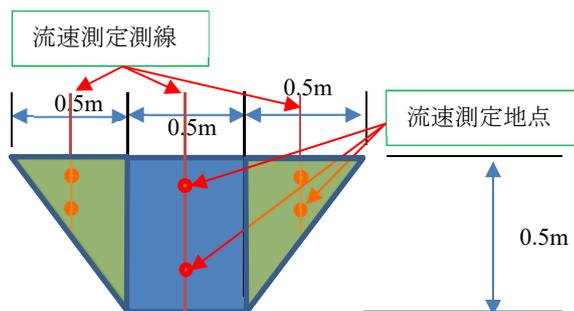


図 2.10 支線水路の流速計測地点

### 2.3.3. 降水量

流域内にある降雨データ（気象局など）を利用  
流域の高低差が大きい場合は、標高別の降雨データを用いる

一般に山地に降る雨は標高により異なる。このため、流域に山地を含む地区では、できるだけ標高が異なる観測所の連続データがあることが望ましい（標高 400m ごと）。

連続データが入手できない場合は、連続データが入手可能な地点から推定を行う必要がある。

推定方法として、連続データではなくてもスポットデータがある場合には、そのスポットデータのある地点と連続データのある地点の相関を基に推定する。

以下にローアモシでの事例を示す。

ローアモシ地区の流域は 780m（ンジョロ頭首工）から 5,000m まで 4,000m を超える標高差がある。

標高別に流域面積を整理したものを表 2.3 に示す。

表 2.3 標高別流域面積とその割合

altitude	ンジョロ		ラウ	
	Area km <sup>2</sup>	Ratio	Area km <sup>2</sup>	Ratio
-1,000	24.8	0.29	6.4	0.05
1,000-1,400	16.7	0.20	27.6	0.24
1,400-1,800	9.6	0.11	18.3	0.16
1,800-2,200	7.7	0.09	22.1	0.19
2,200-2,600	4.9	0.06	13.7	0.12
2,600-3,000	4.0	0.05	10.4	0.09
3,000-3,400	2.9	0.03	6.8	0.06
3,400-3,800	3.6	0.04	5.2	0.04
3,800-4,200	5.7	0.07	5.1	0.04
4,200-	4.2	0.05	1.4	0.01
Total	84.1		117.0	

ローアモシ地区では長期間の連続データが利用できる地点、およびスポットデータが利用できる地点は表 2.4 に示すとおりである。

表 2.4 モシで利用可能な気象観測所

	Altitude	Data
Moshi Meteo St	813	1930- (Daily)
Lyamungu	1,268	1935- (Daily)
Kibosho	1,478	1969- (Daily)
Old Moshi Nursery	1,646	1947-1953, 1954-1979(Daily)
Kili 1E	2,200	1950-1969 (monthly)
Kili 2E	2,870	1950-1969 (monthly)
Kili 3E	3,810	1950-1969 (monthly)
Kili 4E	4,270	1950-1969 (monthly)
Kili 5E	4,800	1950-1969 (monthly)

表 2.4 の気象観測所を基に、標高 400m ごとの年間降水量を算出した結果が表 2.5 である。降水量は標高 400m ごとに、隣接する気象観測所のデータを直線で結び、該当する標高の降水量を算出した。たとえば、標高 2000m のデータ  $R_{2000}$  は Old Moshi Nursery (標高 1646m) と Kili 1E (標高 2200m) から、以下の式で算出した。

$$R_{2000} = (2000 - 1646) * (R_{2200} - R_{1646}) / (2200 - 1646)$$

得られた標高別の年間降水量と連続データがある Kibosho の降水量との単純回帰を行い (表 2.5)、回帰式を用いて標高別の降水量を求める。

表 2.5 標高区間別年降水量と Kibosho 降水量との回帰結果

Altitude	1,478 (Kibosho)	1600	2,000	2,400	2,800	3,200	3,600	4,000	4,400
1957	2,894	2,638	1,991	1,620	1,502	1,090	616	276	318
1959	1,295	1,421	1,770	1,869	1,726	1,378	987	551	227
1960	1,612	1,667	1,814	1,859	1,806	1,386	888	447	193
1961	2,139	1,733	1,347	1,200	1,168	972	741	488	280
1962	1,489	1,795	1,334	977	912	675	401	193	103
1963	2,192	2,636	1,557	819	753	609	447	272	145
1964	2,127	2,616	1,378	549	500	411	315	199	106
1965	2,217	3,324	1,726	576	551	440	309	199	143
Kibosho との回帰	C	788	1,355	1,762	1,674	1,361	1,001	562	64
	X	0.54	0.13	-0.29	-0.28	-0.25	-0.21	-0.12	0.06
	R2	0.50	0.07	0.07	0.08	0.10	0.16	0.17	0.16

#### 2.3.4. 流域面積

流域面積は、DEM (Digital Elevation Model) のデータを基に地形図を作成し、流域面積を算出

DEM は、以下のようなものが利用可能

SRTM3 (無料) 鉛直誤差 16m

<https://urs.earthdata.nasa.gov//users/new>

PRISM (有料) 鉛直誤差 5m 1/25,000 地形図相当

AW3D (有料) 鉛直誤差 1m 1/2,500 地形図相当

100km<sup>2</sup>程度の流域であれば SRTM3 を利用

DEM データを用いて等高線図の作成は (参考 1) で説明している  
等高線図を用いて流域図の作成は (QGIS 利用、参考 2) で説明している。

標高区間別の流域面積は、流域全体をポリゴンデータとし、標高データ (ポリライン) で切り取る (QGIS では、ベクターオーバーレイの線による分割を利用)

## <参考 1> SRTM を用いた等高線の作成方法

参考動画 <https://www.youtube.com/watch?v=yXCbHm9slSA>

### 1. DEM の作成

1) 抽出したい場所でメッシュ状に WAYPOINT を描く (図 2.11)

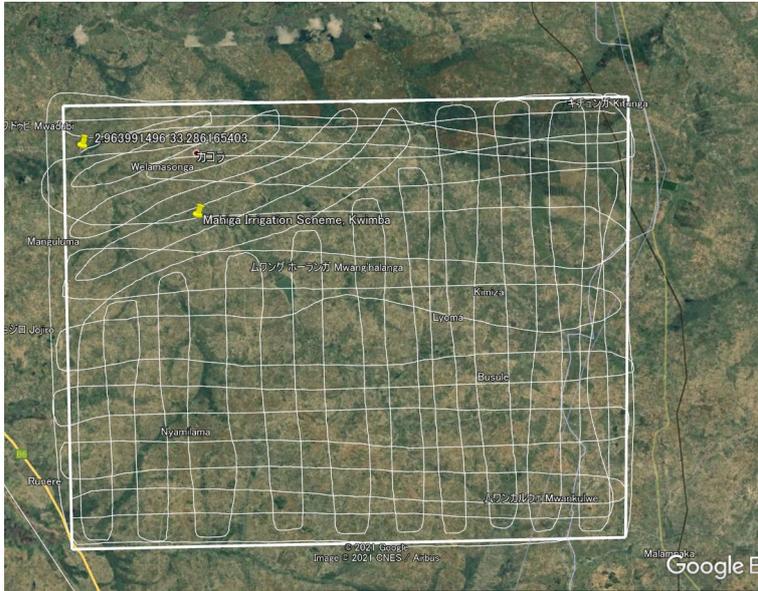


図 2.11 メッシュの描画

2) 描画した Waypoint を KML ファイル形式で任意のフォルダーに名前を付けて保存

4) GPS Visualizer

([https://www.gpsvisualizer.com/convert?output\\_home](https://www.gpsvisualizer.com/convert?output_home)) を開く (図 2.12)

5) 標高データを付加して、CSV (plane text) で保存 (ここから youtube とは異なる手順)



図 2.12 GPS Visualizer の画面

6) QGIS において「レイヤー」「レイヤーを追加」「CSV テキストレイヤーを追加」で CSV ファイルを読み込み。座標系は EPSG:4326 もしくは WGS84。空間インデックスを使うにクリック。

(この時点で、ポイントが正しく表せているか確認するためには、当該ファイルを右クリック、エクスポート、地物の保存で KML 形式で必要なフィールドのみエクスポート(ジオメトリタイプを point)し、GoogleEarth にドラックインする。正しければ、元のラインと同じ場所にポイントが表示される (図 2.13)。

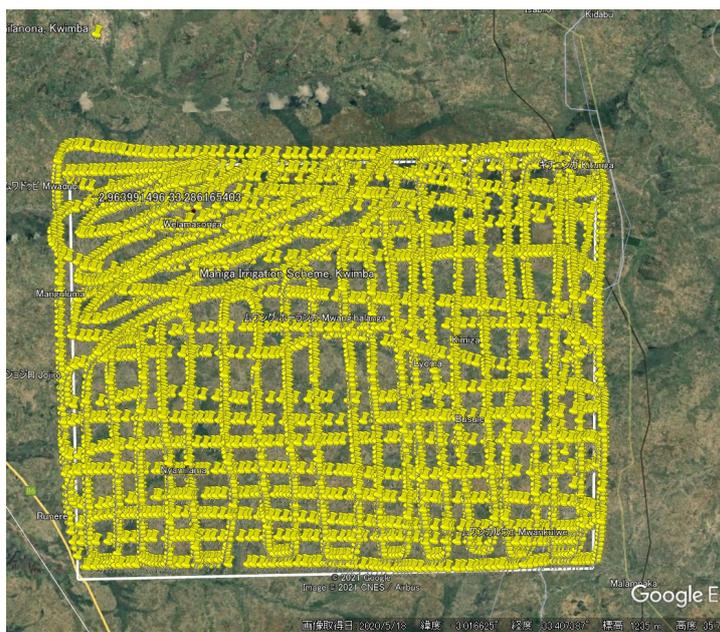


図 2.13 ポイントの表示

7) プロセッシングツールボックスにある内挿 (TIN 内挿) で、ラスタファイルの作成 (図 2.14)

内挿に Z 軸を使うかについては、どちらでも結果は大きく変わらない。

「領域」は、表示領域 (もしくは CSV ファイルの領域)、出力ラスタサイズは小さすぎると粗くなる、一方大きくすると処理に時間がかかるが、ここでは  $3,000 * 3,800$  (範囲が  $20\text{km} * 25\text{km}$  なので約  $6\text{m}$  ピッチ) とした。これで DEM ファイルができる

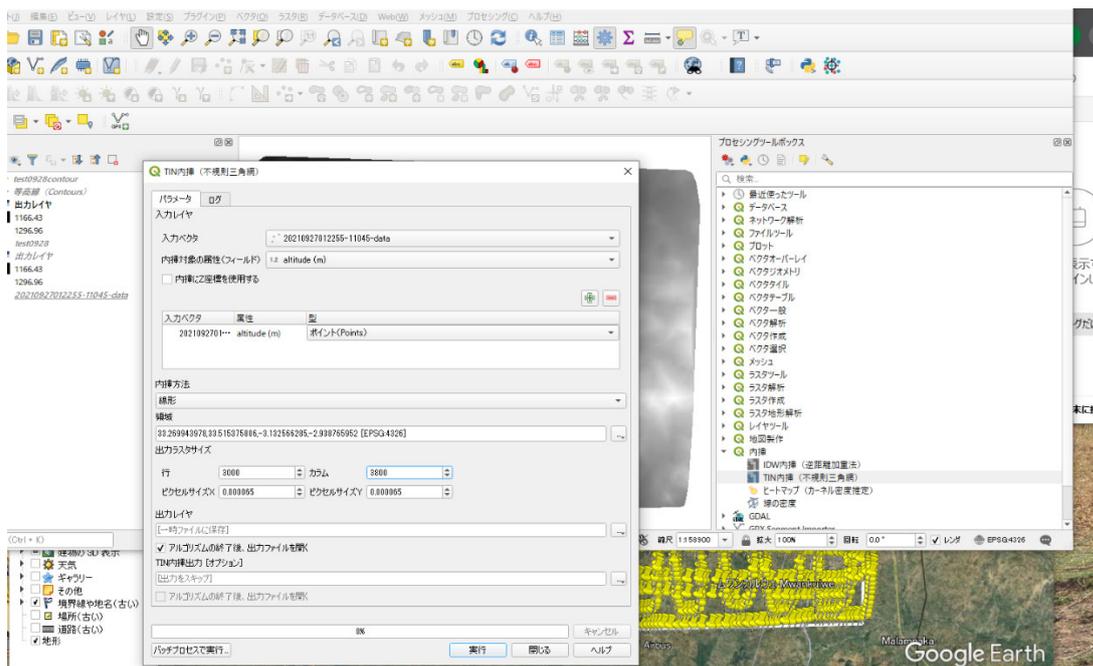


図 2.14 INT 内挿

## 2 等高線の作成

- 1) 作成した DEM に対して、「ラスター」、「抽出」、「等高線」で等高線の作成
- 2) 名前を付けて保存するため、エクスポート、地物の保存、形式 KML (GoogleEarth で見る場合) で保存  
ジオメトリタイプは「ライン」

## <参考 2> 流域図の作成

①DEM を QGIS の GRASS で解析するためには、GRASS にセットアップ（再投影）する必要がある。

具体的には

「ラスター」「投影法」「再投影」

( [https://docs.qgis.org/2.6/ja/docs/training\\_manual/grass/grass\\_setup.html](https://docs.qgis.org/2.6/ja/docs/training_manual/grass/grass_setup.html) )

参照

②投影された DEM を基に、流域解析「r.watershed」で流域を求める。最小サイズは 5,000 で良い（AW3D は解像度が高いので、最小サイズを小さくすると時間がかかる）（図 2.15）。

<参考ページ>

Automatically delineate a watershed in QGIS – GIS Crack

<https://giscrack.com/automatically-delineate-a-watershed-in-qgis/>

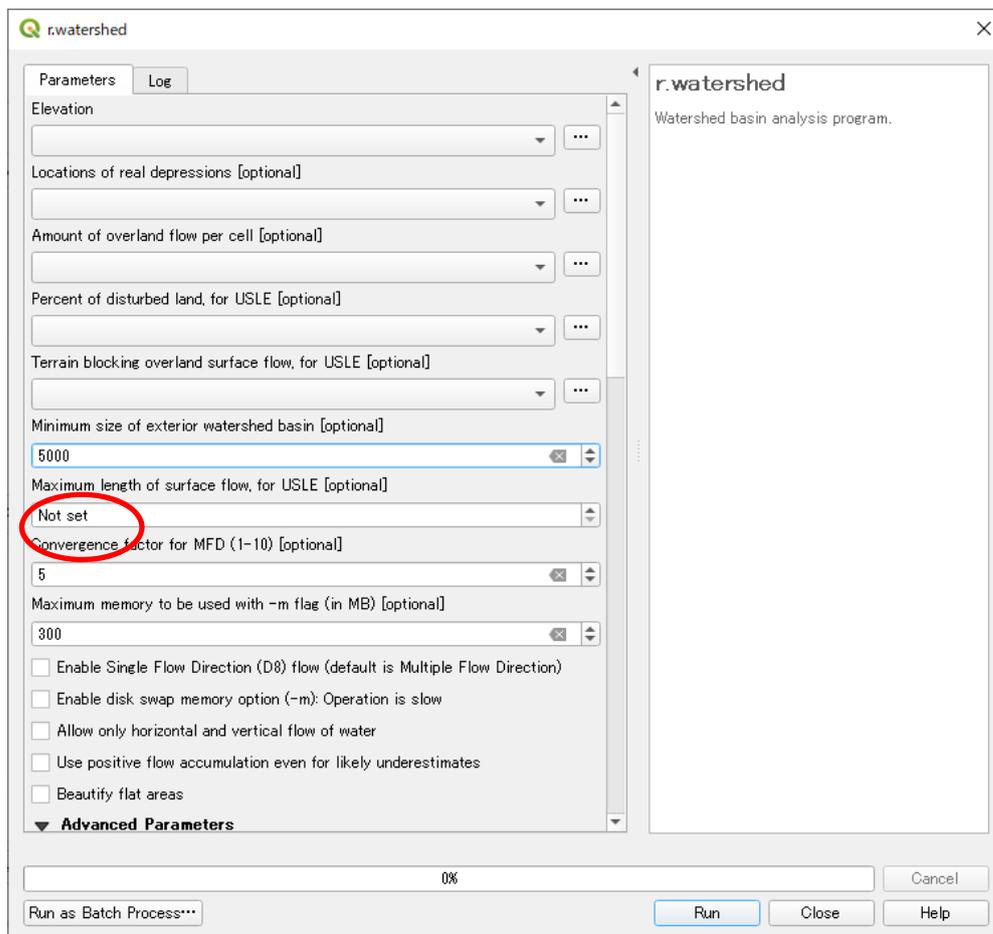


図 2.15 r.watershed の画面

### ③河川のベクター化

Google Earth 上で表示するためには河川のベクター化が必要

「河川セグメントの出力」において `r.thin` で前処理  
処理後の「線化ラスタの出力」に対し `r.to.vect`、地物のタイプを `line` で実施

### ④流域の求め方

「排水方向の出力」において特定の場所（流域の下流端）を決めて、  
`r.water outlet` で流域を明示

Google Earth 上で表示するために表示された流域を、`r.to.vect` でベクター化（地物タイプは `Area`）

その後、対象レイヤーを右クリック、エクスポート、地物の保存、  
KML 形式、ポリゴン

流域面積は、フィールド計算機を起動、`$area` で単位： $\text{m}^2$  で計算される。 $\text{km}^2$  で表示したい場合は `$area/1000000`

### 2.3.5. 河川流量推定方法

タンクモデル以外は基本的に洪水ピーク流量を推定するものである。ここでは、長期流出の推定が可能なタンクモデルを河川流量推定に用いる。

主要な河川流量の推定方法として、以下が挙げられる。

合理式 (Rational method)

洪水のピーク流量を推定する方法。流域面積、降雨強度と流出係数の積で表される。

貯留関数法 (Storage function method)

流域を流出域と浸透域に 2 分し、流出域、浸透域それぞれからの流出量を計算し、これらの合計を全流域からの流出量とする計算法

等価粗度法 (Kinematic wave method)

洪水流下現象を水流の運動法則と連続式を用いて説明する方法

準線形貯留型モデル (Quasi-linear storage type model)

有効降雨モデル、斜面モデルおよび河道モデルより構成される。

タンクモデル

流域を鉛直方向にいくつかの流出孔を持つ容器に置き換えて流出を計算する手法。

### 2.3.6. タンクモデル

- ・鉛直方向に設定する容器（タンク）の数は4段とする。
- ・流出量が既知である地点の上流を1流域として取り扱う。
- ・降水量は標高補正を行う。
- ・パラメータの同定として、1) エクセルを使用する、2) Python を使用する、について解説
- ・パラメータの評価は、Nash-Sutcliffe efficiency を用いる

#### 2.3.6.1. タンクの構造

タンクの構造は、4段とする（図 2.16）

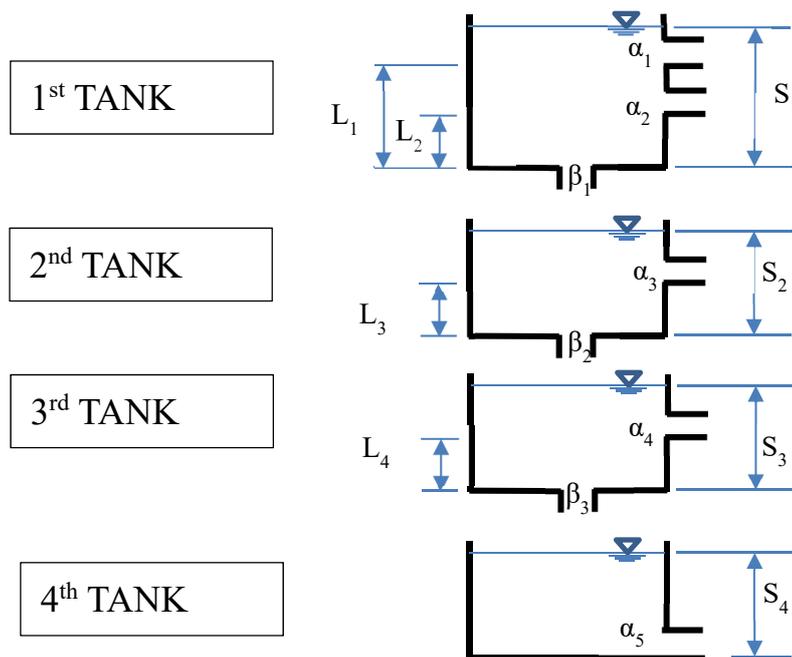


図 2.16 タンクモデル

### 2.3.6.2. タンクの基礎式

基本的な考え方は、以下のとおり。

- 1) 流域を鉛直方向の4つのタンクに見立てる。
- 2) 流域に降る雨は1<sup>st</sup> TANKに入る。また流域における蒸発は1<sup>st</sup> TANKから出る。
- 3) 1<sup>st</sup> TANKに貯まった水は、異なる水深に設置してある横孔から河川に流出。また底部に設置してある孔から下段のタンク(2<sup>nd</sup> TANK)に流出。
- 4) 2<sup>nd</sup> TANKや3<sup>rd</sup> TANKは、上段タンクから流入、また横孔からの流出は河川に流出、底部に設置してある孔から下段のタンクに流出。
- 5) 最下段タンク(4<sup>th</sup> TANK)は、タンク底部に設置してある横孔から河川に流出、底部の孔はない。

それぞれのタンクの貯水量は以下の式で表す。

#### 1<sup>st</sup> TANK

$$S_1(t-1) \geq L_1(t-1)$$

$$S_1(t) = S_1(t-1) + p(t) - E(t) - ((S_1(t-1) - L_1(t-1)) \times \alpha_1 + (S_1(t-1) - L_2(t-1)) \times \alpha_2) - S_1(t-1) \times \beta_1$$

$$L_1(t-1) > S_1(t-1) \geq L_2(t-1)$$

$$S_1(t) = S_1(t-1) + p(t) - E(t) - ((S_1(t-1) - L_2(t-1)) \times \alpha_2) - S_1(t-1) \times \beta_1 - S_1(t-1) \times \beta_1$$

$$S_1(t-1) < L_2(t-1)$$

$$S_1(t) = S_1(t-1) + p(t) - E(t) - S_1(t-1) \times \beta_1$$

#### 2<sup>nd</sup> TANK

$$S_2(t-1) \geq L_3(t-1)$$

$$S_2(t) = S_2(t-1) - ((S_2(t-1) - L_3(t-1)) \times \alpha_3) - S_2(t-1) \times \beta_2$$

$$S_2(t-1) < L_3(t-1)$$

$$S_2(t) = S_2(t-1) - S_2(t-1) \times \beta_2$$

#### 3<sup>rd</sup> TANK

$$S_3(t-1) \geq L_4(t-1)$$

$$S_3(t) = S_3(t-1) - ((S_3(t-1) - L_4(t-1)) \times \alpha_4) - S_3(t-1) \times \beta_3$$

$$S_3(t-1) < L_3(t-1)$$

$$S_3(t) = S_3(t-1) - S_3(t-1) \times \beta_3$$

4<sup>th</sup> TANK

$$S_4(t) = S_4(t-1) - S_4(t-1) \times \alpha_5$$

ここで、 $p$  : 降水量(mm/d)、 $E$  : 蒸発量(mm/d)

### 2.3.6.3. パラメータの同定方法

タンクモデルは、パラメータの数が 16 である。パラメータの同定を行うにあたり、初期値を与えて、最適解を求めると初期値近辺の最適解に収束することが多い。このため、パラメータの同定方法として、SCEUA ((shuffled Complex Evolution)Duan, 1992) が良いとしている (田中丸,1995)。

しかし、SCEUA は計算プロセスが複雑であり、エクセルでは計算できない。このため、本マニュアルでは、エクセルを用いてパラメータを同定する方法と、SCEUA を説明する。

#### 2.3.6.3.1. パラメータの同定に必要な計算期間

パラメータは 16 あるので、パラメータ同定に必要な計算期間は最低でも 2 年は必要である。

#### 2.3.6.3.2. パラメータの標準化

田中丸によると、タンクモデルのように変数のオーダーが変数により大きく異なる場合、そのまま探索すると応答面が極端に扁平となり効率的な探索ができなくなる。永井・角屋は、「各モデル定数(変数)をそれぞれの初期値」で標準化を行うことにより、オーダーが異なるモデル定数の探索に有効であることを示している。このことから、田中丸が示すモデル定数(変数)の上限値下限値(田中丸, 1995)を元に標準化した変数を用いて最適化を図った。

#### 2.3.6.3.3. パラメータの検証方法

パラメータの検証は (式 8) に示す Nash-Sutcliffe efficiency (Nash and Sutcliffe, 1970) (以下, NSE とする) を用いる。

$$NSE=1-\frac{\sum(Q_{Obs}-Q_{cal})^2}{\sum(Q_{Obs}-\bar{Q}_{Obs})^2} \quad (式 8)$$

ここで、 $Q_{Obs}$  : 観測流出高,  $Q_{cal}$  : 計算流出高,  $\bar{Q}_{Obs}$  : 観測流出高の平均値である。観測流出高は、観測流出量を流域面積で除して求めた。

NSE は $-\infty$ から 1 までの値をとり、1 に近いほど適合性が高いとされている。なお、Moriyas et al. (2015) は、 $NSE \leq 0.5$  を unsatisfactory (不可)、 $0.5 < NSE \leq 0.70$  を satisfactory (可)、 $0.70 < NSE \leq 0.80$  を good (良)、 $NSE > 0.80$  を very good (優) としている。

#### 2.3.6.3.4. パラメータ同定にエクセルを使う方法

前述のように、パラメータの同定にあたり、初期値を与えて、最適解を求めると初期値近辺の最適解に収束することが多い。このため、エクセルによる同定方法は、初期値を変化させて、その初期値に応じた最適解を求める大域的探索法 (Global search method) により、近似値を求めたあと、この近似値を初期値として局所的探索法 (Local search method) により最適解を求める手法である。いずれも、エクセルのソルバー機能を用いる。

大域的探索法は、ソルバー機能の “selecting a solving method” から “Evolutionary(遺伝的アルゴリズム)” を選択する。遺伝的アルゴリズムで得られた解を初期値として、局所的探索法である “GRG Nonlinear : Generalized Reduced Gradient” を “selecting a solving method” から選択してパラメータを求める。

計算は、40 回程度繰り返し、最も結果が良いものをパラメータとする。

#### 2.3.6.3.5. パラメータ同定に Python を用いる方法

前述のように、パラメータの同定は SCEUA を用いる方が良いとされている。しかし、SCEUA はエクセルでは計算が出来ないためプログラム言語を用いて計算する必要がある。ここでは、プログラム言語のうち、扱いが容易で基本プログラムが多く公開されているパイソンを用いた計算方法について説明する。

SCEUA の基本プログラム (ソースコード) は、Github (spotpy) に公開されているもの (<https://github.com/thouska/spotpy>) を用いた。タンクモデルのソースコードも同じく Github (tank-model) に公開されているもの (<https://github.com/nzahasan/tank-model>) を利用した。プログラムの実行は Google collaborator を利用した。

##### (1) プログラムの修正

Github に掲載されている SCEUA のプログラムは、タンクモデルとは異なるモデルを使っている。このため、プログラムの実行にあたって

は、タンクモデルのパラメータ同定に SCEUA を用いることができるように修正が必要である。

## (2) setup プログラム

コアとなるプログラムであるタンクモデルのプログラムを実行するためには、実行用のセットアッププログラムが必要である。セットアッププログラムは異なる水理モデルを実行するためのものが、Spotpy に用意されている。このセットアッププログラムを、タンクモデルが実行可能なように修正する。修正したソースコードは別添に示す。

利用上の注意点として、ソースコードのなかで「import」を実行するモジュールをタンクモデル実行に該当するプログラム名に書き換える必要がある（タンクモデルのメインプログラム名を変更する場合）。

また、変数は乱数で任意の数を発生させるが、変数の上限、下限を記述する必要がある。また、Python では順番が 0（ゼロ）から始まるため、変数が 16 の場合、コード内の変数  $x()$  は  $x(0)$  から  $x(15)$  になるので注意が必要（ $x(16)$  までとすると、変数が 17 個になる）。

## (3) メインプログラム

タンクモデルでは、第 1 段タンク（最上段タンク）に 2 カ所の横穴が開いている。このため、2 カ所の横穴（上孔、下孔）のタンク底からの高さは「上孔高さ」>「下孔高さ」である必要がある。一方 SCEUA では、変数群（ $x(0)$  から  $x(15)$ ）を任意の場所で切り取り、交換する（突然変異）。このため、場合によっては「上孔高さ」<「下孔高さ」となるので、こうなった場合にタンクモデルで流出高の計算を行う前に、変数を修正しておく必要がある。具体的には、「上孔高さ」<「下孔高さ」となった場合に、「上孔高さ」と「下孔高さ」を入れ替える処理を行った。ソースコードは別添に示す。

## (4) 目的関数

タンクモデルでは目的関数（実測河川流量と計算河川流量を NSE で評価）が 1 に近づくように、変数を SCEUA により探索する。Spotpy のオリジナルのモデルでは RSME が最小となるように探索を行うようにアルゴリズムが組まれている。つまり、SCEUA のアルゴリズムにおいて目的関数（ソースコードでは like）が最小になるようにプロ

グラムが組み立てられている。NSE は、1 以下の値をとり、1 に近いほど変数が良い。このため、SCEUA のアルゴリズムにおいて目的関数が 1 に近い方がよい、もしくは NSE は 1 以上の値をとらないため目的関数が最大となるように修正する必要がある。または、NSE の逆数 (NSE-inv) を取ることで NSE-inv は最小が-1 となる。このため、SCEUA のアルゴリズムを NSE-inv に併せて変更、もしくは NSE のモジュールの変更を行う必要がある。

今回は、このうち NSE の逆数を目的関数として、目的関数が最小となるように探索することとした。

#### (5) 解析に用いるデータの加工

##### 1) データの準備

パラメータ同定に必要なデータ (降水量 : mm/d、蒸発量 : mm/d、河川流量  $m^3/s$ ) を同定期間分エクセルで準備する。

(同定期間は 2 年以上)

##### 2) データを CSV で保存 (ファイル名は Njoro\_id.csv)

なお、ファイル名を変更する場合は、プログラム (spot\_setup\_tank3.py) の 55 行目のファイル名を変更したファイル名に変更する。プログラムの書き換えは、テキストエディターや「Visual Studio Code : フリーソフト」を利用する。

<参考> 55 行目のコード

```
climatefile = open(self.hymod_path+os.sep+'Njoro_id.csv', 'r')
```

##### 3) 保存したファイルをテキストエディター (メモ帳など) で開く

4) 区切り文字 (エクセルではタブや、(カンマ) であることが多い) を ; (セミコロン) に置き換え、保存する

#### (6) パイソンを利用するための準備

##### 1) Google アカウントの作成

##### 2) Google ドライブの生成

Google アカウントを用いて Google ドライブを生成

マイドライブに「python\_TANK」、また「python\_TANK」の下に「algorithms」という名前のフォルダーを作成

##### 3) プログラムのコピー

JIRCAS Hp からダウンロードできるプログラムを Google ドライブにコピーする。このとき、(5)で作成したデータも「python\_TANK」に

コピー

4) Google Colaborator の起動

5) 「ファイル」「ノートブックを新規作成」

6) 左に配置しているアイコンから「ファイル」をクリック

7) アイコン「ドライブをアmount」をクリック、Google ドライブを認識させる。最初はアクセスコードの要求があるので、指示に従って認識させる

8) プログラムの実行

以下のプログラムを実行する（コピーして利用）

```
import numpy as np
!pip install spotpy
import spotpy
import matplotlib.pyplot as plt
import os
print (os.getcwd())
os.chdir('/content/drive/MyDrive/python_TANK')
print (os.getcwd())
```

プログラム実行後に、以下が表示されることを確認する。

```
「/content/drive/MyDrive/python_TANK」
```

(7) タンクモデルのプログラムを実行

```
from spot_setup_tank3 import spot_setup
from objectivefunctions import nashsutcliffeinv
spot_setup=spot_setup(nashsutcliffeinv)
from algorithms import sceua
sampler=sceua(spot_setup, dbname='SCEUA_tank_njoro', dbformat='csv')
rep=50000 #Select number of maximum repetitions
sampler.sample(rep, ngs=33, kstop=100, peps=0.001, pcento=0.001)
```

ここで、

rep は計算の繰返し回数

ngs=2×パラメータ数（タンクモデルでは 16） +1=33

peps, pcento は収束条件

パラメータの標準化を行う場合は、

```
from spot_setup_tank3 import spot_setup
```

を

```
From spot_setup_tank_std import spot_setup
```

に変える

#### (8) パラメータの保存

Nash の値 (objective value)、パラメータの計算結果、繰り返し計算回数、計算時間が表示されるので、記録する。

#### (9) 出力結果の保存

パラメータ同定までの計算結果は Google ドライブに「SCEUA\_tank\_njoro」というファイル名で保存される。

これをエクセルで読み込み、名前を変えて PC に保存する (Google ドライブには容量の関係上保存しない)。

#### (10) 計算終了

繰り返し計算の回数を増加させ、NSE の値に変化がなければ、パラメータを確定する。NSE が変化するようにであれば、繰り返し計算の数値を増加させて、再度実行。ローアモシの事例では繰り返し計算の回数を 200,000 回程度に設定する方が結果は良い。

なお、出力結果の「like」をグラフ表示すると以下 (図 2.17) のようになり、グラフに右下がり傾向が見られる場合は、繰り返し計算数を増やす。

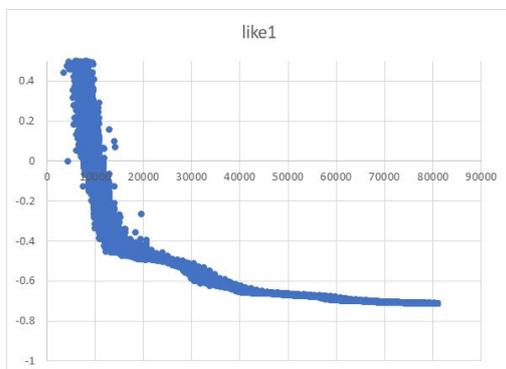


図 2.17 like の収束状況

### 2.3.6.3.6. サンプルデータを用いたパラメータ同定結果およびデータの検証

ローアモシ地区の河川流量データ（ンジョロ川）、流域の降水量を基に、エクセルおよび Python によるパラメータの同定を行った。なお、ここで河川データは実降水量データを基に、あるパラメータ（実河川流量をもとに同定したパラメータ）を使って、タンクモデルにより計算したものである（仮想河川流量データ）。

#### (1) エクセル（GA と GRG）によるパラメータの同定と検証

パラメータ同定を行うための、パラメータ初期値は全てのパラメータで 0.001 とした。

標準化なしの場合の、39 回試行における遺伝的アルゴリズム（GA）の NSE の平均は 0.2、また遺伝的アルゴリズムの結果を用いた GRG の結果の平均は 0.97 であった。

また標準化した場合の、39 回試行における遺伝的アルゴリズムの NSE の平均は 0.49、また遺伝的アルゴリズムの結果を用いた GRG の結果の平均は 0.99 であった。

なお、遺伝的アルゴリズムを実施しないで、GRG だけを実施した結果、NSE は -9.3 である。

これらのことから、パラメータの同定は、GRG のみで実施しても良い結果が得られないことがわかる。また、標準化した方が結果が良いことがわかる。

図 2.18 は、標準化における、遺伝的アルゴリズムの結果とその後の GRG の結果を示す。遺伝的アルゴリズムの結果によらず、GRG の NSE は大きくなる。

図 2.19 は、パラメータの同定結果である。パラメータは計算結果によりばらついていることがわかる。また、このグラフにおいて、◆は、仮想流域データ作成に用いたパラメータ（本シミュレーションにおける真値）である。

図 2.20 は、得られたパラメータを用いて 1971-1972 年の降水量から河川流量を再現し、仮想河川流量データと比較したものである。NSE は 0.8 以上であると very good とされている（2.3.6.3.3）。図 2.20 を見ると、39 回の試行計算のうち、30 回は NSE が 0.8 を超える。このことから、40 回程度の試行計算を行い、最も良い結果をパラメータとして用いることで、実用的に問題がない。

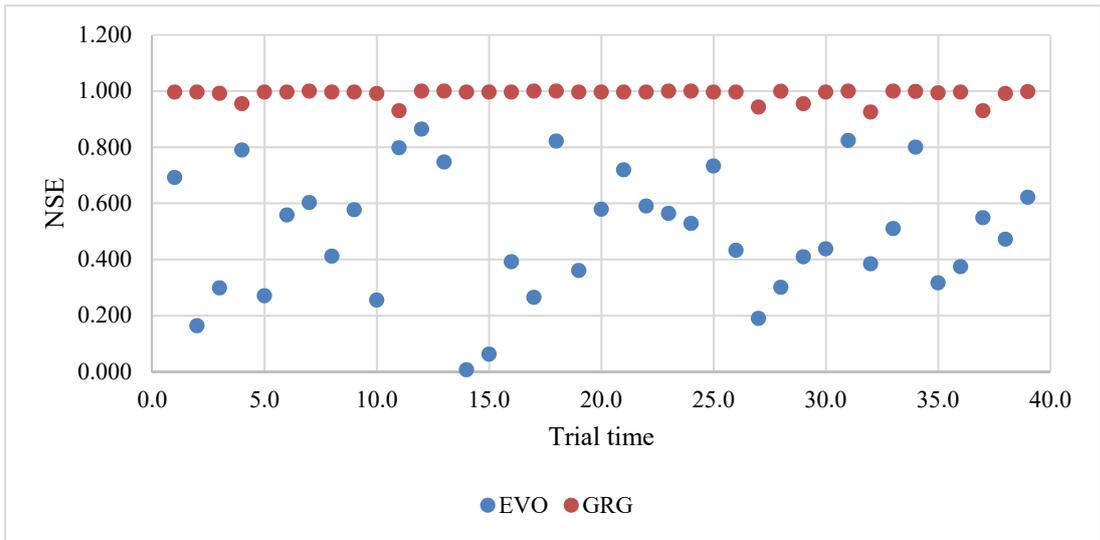


図 2.18 遺伝的アルゴリズムと GRG の結果 (標準化)

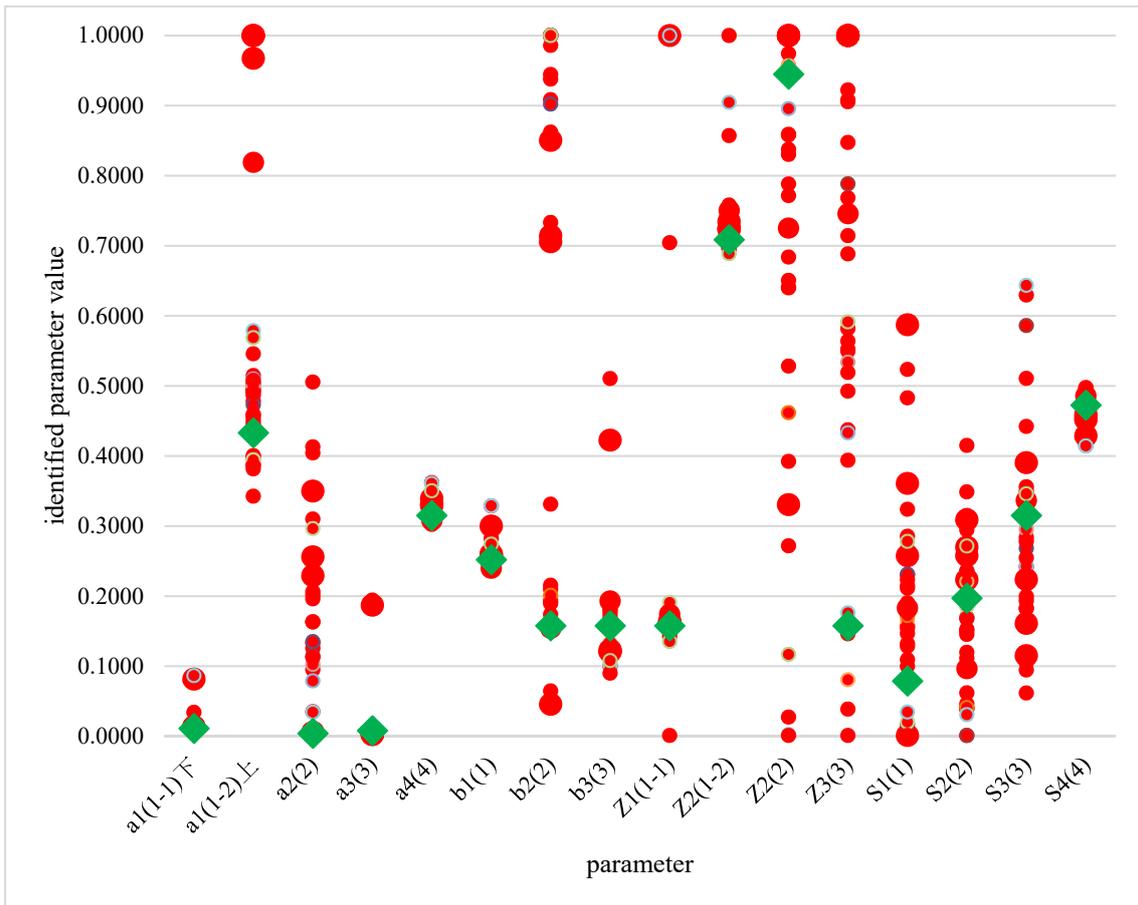


図 2.19 パラメータ同定結果 (エクセル)

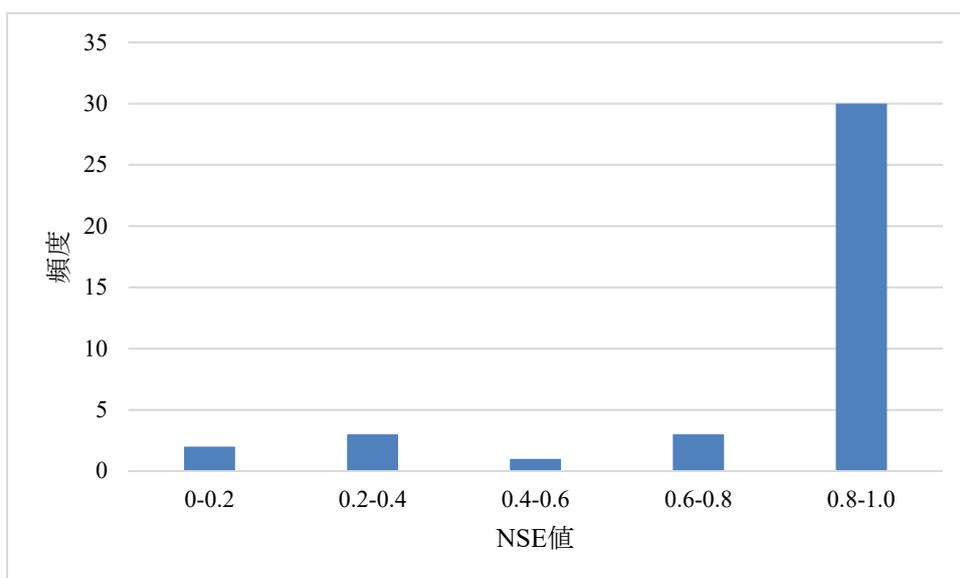


図 2.20 同定されたパラメータの検証結果（エクセル）

## (2) SCEUA（by Python）によるパラメータの同定

SCEUA によるパラメータ同定結果を図 2.21 に示す。パラメータはエクセルによる計算結果と同様にばらついていることがわかる。また、このグラフにおいて、◆は、仮想流域データ作成に用いたパラメータ（本シミュレーションにおける真値）である。

図 2.22 は、得られたパラメータを用いて 1971-1972 年の降水量から河川流量を再現し、仮想河川流量データと比較したものである。NSE は 0.8 以上であると very good とされている（2.3.6.3.3）。図 2.20 を見ると、39 回の試行計算のうち、22 回は NSE が 0.8 を超える。このことから、40 回程度の試行計算を行い、最も良い結果をパラメータとして用いることで、実用的に問題がない。

それぞれのパラメータについて、エクセル及び Python による計算結果と真値とのばらつき（真値と計算値の差の絶対値の平均）を図 2.23 に示す。この図において、データが赤線より下にある場合は、エクセルより Python の方がばらつきが少ないことを示す。

この結果、エクセルによる同定（GA+GRG）と SCEUA は大きな差はない。このため、同定期間が 2 年である場合は、河川流量の推定は、どちらの手法でも問題ない。

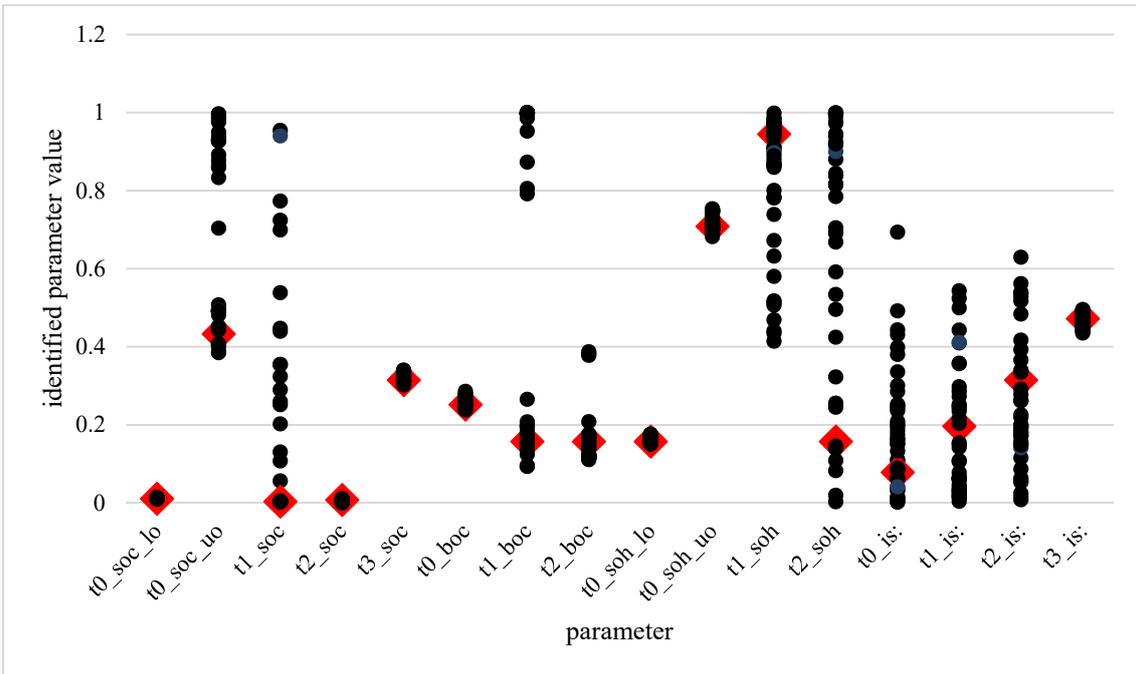


図 2.21 パラメータ同定結果 (SCEUA)

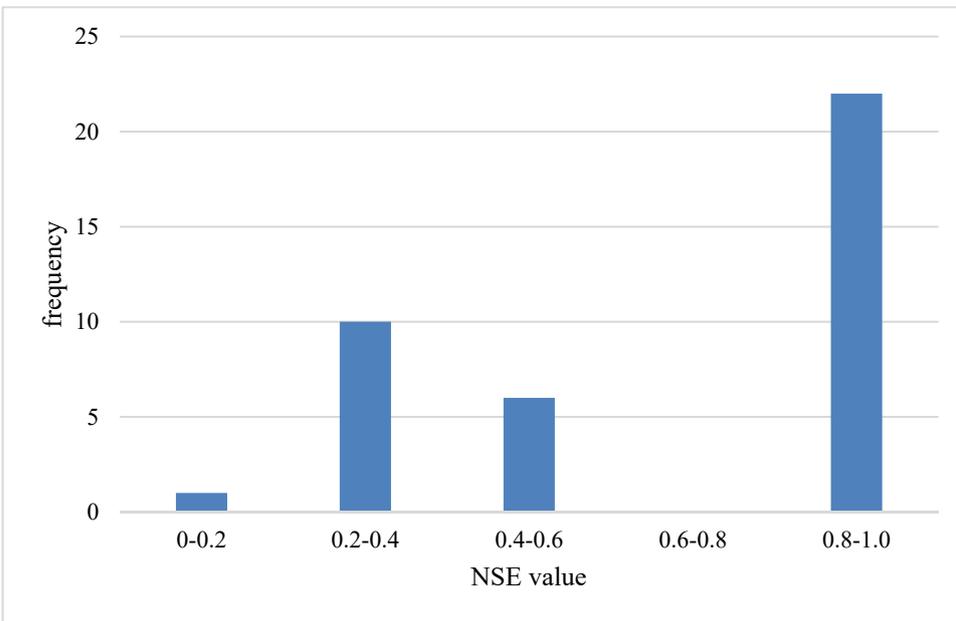


図 2.22 同定されたパラメータの検証結果 (SCEUA)

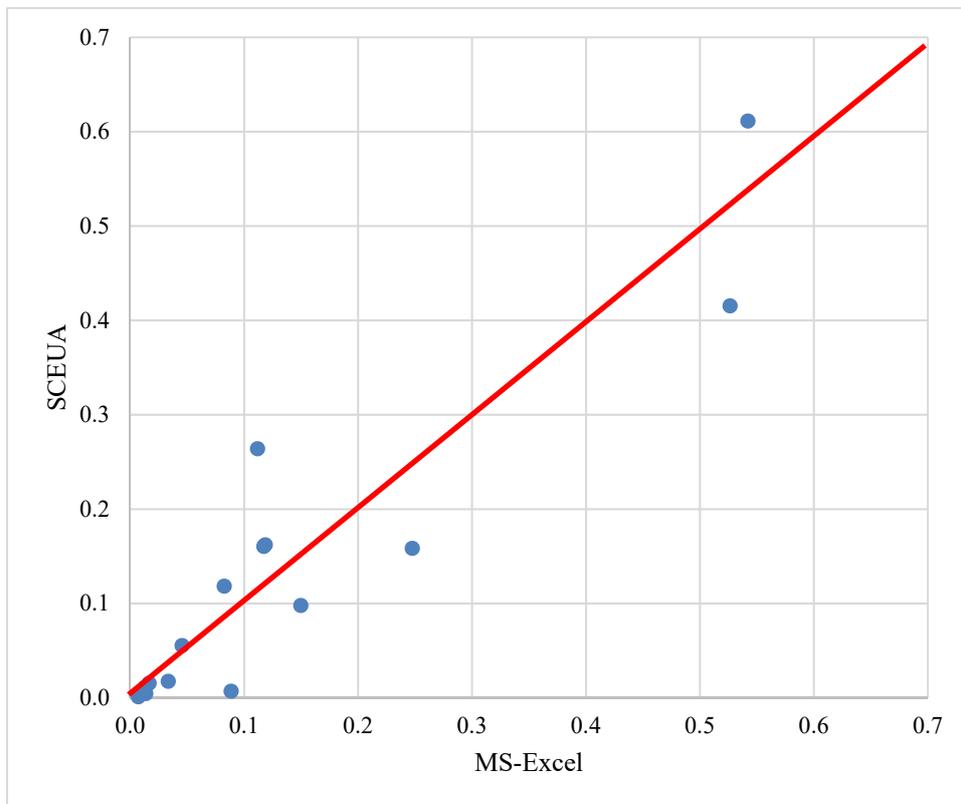


図 2.23 真値とのばらつき

### (3) パラメータを用いたかんがい可能面積

図 2.24 は、ンジョロ流域の標高補正後の月別降水量である。これを見ると、8月から10月は降水量が少ないことがわかる（8～10月は年間降水量の8%）。ローアモシ地区の稲作の作付けは6～7月に2<sup>nd</sup> seasonが始まる。また3<sup>rd</sup> seasonは9～10月に始まる（1<sup>st</sup> seasonは12月～1月に始まる）。3<sup>rd</sup> seasonは降水量が少なく、河川からのかんがい用水が重要である。このため、9月～10月にどの程度取水可能であるか推定する必要がある。

上記説明で同定したパラメータを用いて、降水量が7月までわかっている場合の1970年1月～1971年4月までの河川流量を算定した（7月末時点での8月以降の予想河川流量）。結果を図 2.25 に示す。この流量に基づき、かんがい可能面積を求める。求め方は、

(4) に詳細を述べるが、ほ場の必要水量（かんがいロスを含む）を22mm/d、流量は10日平均を用いた。かんがい期間を110日とし

て、9月から110日間で最小のかんがい可能面積を、3<sup>rd</sup> seasonのかんがい可能面積とした。また、12月下旬から110日間で最小のかんがい可能面積を、1<sup>st</sup> seasonのかんがい可能面積とした。この結果、仮想かんがい可能面積が3<sup>rd</sup> seasonで562ha、1<sup>st</sup> seasonで499haであることに対して、計算では3<sup>rd</sup> seasonで522ha（93%）、1<sup>st</sup> seasonで389ha（78%）となった（有効雨量は考慮していない）。これより7月までの雨がわかっている場合、最大かんがい可能面積の80%程度のかんがい可能面積が予測可能である。

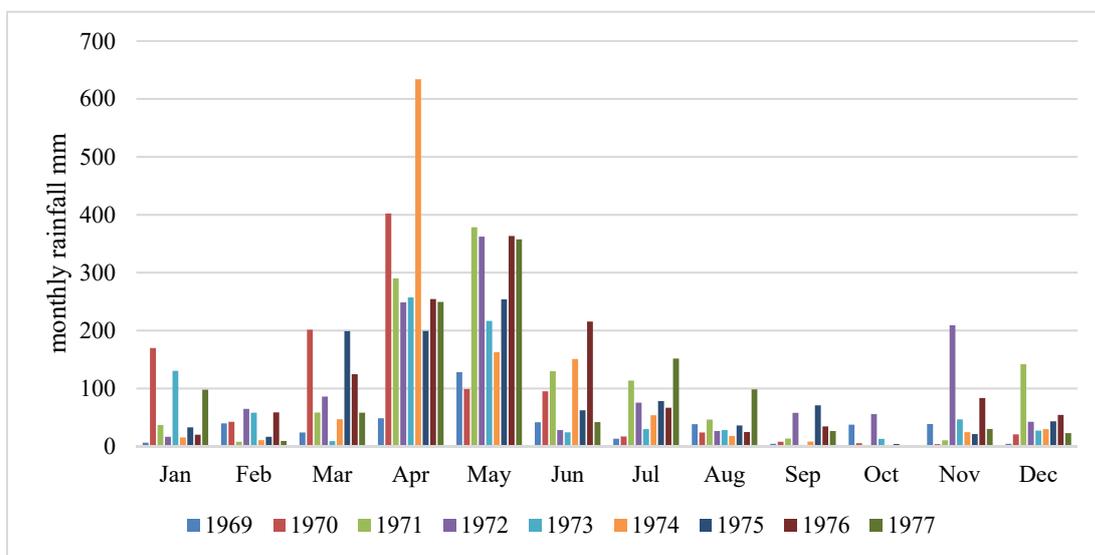


図 2.24 ンジョロ流域月別降水量（標高補正後：1969-1977）

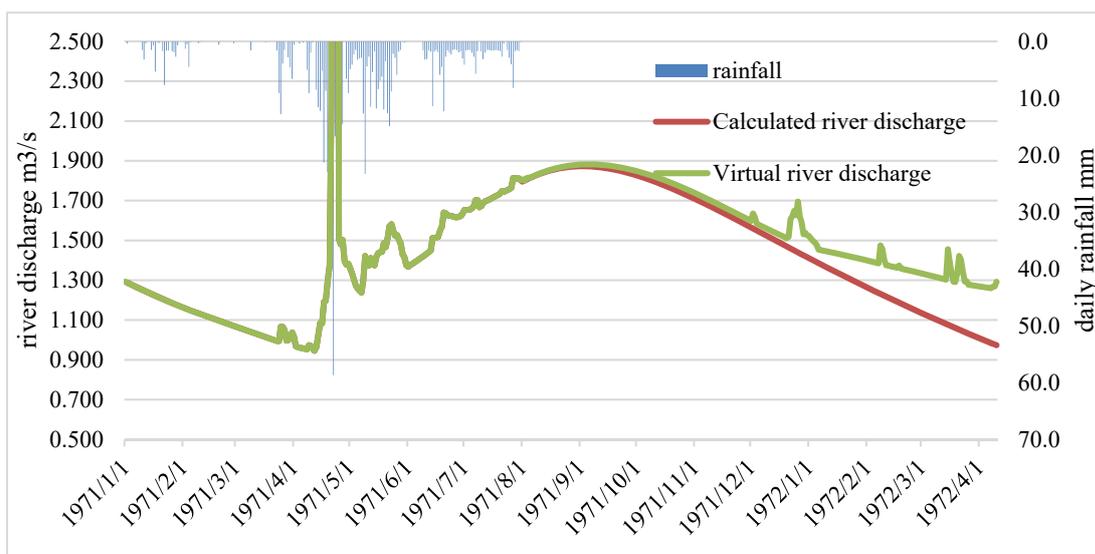


図 2.25 1971年8月以降の降雨をゼロとした場合の河川量の推移

表 2.6 河川流量とかんがい可能面積（計算値と仮想値）

month	River Discharge m <sup>3</sup> /s		Irrigable area ha Per 10 days average		Irrigable area ha Minimum of 110days		
	Calculated	Virtual	Calculated	Virtual	Calculated	Virtual	
7	Early	1.76	1.76	691	691	522	562
	Middle	1.81	1.81	711	711		
	Late	1.85	1.85	727	727		
8	Early	1.87	1.88	734	738		
	Middle	1.87	1.88	734	738		
	Late	1.86	1.87	730	734		
9	Early	1.83	1.85	719	727		
	Middle	1.80	1.82	707	715		
	Late	1.75	1.78	687	699		
10	Early	1.71	1.74	672	683		
	Middle	1.66	1.69	652	664		
	Late	1.60	1.63	628	640		
11	Early	1.54	1.58	605	621		
	Middle	1.49	1.53	585	601		
	Late	1.43	1.59	562	624		
12	Early	1.38	1.46	542	573		
	Middle	1.33	1.43	522	562		
	Late	1.27	1.40	499	550		
1	Early	1.22	1.40	479	550	389	499
	Middle	1.17	1.35	459	530		
	Late	1.12	1.33	440	522		
2	Early	1.08	1.33	424	522		
	Middle	1.04	1.32	408	518		
	Late	0.99	1.27	389	499		
3	Early	1.18	1.52	463	597		
	Middle	1.08	1.44	424	566		
	Late	1.15	1.52	452	597		
4	Early	1.33	1.70	522	668		

(4) 取水実績に基づくかんがい可能面積算定事例（ローアモシ地区）

- 1) 頭首工から取水された水量データを、一月を3つに分けた期間ごとに平均（図 2.26）。
- 2) サブロミアごとに取水量データが入手できる場合は、サブロミアごとのデータを使う。

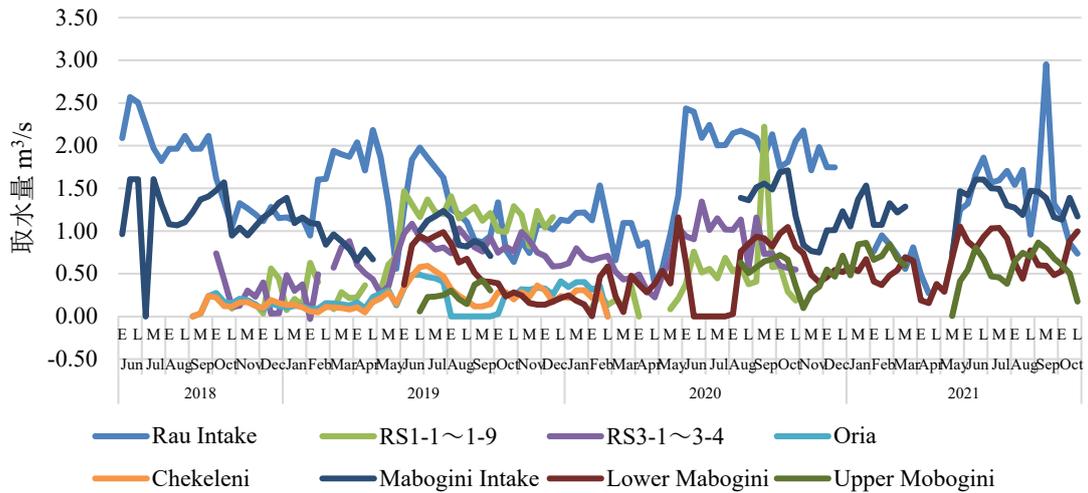


図 2.26 旬別取水量

- 3) かんがいブロックごとの、かんがい実績面積を期間ごとに整理
- 4) サブロミアごと（もしくは頭首工ごと）の、かんがい実績面積を期間ごとに整理（図 2.27）。

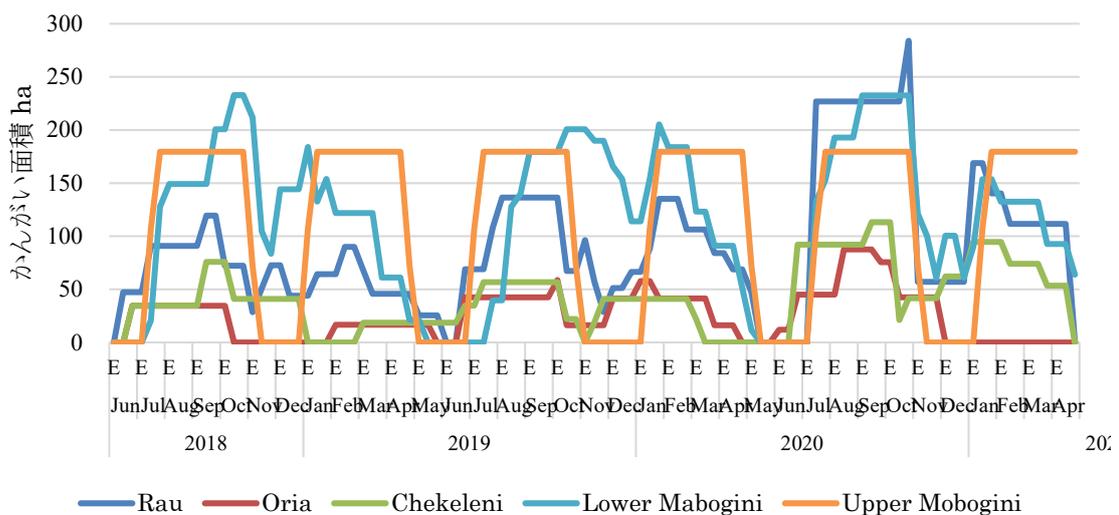


図 2.27 サubroミア別旬別実績かんがい面積（2018.6-2021.10）

5) 取水量をかんがい面積で除し、実績かんがい強度 (mm/d) を求める (図 2.28)。

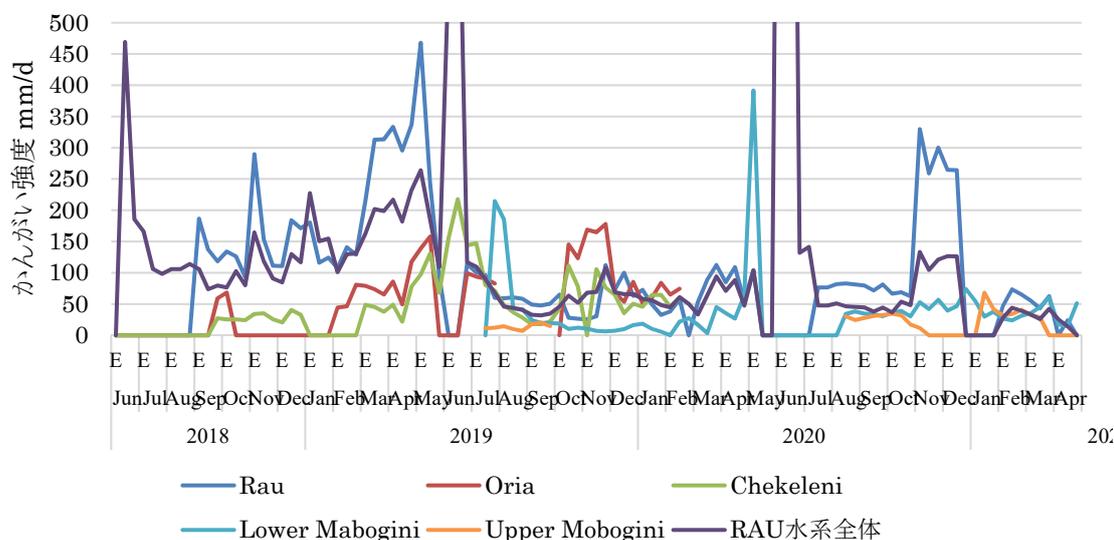


図 2.28 サブロミア別旬別実績かんがい強度 (2018.6-2021.10)

6) ほ場必要水量 (11mm/d : 実測)、かんがい効率 50% (送水ロスなど) とし、ブロックかんがい必要水量を 22mm/d とする (緑色の線) と、それを上回るかんがい水は余剰かんがい水となる (図 2.29)。

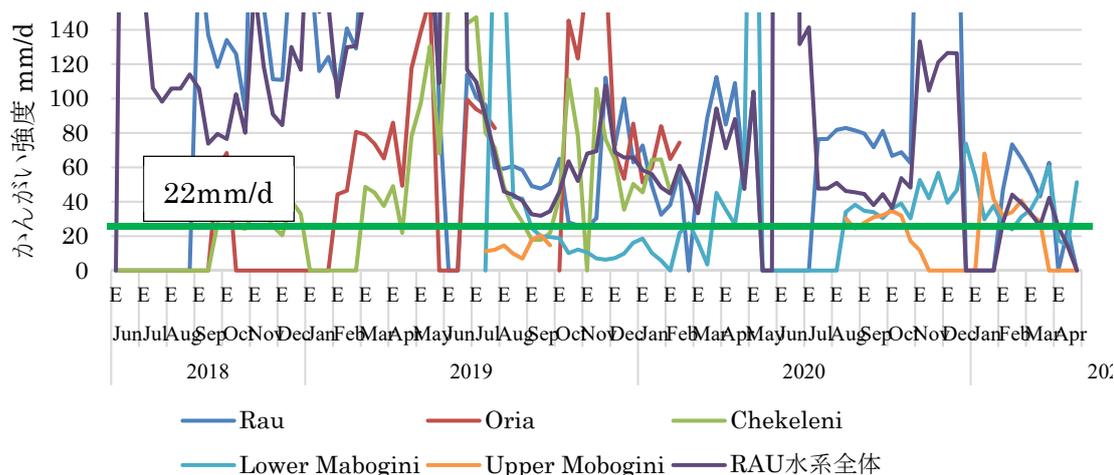


図 2.29 サブロミア別旬別実績かんがい強度 (2018.6-2021.10)

- 7) 余剰かんがい水 (mm/d) に当該ブロック面積を掛けて、余剰かんがい水 (m<sup>3</sup>/d) を求める。余剰かんがい水 (m<sup>3</sup>/d) をブロックかんがい必要水量 (22mm/d) で除して、追加かんがい可能面積を算出
- 8) 得られた面積の前後期間を平均して当該期間の面積とする (図 2.30)。

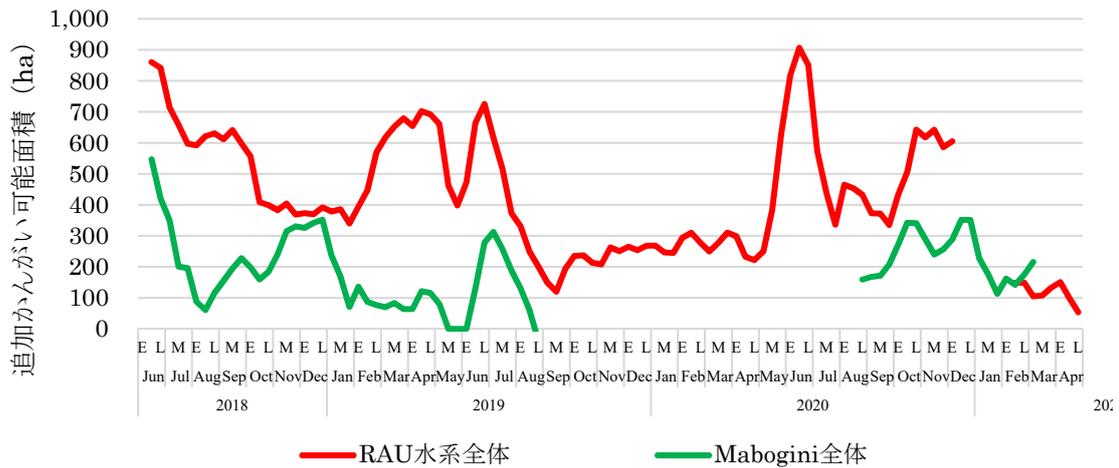


図 2.30 サブロミア別旬別追加かんがい可能面積

- 9) かんがい期間中の追加かんがい可能面積は、連続 100 日間 (かんがい期間) で最小の追加かんがい可能面積をあてる。水系別のかんがい期間中の追加かんがい可能面積は以下のとおり (図 2.31)。

ラウ水系                    855ha(2018)、 635ha(2019)、 850ha(2020)、  
 ソンジョロ水系        149ha(2018)、 43ha(2019) 、 121ha(2020)

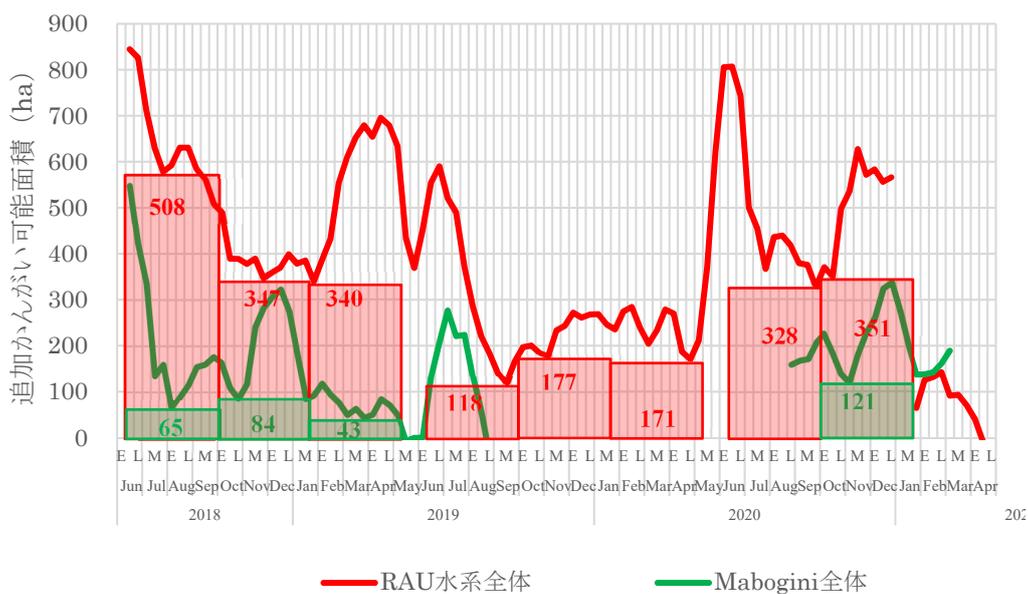


図 2.31 かんがい期間のサブロミア別追加かんがい可能面積

10) 現実には、ほ場の面積は限られているので、追加可能面積は理論値。実際のブロックを貼り付けると表 2.7、表 2.8 のように、2019 年の追加可能面積は 609.17 ha(39.67+569.5)、2020 年は 357.5ha (0+357.5)となる。

なお、実際の運用にあたっては、河川流量推定モデルや管理方法を検討する必要がある

表 2.7 マボギニ水系ブロック別追加かんがい面積

(○は実績ブロック、◎は追加可能ブロック)

	area	2018	2019		2020		2021	2019		2020	
		2nd, 3rd	1st	2nd, 3rd	1st	2nd, 3rd	1st	実績	増加	実績	増加
MS1-1	21.24	○	○	○	○	○	○	42.48	0	42.48	0
MS1-2	20.21	○	○	○	○	○	○	40.42	0	40.42	0
MS1-3	21.52	○	○	○	○	○	○	43.04	0	43.04	0
MS2-1	20.80	○	○	○	○	○	○	41.6	0	41.6	0
MS2-2	27.31	○	○	○	○	○	○	54.62	0	54.62	0
MS2-3	24.17	○	○	○	○	○	○	48.34	0	48.34	0
MS3-1	17.64	○	○	○	○	○	○	35.28	0	35.28	0
MS3-2	26.65	○	○	○	○	○	○	53.3	0	53.3	0
MS4-1	20.85	○		○		○	◎	20.85	0	20.85	0
MS4-2	31.82	◎	○		○	○	○	31.82	0	63.64	0
MS5-1	39.67	○	◎	○	○		○	39.67	39.67	39.67	0
MS5-2	27.59	○		○		○	◎	27.59	0	27.59	0
MS5-3	28.89	◎			○	○	○	0	0	57.78	0
MS6-1	32.07	○			○	○	○	0	0	64.14	0
MS6-2	21.29	○	○	○		○		42.58	0	21.29	0
MS6-3	11.80	○		○	○	○	◎	11.8	0	23.6	0
MS7-1	39.63	○		○	○	○		39.63	0	79.26	0
MS7-2	39.82	○	○	○		○	◎	79.64	0	39.82	0
Upper Mabogini								359.08	0	359.08	0
Lower Mabogini								293.58	39.67	437.64	0

表 2.8 ラウ水系ブロック別追加かんがい面積

(○は実績ブロック、◎は追加可能ブロック)

	area	2018	2019		2020		2021	2019		2020	
		2nd, 3rd	1st	2nd, 3rd	1st	2nd, 3rd	1st	actual	potential	actual	potential
RS1-1	15.18	○	◎	○	○	○	○	15.18	15.18	30.36	0
RS1-2	28.82	◎	◎		○	○	○	0	28.82	57.64	0
RS1-3	28.45	○	◎	○		○		28.45	28.45	28.45	0
RS1-4	25.56	◎	○		◎	○	○	25.56	0	25.56	25.56
RS1-5	22.35	◎	○		○	○	◎	22.35	0	44.7	0
RS1-6	21.87	○	◎	○		○	○	21.87	21.87	21.87	0
RS1-7	21.78	◎	○		○	○	◎	21.78	0	43.56	0
RS1-8	10.88	◎	◎	○	○	○	◎	10.88	10.88	21.76	0
RS1-9	10.81	◎	◎	○	○	○	◎	10.81	10.81	21.62	0
RS3-1	20.28	◎	○			○	○	20.28	0	20.28	0
RS3-2	23.81	◎	◎	○		○	◎	23.81	23.81	23.81	0
RS3-3	28.63	○					○	0	0	0	0
RS3-4	25.41	○	◎	○	○	○	◎	25.41	25.41	50.82	0
RS4-1	34.78	◎	◎	○		◎	○	34.78	34.78	0	34.78
RS4-2	13.54	○	◎	◎		◎		0	27.08	0	13.54
RS4-3A	20.56	○			◎	○		0	0	20.555	20.555
RS4-3B	20.56	○			◎	◎	○	0	0	0	41.11
RS4-4	29.80	◎	◎	◎	◎	○		0	59.6	29.8	29.8
RS4-5	22.27	◎	◎	◎	○	○		0	44.54	44.54	0
RS4-6	18.80	◎	◎	◎		○		0	37.6	18.8	0
RS4-7	22.06	◎	◎		◎	◎		0	22.06	0	44.12
RS4-8	18.75	◎	◎			◎	○	0	18.75	0	18.75
RS4A-1A	21.17	◎	◎		◎	○		0	21.17	21.17	21.17
RS4A-1B	21.17	○	◎		◎	○		0	21.17	21.17	21.17
RS8-2A	25.20	○	◎		○	◎	◎	0	25.2	25.2	25.2
RS8-2B	12.05	◎	◎	◎		○	◎	0	24.1	12.05	0
RS8-3A	16.71	◎	◎	○	◎	○	◎	16.705	16.705	16.705	16.705
RS8-3B	16.71	◎	○		◎	○	◎	16.705	0	16.705	16.705
RS8-4A	16.33	◎	◎	○	○	○	◎	16.33	16.33	32.66	0
RS8-4B	16.33	◎	◎		○	○	◎	0	16.33	32.66	0
PilotA	9.45	◎	◎		◎	◎	◎	0	9.45	0	18.9
PilotB	9.45	○	◎	○	◎	○		9.45	9.45	9.45	9.45
Total											
Rau								226.4	165.2	390.4	25.6
Chekeleni								34.8	286.8	156.0	245.0
Oria								59.2	117.6	145.4	87.0
Total								320.4	569.5	691.9	357.5

### 3. 表面被覆工法

#### 3.1. 必要性・効果

コンクリート水路は、経年劣化で水路表面が粗くなり（粗度が悪化）、水が流れにくくなる。

場所によっては、溢水が生じたりや必要な量の水が流れない（写真 3.1）。

粗度を改善することで、水の流れが改善できる。

- 水路の流れやすさは、粗度係数（ $n$ ）で表す。粗度係数は小さいほど流れやすい。
- コンクリート水路の粗度係数は 0.011～0.020、土水路で 0.014～0.030 程度である。
- 通常の水路流速は粗度係数（ $n$ ）を用いて、以下のマンニングの式で表せる。

$$V = n^{-1} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

$$R = A/S$$

ここで、 $V$ ：流速（m/s）、 $R$ ：径深（m）、 $I$ ：動水勾配、 $A$ ：通水断面積（流積： $m^2$ ）、 $S$ ：潤辺（m）



写真 3.1 溢水状況

- カルバートからのバックウォーター効果を排除するために粗度係数を計測するためには漸変流を適用する方が良い。  
この場合、以下の式を適用する。

$$-i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{n^2 v^2}{R^3} = 0$$

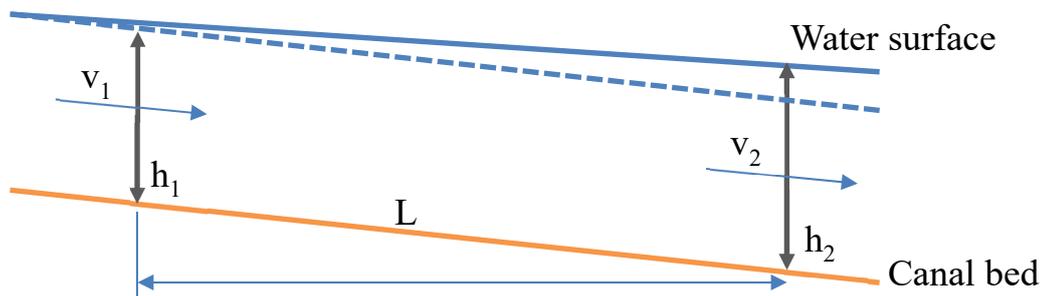


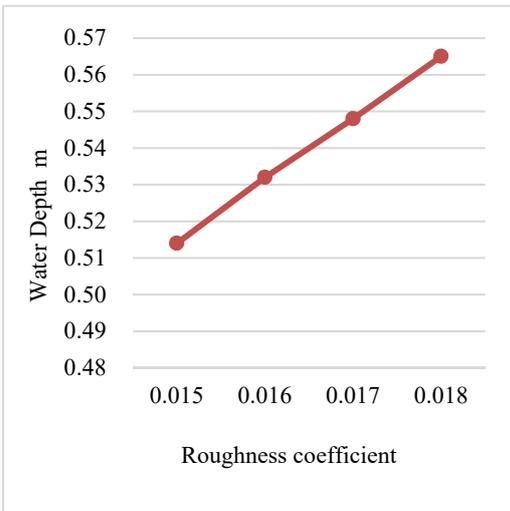
図 3.1 漸変流のイメージ図

$i$ : 位置勾配 (canal bed gradient)

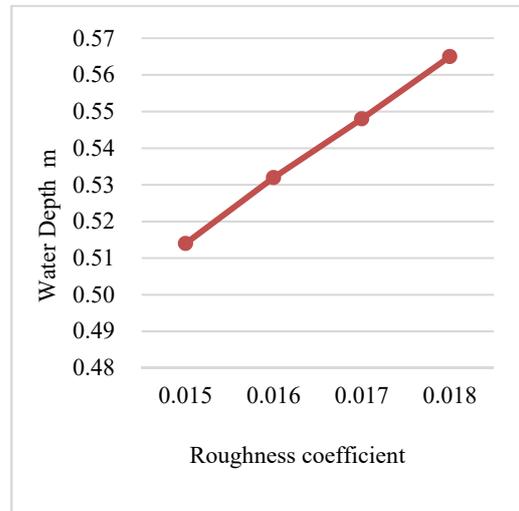
$\frac{\partial h}{\partial x}$ : 水面勾配  $((h_2-h_1)/L)$

$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{v^2}{2g} \right)$ : 速度勾配  $((v_2-v_1)/L)$

- 水路表面の状態が悪くなると粗度係数は大きくなり水の流れが悪くなる。  
流れる水の量が一定の場合、水深が深くなる。  
水深が一定の場合、流れる水の量が減少する。
- 粗度を改善することにより、  
改善前と同量の水を流す場合は、水深が浅くなる (図 3.2)。  
改善前と同じ水深の水を流す場合は、流速が早くなる (流量が増える、図 3.3)。



☒ **3.2 Relation between roughness coefficient and water depth(water volume is constant)**



☒ **3.3 Relation between roughness coefficient and velocity (water depth constant)**

### 3.2. 開水路補修工法の選択

表面被覆工法を選択  
有機系被覆工法を選択

- ・ 開水路の補修工法は以下に大別される（MAFF、2015）。  
表面処理工法、ひび割れ補修工法、断面修復工法、目地補修工法
- ・ 水路壁面にヒビがある、大きな損傷がある、目地に損傷がある等により、水路からの漏水がある場合は、ひび割れ補修工法、断面修復工法、目地修復工法を用いる。
- ・ 水路壁面の流れやすさの改善を目的とするため、表面処理工法を採用する。
- ・ 表面処理工法には、表面被覆工法と表面含浸工法があるが、表面含浸工法は農業用水路での実績（日本）は少ないので、表面被覆工法とする。
- ・ 表面被覆工法には、無機系表面被覆工法、有機系表面被覆工法、パネル工法、シート工法がある。
- ・ 無機系はひび割れ追従性能が低く、材料入手性も容易ではない。
- ・ パネル工法、シート工法ともに材料入手性が良くない。
- ・ このため、材料の入手性が容易で施工が簡易な有機系被覆工法を推奨する。

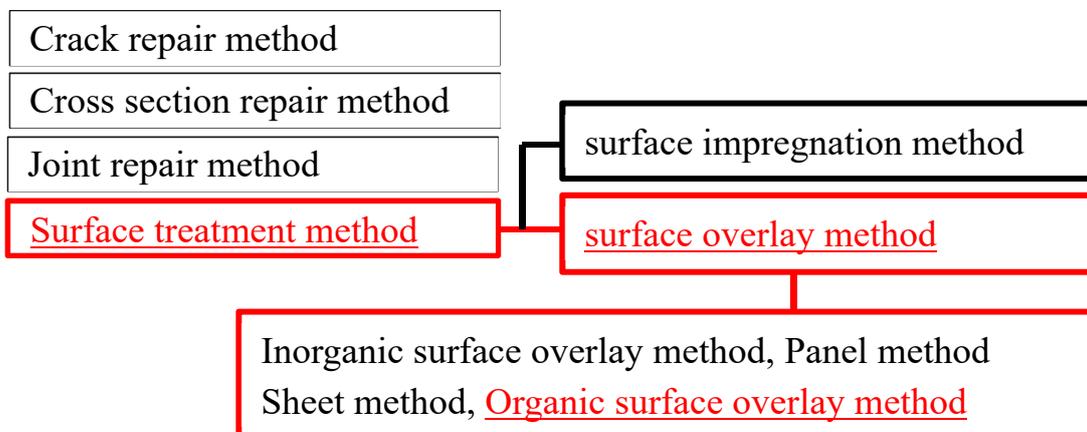


図 3.4 開水路補修工法

### 3.3. 有機系被覆材

有機系被覆材は、外構材の塗料として利用されているエポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂などの種類があり、樹脂による効果に差はない（2021 時点）

- ・ 有機系被覆材は、外構材の塗料としての利用がある。つまり、家の壁等に塗布する用途であるが、タンザニアでは利用頻度が高く、材料の入手は困難ではない。
- ・ 現地で入手可能な、主要樹脂メーカーの樹脂は、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂である。樹脂による性能の違いはない（2021 時点）。

### 3.4. 施工手順

- (1) 水路表面清掃
- (2) 表面準備
- (3) プライマー処理
- (4) プライマー塗布
- (5) 樹脂塗料スプレー（トップコート：上塗り）

#### (1) 水路表面清掃

水路は施工前に除草や砂利の除去を行う(写真 3.2).



写真 3.2 水路表面清掃（雑草やゴミ除去）

## (2) 表面準備

水路表面のゴミ（や劣化部分）を表面被覆工の前に取り除く。作業には車輛を洗浄する際に利用する高圧洗浄機を使用する（写真 3.3）。

水路の掃除には高圧洗浄機（50 - 150MPa）を用いることが一般であるが、利用が困難な場合は、車輛洗浄に使われる 10MPa 程度の高圧洗浄機を利用する。



写真 3.3 水路表面洗浄（高圧洗浄機）

## (3) プライマー処理

プライマー処理の目的は、劣化部分を取り除き表面被覆材が構造物に付着しやすくすることである。劣化部分や表面不陸はモルタルで処理する（写真 3.4）。



写真 3.4 プライマー処理（モルタル処理）

#### (4) Primer coating (sealer coating)

プライマーは、塗装面と上塗りの密着性を高める目的で塗る。プライマーは水路表面が十分に乾いてから塗布する（表面水分量 5%以下）。

プライマーは、アクリル樹脂やエポキシ樹脂を利用する。塗料メーカーがプライマー用としている製品を選ぶ。塗布量は、製品の標準使用量とする（写真 3.5）。塗布は、スプレーもしくはローラーで行う（写真 3.6、写真 3.7）。スプレーを用いる場合は防塵マスクを装着することが望ましい。

 <b>GOLDSTAR ACRYLIC PRIMER</b>		 <b>GOLDSTAR HI BUILD EPOXY PRIMER</b>	
Type	: GOLDSTAR ACRYLIC Primer (water-based) primer to provide a sealing base for top coats.	Type	: Two coat Hi Build Epoxy Primer for long life protection.
Salient Features	: Improves inter-coat adhesion between successive fully and less coats.	Salient Features	: Combs for easy hand finishing with a roller, or for application with a brush, or with a sprayer. Good resistance to wear, abrasion, chemicals & water. Good inter-coat adhesion.
Field of Application	: Can be used on previously painted surfaces, concrete, adhesion on any other substrate. Excellent base for smooth dry interior surfaces when over coating with high build latex paints.	Field of Application	: To be used on all Granulated metals where excellent inter-coat adhesion is needed for top coat.
<b>Technical Information:</b>		<b>Technical Information:</b>	
Finish	: Smooth	Finish	: Matt
Colors/ Shades available	: White	Color	: White/Green
Drying Time	: Touch dry - 30 minutes, recoatable 4-5 hrs.	Drying Time	: Surface Dry 1 - 2 hrs, Hard Dry - 24 hrs.
Substrate	: All types of	Specific gravity (density)	: 1.08 - 1.02%
Coverage	: 6 - 12 m <sup>2</sup> / liter (cool, depending on surface)	Thinner	: Hi Build epoxy primer for mixing & cleaning.
Flash point	: H.A.	Viscosity	: 7 - 12 cps
Specific gravity	: 1.25 - 1.27	Coverage	: 4 - 10 m <sup>2</sup> / liter / coat (depending on surface).
Thinner - for mixing & cleaning	: Mixing - clean water	Flash Point	: Approx 21°C
Surface Preparation - Tooling	: Ensure that surface is clean, dry and free from oil, grease, salt, etc.	Roller	: 50-100 Star (After additional roller) - undercoat.
Application	: Brush / Roller / spray	Mixing ratio	: 1:1 by volume
Packaging	: 4 Litres / 20 litres	Application	: Spray / Brush / Roller
Storage	: Store in a cool & dry place	Surface Preparation	: Ensure that surface is clean, dry and free from oil, grease, salt, etc.
Shelf life	: 1 year	Packaging	: 4.5 Litres / 20 Litres
Health & Safety	: Refer our Material Safety Data Sheet	Storage	: Store in a cool, dry place.
Precautions	: Keep the container closed after use. Do not intermix with other products.	Shelf life	: 1 year
		Health & Safety	: Refer our Material Safety Data Sheet.
		Precautions	: Keep the container closed after use. Do not intermix with other products.

写真 3.5 プライマーカタログサンプル（アクリルとエポキシ）



写真 3.6 スプレーガンによる塗装



写真 3.7 プライマー処理（アクリルプライマー）

## (5) Top coating

プライマーが十分乾いた（カタログで言う **Hard dry**）のち、上塗りを行う。上塗りは、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、アクリル樹脂などを利用する。樹脂による性能の差は認められていない（2021 現在）ので、入手しやすさ、価格から樹脂を選ぶ（写真 3.8）。塗布は、スプレーもしくはローラーで行う。

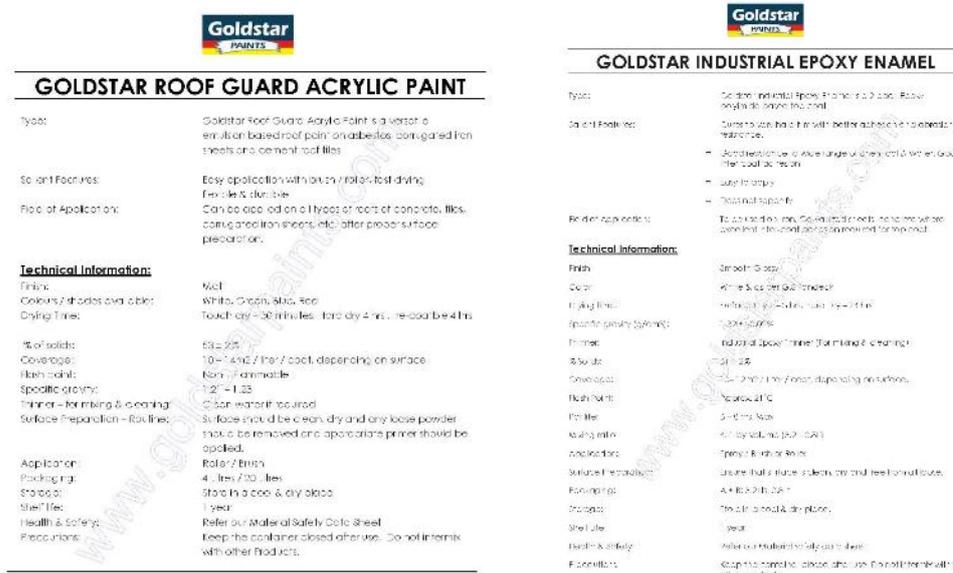


写真 3.8 トップコートカタログサンプル(アクリル,エポキシ)



写真 3.9 完成状況 (左 : アクリル、右 : エポキシ)

### 3.5. 維持管理

供用開始後に、藻が発生するので、水路表面を傷つけないように剥がす

- ・ 3ヶ月後（利用開始から3ヶ月後）に水路表面に藻が発生する（写真 3.10）。
- ・ 水の流れが藻により阻害されている
- ・ 粗度は悪化： 0.0155→0.0181
- ・ 水路表面が除去作業により傷つかないように、藻の除去には柔らかなブレードが付いたスクイージー（ブレードがウレタンで樹脂を傷つけない）を用いるのが良い（写真 3.11）。（50m、1hr/2 man、（写真 3.12、写真 3.13））



写真 3.10 藻発生状況



写真 3.11 スクイージー



写真 3.12 藻除去作業



写真 3.13 藻除去後

### 3.6. 効果

粗度は 14%減少する  
IRR は 20 %以上

水路表面被覆工の導入前後で粗度係数は 14%減少する（表 3.1）。

ローアモシ地区と同じ水路断面で水深が 0.6m の場合、流下量は 16%増加する。

ほ場の必要水量が 20mm（WRPD 11mm+loss）である場合、29.8ha に追加的にかんがいが可能となる。

耐用年数が 2 年以上で、施工延長が 4,000m 未満である場合、IRR（内部収益率）は 20%以上（実施可能）となる。

（維持管理 2 回/年、維持管理費 8.9USD/100m（試験施工実績））

表 3.1 施工前後の粗度係数変化と費用（ローアモシ）

	Before const.	After const.	Decrease rate	Cost (USD/m)
RS1-7	0.0184	0.0155	0.84	6
MS7-1 AA	0.0170	0.0148	0.87	6
MS7-1 EE	0.0139	0.0121	0.87	12
average	0.0164	0.0141	0.86	

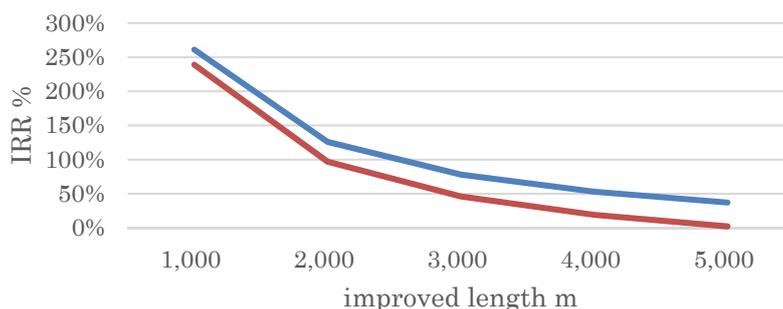


図 3.5 施工距離と IRR の関係

## 4. 土水路漏水対策

### 4.1. 必要性・効果

土水路（3次水路）の漏水量は、場所や土壌により大きく異なるが、その量は大きく、漏水対策を行うことで水利用効率は向上する。

- ローアモシ地区の場合、土水路からの漏水量は、乾季で109mm/h（図 4.1）、代かき期で27mm/h（図 4.2）である。これは、隣接するほ場の日消費水量換算で、それぞれ26.2mm、6.5mmに相当する。
- 下方への漏水を測定したところ、大きな漏水は観測されず、漏水の多くは側方から生じていると推察される（図 4.3）。
- 水路の側面だけ漏水対策を行うことは技術的に難しい。このため、土水路の漏水対策は、土水路全面に行うと効果が高い。

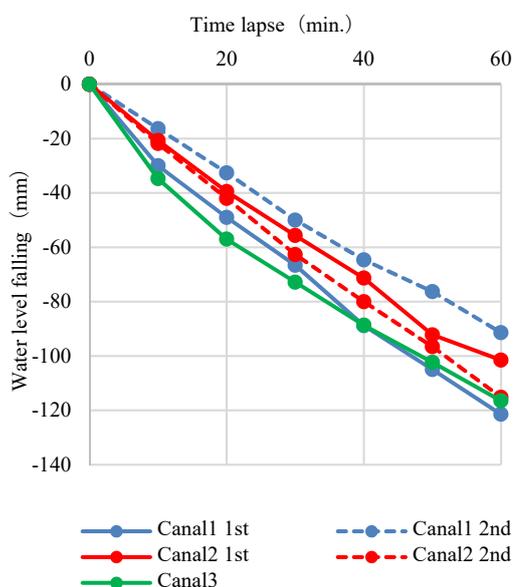


図 4.1 土水路の水頭試験結果（乾期）

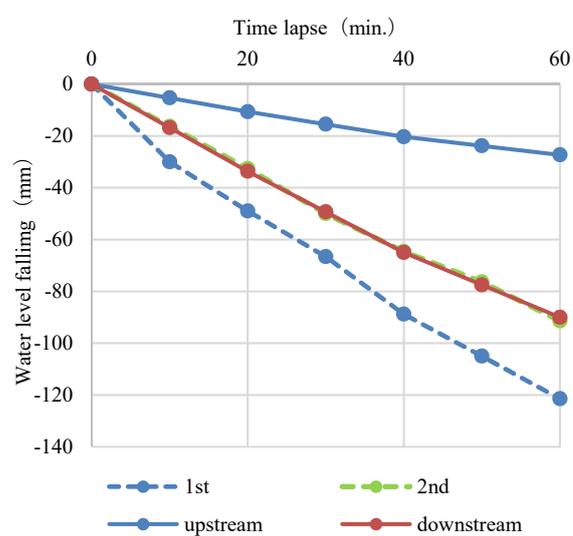


図 4.2 代かき期の土水路漏水試験結果（土水路 1）

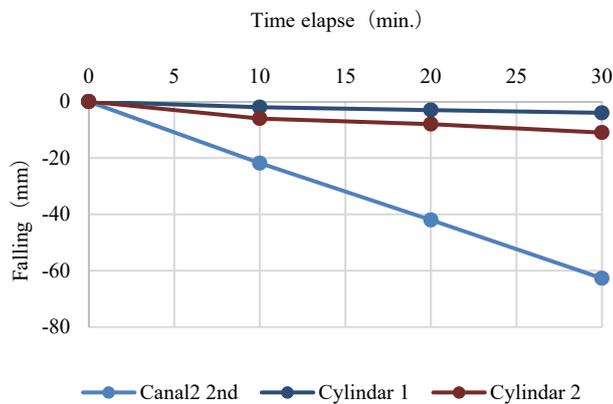


図 4.3 シリンダーインテークレート試験結果

## 4.2. 対策工の種類

土水路漏水対策として、次の4つの工法を紹介

- 1) コンクリートライニング
- 2) モルタルライニング
- 3) ジオメンブレンシート
- 4) ビニールシート敷設

- ローアモシ地区における4つの工法の費用（直接費）の実績を表 4.1 に示す。
- ビニールシート敷設の単価は、他の工法の10%程度である。ただし、ビニールシートは脆く、作期ごとにビニールシートを敷設する必要がある。
- 対策を行うことにより、(1) で示す漏水がなくなるとした場合、それぞれの工法の内部収益率（IRR）はすべて10%を超えている。ただし、タンザニア国の実質長期貸出金利は17%（JICA、2017）であり、ビニールシート被覆以外の工法を適用するときは、慎重な判断が必要である。

表 4.1 土水路漏水対策の直接費

	Length (m)	Price (USD)	unit price (USD/m)	IRR (%)
1) Concrete lining	90	4,416	49.1	12
2) Masonry lining	90	3,415	37.9	14
3) Geomembrane lining	90	4,322	48.0	13
4) Polyethylene sheet lining	90	361	4.0	-

・コンクリートライニングの厚さは7cmとしている。

・耐用年数、補修

コンクリートライニング：20年（5年後に初期費用の25%の補修）

モルタルライニング：20年（3年ごとに初期費用の25%の補修）

ジオメンブレンシート：20年（5年ごとに初期費用の25%の補修）

ビニールシート：1作（0.5年）

#### 4.3. 留意点

- ・ビニールシート敷設は、作付けごとに敷設しなおすため、廃棄物（前作期に使用していたビニールシート）の処理方法を検討しておく。
- ・土水路漏水対策は、対策を実施することで土水路の漏水がなくなり、下流で利用できる水の量が増える。このため、土水路漏水対策は、対策を実施した土水路に隣接するほ場には直接便益が発生しない。特に3次水路の維持管理は、隣接するほ場の農家が行うことが多いが、維持管理の主体である隣接するほ場の農家が直接便益を受けることがないので、対策を実施する際には、費用負担方法について検討が必要である。

#### 4.4. 材料と施工手順

ここでは、ビニールシート敷設手順を紹介する。  
 ビニールシート敷設以外の工法は、タンカイドマニュアルや類似するマニュアルを参照。

(1) 材料・道具・費用内訳

(a) 材料

土木用ビニールシート（巻物）

釘

(b) 道具

ショベル（水路掃除用）

ナイフもしくははさみ（ビニールシート切断用）

ハンマー

テープメジャー（参考）



(c) 費用内訳

(d)

表 4.2 ビニールシート敷設の費用詳細（USD:3 interval(90m)）

	Qt.	Unit	Unit price	Amount	
1 Site clearance	180	m2	0.2	36	90m*2m
2 excavation (trimming)	45	m3	1.56	70	90m*0.5m <sup>3</sup> /m
3 Polyethylene sheet	90	m	0.67	60	
4 Labor	7.2	person	8.89	64	50 m/ 4 persons
5 Materials	1	unit	12	12	20% of polyethylene sheet
6 supervise (engineer)	1.8	day	26.67	48	1 person/50m
7 Driver	1.8	day	22.22	40	
8 Fuel	17	L	1.11	17	6km/Litter, 25 km, One way
9 contingency	10	%	136	14	
Total				361	

## (2) 施工手順

### (a) 手順1 水路の掃除

土水路の掃除を行う。ビニールシートを敷設するためプラスチックや木片等の尖ったものは特に注意して除去する必要がある（写真 4.1）。

### (b) 手順2 シートの切断

土木用ビニールシートは円筒状になっているため、切断して開いて利用する。なお、市場ではロールにして売られており、ロール状になった円筒のどちらかを下にして売っている。このため、片方が擦れて劣化していることが多いため、切断時には劣化している方を切断する（写真 4.2）。



写真 4.1 水路のゴミ除去



写真 4.2 ビニールシート切断

### (c) 手順3 シートの仮置き

土水路にビニールシートを敷設する。このとき、水路の端の処理（末端処理）にある程度のシートが必要であること、また水路に凹凸があり敷設後に水を流すことによりシートが水路に圧着し、シート敷設延長が直線距離よりも長くなるため、1m程度の余裕ができるように仮置きする（写真 4.3）。

### (d) 手順4 シートの敷設

シートは、水路底に圧着するように人がシートを敷設した水路底を踏みながら設置する（写真 4.4）。シートの両側は、長い釘（5cm以上）で止める（写真 4.5）。なお、シートは引っ張りに弱いため、釘を止める場所は二重にする、ビニールテープを貼るなどで補強する。また、敷設時にシートに穴が開いている場合はビニールテープで補修する（写真 4.6）。



写真 4.3 仮置き  
(分水工に余裕分 (1m 程度))



写真 4.4 敷設  
(水路底に圧着するよう踏み均す)



写真 4.5 ペグ打ち (釘)



写真 4.6 シートの補修

#### (e) 手順 5 末端処理

水路の両端は、コンクリート分水工やヒューム管になっている。それぞれに形式に併せて末端の処理を行う。上流側は、処理がうまくないと、水がシートの下を通過して漏水防止にならない。このため、慎重に処理を行う必要がある (写真 4.7)。下流側は水が流れる方向であるため、石を置いて浮き上がりを防止する程度で問題ない。

#### (f) 手順 6 確認

ビニールシートの敷設が完了すると、水を流して漏水などの不備がないか確認する (写真 4.8)。特に、末端処理を行った場所は注意深く確認する。



写真 4.7 末端処理  
(水路蒸留)



写真 4.8 完成状況

## 5. 分土工更新

### 5.1. 必要性・効果

分土工は劣化すると漏水が起き、かんがいの必要がないサブブロックへ無駄な水が流れる。分土工を更新することで無駄水が減少し、水利用効率が向上する。

- ・ ローアモシ地区の場合、建設当初（1987）から分土工の更新はされておらず、劣化が激しい（写真 5.1、写真 5.2）。
- ・ 分土工に漏水があると、分土工から漏れた水は、その日にかんがいが割り当てられていないサブブロックに流れる。
- ・ 分土工に漏水があると、水管理が効率的にできない（必要なほ場にかんがいできない）ほか、利用されない水は排水路を經由して地区外に排水される。
- ・ 分土工の漏水は、堰板周辺と周辺部に分かれる。このため、分土工の更新は、1) 堰板を新しいものに交換する、2) 分土工全体を新しいものにする、の2とおりがあある。
- ・ 漏水状況に応じて対策を選択する。



写真 5.1 水工劣化状況



写真 5.2 水工劣化状況を利用者が説明

## 5.2. 更新の必要性（初期条件調査）

更新が必要かどうかは、分土工の漏水量を測定して判断する。

分土工の更新（堰板のみの更新、もしくは分土工本体の更新）が必要かどうかは、分土工からの漏水量を測定して決める。更新の便益が更新費用を上回る場合、分土工は更新する。分土工からの漏水量測定手順は以下のとおりである。

### (1) 既存の堰板を用いる場合

- ❖ 分土工の全ゲートを既存の堰板で閉じる（写真 5.3）
- ❖ 分土工の深さを計測する（写真 5.4）
- ❖ 分土工の最大水深の80%まで水を入れる（写真 5.5）
- ❖ 以下の手順で水深減少量を計測する
  - ・ 計測間隔を決める
  - ・ 経過時間を測定するためにストップウォッチを動かす
  - ・ 決められた計測間隔で水位減少量を記録する
  - ・ 水位減少がなくなるまで継続する



写真 5.3 ゲート閉戸



写真 5.4 水深計測



写真 5.5 水入れ

## (2) 新しい堰板を用いる場合

- ❖ 分水工の全ゲートを新しい堰板で閉じる (写真 5.6)
- ❖ 分水工の深さを計測する
- ❖ 分水工の最大水深の80%まで水を入れる (写真 5.7)
- ❖ 以下の手順で水深減少量を計測する
  - ・ 計測間隔を決める
  - ・ 経過時間を測定するためにストップウォッチを動かす
  - ・ 決められた計測間隔で水位減少量を記録する
  - ・ 水位減少がなくなるまで継続する



写真 5.6 新しいゲート挿入



写真 5.7 水入れ

## 5.3. 既設の分水工の撤去

既設の分水工は破壊もしくは他の適当な方法で撤去する。また、コンクリートガラは適切に処理する。以下は撤去の手順である。

- ・ 工事着手前にレベルを計測する (写真 5.8)
- ・ 周辺の土を除いて構造物を掘り出す (写真 5.9)
- ・ 掘削した土壌、材料を取り除き、適切な場所に置く
- ・ 既設の分水工をクレーンやウィンチを用いて取り除く、もしくは構造物を適切な機器で破壊する (写真 5.10、写真 5.11、写真 5.12、写真 5.13)
- ・ 取り除いた分水工は保管する (クレーンで撤去した場合)、もしくは材料を適切に処理する (破壊した場合)



写真 5.8 測量



写真 5.9 掘削



写真 5.10 分水工除去-1



写真 5.11 分水工除去-2



写真 5.12 分水工除去-3



写真 5.13 取り壊し

## 5.4. 材料と建設方法

建設工事は、このマニュアルの他、サイトハンドブック（NIRC）に準じて実施する。

### (1) 関係機関との意思疎通

かんがい地区において建設準備を行う前には、かんがい地区の調整役（Coordinators）、管理者（scheme Managers Irrigators）、かんがい組織（Irrigators Organization (IOs)）、地元政府、農家ほか、あらゆる関係者と意思疎通を図るなどの準備をする必要がある（写真 5.14、写真 5.15）。これらの関係者と会議を行う主な目的は、参加者が現状としてどのような事態となっているのか気づき、共通理解を得ることである。

さらに、政府技術者にとっても、かんがい地区の現況を把握する良い機会となる。



写真 5.15 説明風景-1



写真 5.14 説明風景-2

## (2) 材料と機器

セメント	砕石	砂 (BS 8110)
ショベル	ホー	ハンマー
木材	釘	防水ボード
ツルハシ	BRC メッシュ	レベル

- コンクリートの種類：Class A
- 28日圧縮強度：25 N/mm<sup>2</sup> (255kgf/cm<sup>2</sup>), 粗骨材最大寸法：20 mm, 水セメント比 (W/C) 50%
- コンクリート厚さ：7 cm
- アンカー
- コンクリートアンカーは分土工と金属製の堰板をつなぎ止めるため、分土工の上部に取り付ける。

新しい分土工の断面は既設と同じとする。コンクリートの厚さは施工の容易さを考慮に入れて7cmから10cmに変更しても良い。

### (3) 施工手順

#### 1) 準備

- ❖ 新しい分水工を建設する前にレベルを確認する (写真 5.16)

#### 2) 掘削

- ❖ 型枠を容易に設置するために掘削を行う
- ❖ 新しい分水工を設置するため、掘削断面の成形を行う (写真 5.17)

#### 3) 分水工の底版工

- ❖ 型枠を設置する
- ❖ BRCメッシュを設計どおり切断、配置を行う (写真 5.18)
- ❖ コンクリートを練り、基礎に厚さ10-15cmで打ち込む (写真 5.19、写真 5.20)
- ❖ 基礎コンクリート打設後約24時間は、次の作業を行わない
- ❖ きれいで十分な量の水で基礎を養生する



写真 5.16 測量



写真 5.17 掘削



写真 5.18 鉄筋調整



写真 5.19 コンクリート作業-1

#### (4) 分水工の側壁工

- ❖ 設計どおりに型枠を組み立てる (写真 5.21)
- ❖ コンクリートを練る (機械練りもしくは手練り)
- ❖ 型枠にコンクリートを打ち込む (コンクリートを締め固めるためにあらゆる手段で振動を与える) (写真 5.22、写真 5.23)
- ❖ 型枠はコンクリート打設から2-4日後に外す
- ❖ 養生は5日以上行う
- ❖ 埋め戻し、良く締固めを行うとともに、構造物周囲の整形を行う (写真 5.24、写真 5.25)



写真 5.20 コンクリート作業-2



写真 5.21 型枠組立



写真 5.22 コンクリート打ち込み



写真 5.23 コンクリート作業-3



写真 5.24 埋め戻し



写真 5.25 周囲調整

## 5.5. 効果

- 現況のローアモシ地区における分土工の漏水測定結果は表 5.1 に示すとおり。
- 堰板更新による漏水量変化：4.5 m<sup>3</sup>/h (54 m<sup>3</sup>/12h) →3.6m<sup>3</sup>/h (43 m<sup>3</sup>/12h)
- 堰板更新により 11m<sup>3</sup>/12h の漏水が抑制される：540 m<sup>2</sup>にかんがいする量に相当（日減水深 20mm）
- 分土工の費用：374 USD (1 基あたり), 水田稲作による収入：1,350 USD/ha
- 分土工掛かりのサブブロック、下流のブロックともにかんがいする場合は、分土工からの漏水があっても、ブロック全体としての水の損失はない。
- 一方、分土工掛かりのサブブロックでかんがいが行われておらず、下流のサブブロックでかんがいが必要な場合、分土工は一方のゲートを閉める。このためこのようなケースでは漏水が発生する（逆も同じ）。
- 図 5.1 は、MS5-1 のブロック模式図である。この図において、数字はほ場番号を示し、肌色は水路を示す。また、四角の着色は分土工を示す。数字にみどりの色が塗ってあるものは 2020 年 8 月 23 日にかんがいを実施していたほ場である。
- 図 5.1 に基づき、漏水量を推定したのが図 5.2 である。ここで 1 ほ場のかんがいは 6 時間必要であり、同一土水路がかりのかんがいほ場が 4 つまでは、ほ場のかんがいを複数行わないものとした（漏水が最も少ない条件）。水路を利用していない時間（図 5.2 で赤く塗った時間帯）は分土工からの漏水が発生するものとして、漏水量の推定を行った。
- 1 つの分土工の漏水量を 4.5m<sup>3</sup>/h として、日別に漏水量の計算を行った（図 5.2 は 2020 年 8 月 23 日の例で、270 m<sup>3</sup>）ところ、表 5.2 のように平均 53.6m<sup>3</sup>/d であった。
- 1 ブロックあたり 4 基の分土工がある場合、分土工の費用は 1,496 USD である。4 基とも更新した場合、53.6m<sup>3</sup>/d の水が節約され、追加的に 0.267ha (53.4/0.02) にかんがいが可能となる。これにより収入が 360 USD 増加する。
- 分土工の耐用年数が 10 年である場合、内部収益率（IRR）は 28 %である。

表 5.1 分水工漏水試験の結果 (MS5-1)

	Original board		New board	
	water level decrease cm/min	Leakage vol m <sup>3</sup> /h	water level decrease cm/min	Leakage vol m <sup>3</sup> /h
Division box 1	not ponding	-	2.2	3.0
Division box 2	3.5	4.7	3.0	4.1
Division box 3	3.8	5.1	2.9	3.9
Division box 4	2.8	3.8	2.1	2.8
Ave		4.5		3.6

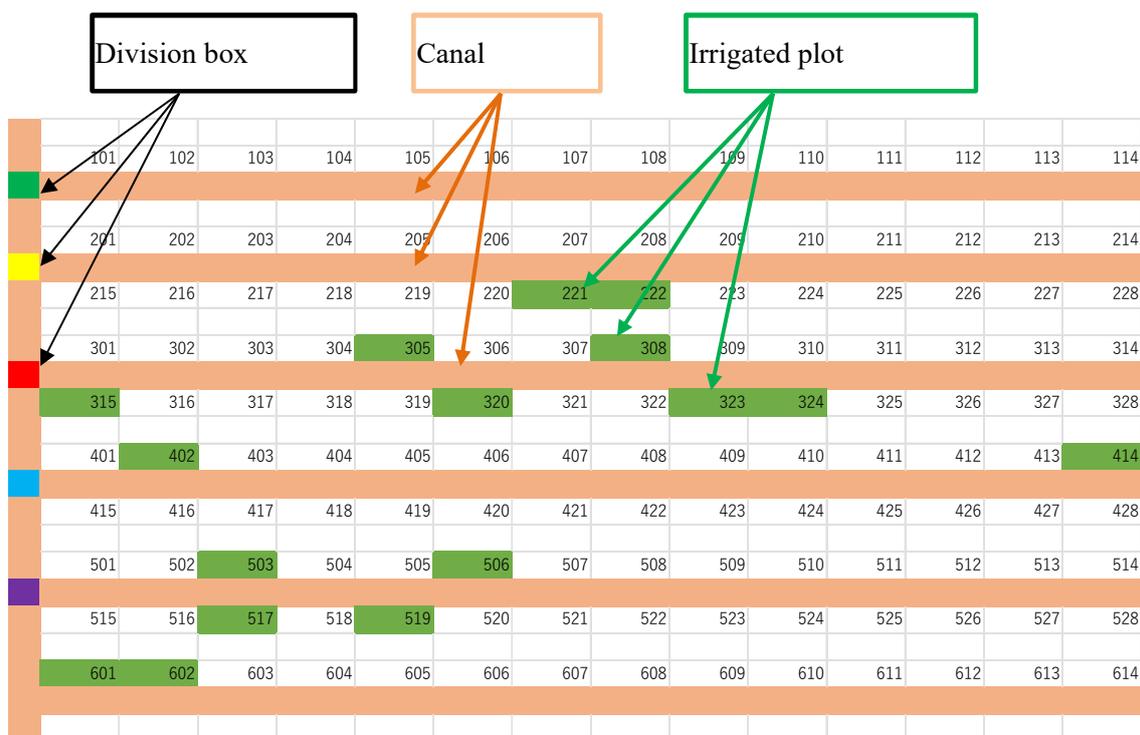


図 5.1 MS5-1 の模式図

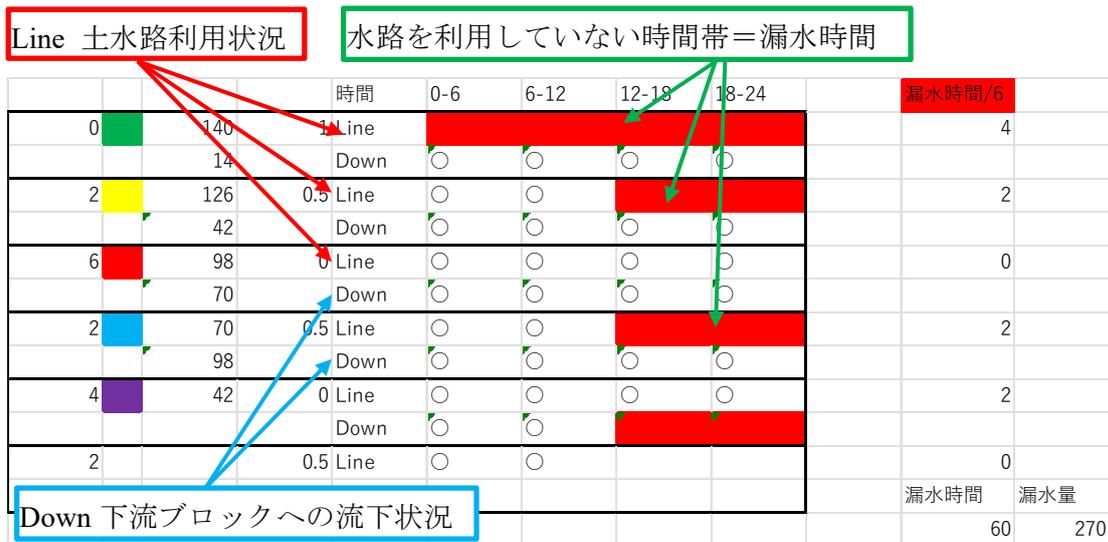


図 5.2 漏水量、漏水時間の推定令 (2020年8月23日)

表 5.2 分土工漏水量試算

日付	漏水量	日付	漏水量
21-Aug	81 m <sup>3</sup>	29-Aug	162 m <sup>3</sup>
22-Aug	297 m <sup>3</sup>	30-Aug	297 m <sup>3</sup>
23-Aug	270 m <sup>3</sup>	31-Aug	378 m <sup>3</sup>
24-Aug	432 m <sup>3</sup>	1-Sep	324 m <sup>3</sup>
25-Aug	270 m <sup>3</sup>	2-Sep	216 m <sup>3</sup>
26-Aug	216 m <sup>3</sup>	ブロック全体平均	268 m <sup>3</sup> /d
27-Aug	297 m <sup>3</sup>	分土工	5 カ所
28-Aug	243 m <sup>3</sup>	分土工 1 カ所当り	53.6 m <sup>3</sup> /d

## 6. 破碎転圧工法

### 6.1. 必要性・効果

#### (1) 通常かんがい期（移植から収穫まで）

ほ場の漏水が少ないと、かんがい必要水量が減少、同じ水の量でかんがいできる面積が増加する。また、施用した肥料が植物に使われることなく下方に失われる量が減少し、肥料の有効利用にもつながる。

- ・ ほ場の水消費水量は減水深と呼ばれ、蒸発量や植物が吸収する量、ほ場の下方や側方への漏水量などで構成される。
- ・ ローアモシ地区の場合、平均減水深は 11mm/d（21 ブロック、単純平均）である。
- ・ 減水深は、ブロックや作物生育ステージにより 8-20mm/d と異なる。
- ・ 同じブロックでも、ほ場により異なる。減水深の大きなほ場は 30mm/d 程度である。
- ・ 漏水が大きなほ場において、漏水対策実施すると減水深が減少し、かんがい必要水量が減少する。
- ・ たとえば、漏水が大きいほ場（減水深が 30mm）において漏水対策を実施して、減水深が 25mm に減少すると、かんがい必要水量が 5mm 減少する。
- ・ 漏水対策を 1ha 実施することにより 5mm/d の漏水が抑えられ、ほ場の減水深（平均）が 11mm/d であるとする、追加的にかんがいが可能となる面積が 5/11ha 増加する。

## (2) 代かき期

ほ場の漏水が少ないと、代かき用水量が減少、同じ水の量で代かき可能面積が増加する。

- ・ 一般に代かき前は、水田土壌が乾燥しているため、代かきを行うに十分な状態（水田が湛水状態になる）にするためには、多くの水が必要である。
- ・ 特に、湛水するまでに硬盤層以下に浸透する深部浸透量が代かき水量に占める割合が大きい。
- ・ ローアモシ地区の場合、深部浸透量は平均 180mm である。また、深部浸透速度は 0.05～0.06m/h である。
- ・ 深部浸透速度は、耕盤を締め固めることにより減少する。
- ・ 深部浸透速度と漏水量の関係は、表 6.1 のように推定される。
- ・ ほ場（0.3ha）当り漏水量は、深部浸透速度が 0.06m/h の場合、900m<sup>3</sup>であるが、深部浸透速度が 0.01 に改善すると漏水量は 58m<sup>3</sup>まで減少する。

表 6.1 深部浸透速度別の湛水（=3,000 m<sup>2</sup>）までの漏水量

	実測	深部浸透速度 (m/h)					
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
全面湛水までの時間 (時間)		3.7	4.0	4.5	5.0	5.9	7.7
取水量(m <sup>3</sup> )	1,268	778	848	942	1,066	1,257	1,621
湛水量(m <sup>3</sup> )	281	281	281	281	281	281	281
耕土層水分保持量(m <sup>3</sup> )	440	440	440	440	440	440	440
硬盤層以下への漏水量 (m <sup>3</sup> )	547	58	127	222	345	537	900

## 6.2. 破碎転圧工法

一般にトラクターの踏圧や耕起により硬盤層（難透水層）ができる。火山灰土のように上からの圧力だけでは締固められにくい土壌では、破碎転圧工法を実施する。

- ローアモシ地区はキリマンジャロ山の麓にあり、火山灰土を含んでいると思われる。
- 火山灰土は、高い透水性を示す発達した土壌構造が、強い支持力を発揮するため、圧縮だけではその構造を破壊し間隙率を低下させることはできない（山崎、1971）。
- このため、破碎により間隙構造を破壊した上で転圧を行う工法（岩手大学、1986）の有効性を試験することが望ましい。
- 破碎転圧工法は、火山灰土に対して有効な工法であるが、費用がたかい。このため、採用にあたっては、予めその効果を試験することが重要である。

### 6.3. 施工手順

- (1) 表土扱い
- (2) 硬盤層破壊
- (3) 締固め
- (4) 表土戻し

#### (1) 表土扱い

破碎転圧工法は、硬盤層を破壊して、締固めを行う工法である。このため、硬盤層の上層にある耕土層を一旦剥ぎ取る必要がある。剥ぎ取った表土は、どこかに仮置きする必要がある。遠方にダンプで運ぶと費用がかかる。このため、表土はぎは施工するほ場の半分だけ行い、剥いだ土を残りの半分に仮置きする（図 6.1）。

表土はぎには、ブルドーザを使用する。ブルドーザの能力（出力）が小さいと、表土剥ぎに時間がかかるほか、表土が硬い場合には、剥ぎ取りができない。このため、なるべく大きな規格のブルドーザを用いる（ローアモシのケースではD5）。表土の厚さは、あらかじめ試掘などを行い決めると良い（ローアモシの場合は20cmとした）。

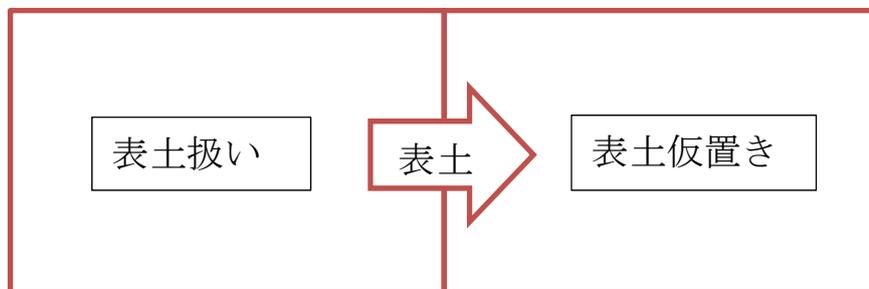


図 6.1 表土仮置き

#### (2) トラクターによる硬盤層破壊

硬盤層は、ロータリープラウを用いて破壊するが、硬盤層が硬い場合は、ブルドーザのリッパを用いて破壊する。ロータリープラウは、ほ場の耕起を行う際に利用しており、農家にとっては一般的な機械である。このため、費用は安い。

一方、ブルドーザは普段農家が利用することはなく、道路の建設等で使用される。また費用もトラクター+ロータリープラウより高い。このため、極力ロータリープラウを用いる方がよい。施工時期は、代

かき直前より、ほ場に若干水分が残っていて、硬盤層が硬くなっている、収穫直後が望ましい。



写真 6.1 ブルドーザー (D5)



写真 6.2 表土処理



写真 6.3 ロータリープラウ



写真 6.4 表土破碎状況



写真 6.5 ロータリープラウでは硬い土層



写真 6.6 リッパーによる破碎

### (3) ブルドーザの履帯（キャタピラ）による締固め

硬盤層を破碎したのち、破碎した土壌をブルドーザの履帯で締固める。締固め回数により、施工時間が変わる。施工時間が長いほど、施工費用は高くなる。このため、締固め回数と漏水減少量についてあらかじめ試験施工を行い、施工対象地区の締固め回数を決める。

表 6.2 はローアモシ地区における試験施工の結果である。ローアモシ地区では締固め回数が 1 回でも 3 回でも施工後の減水深に大きな差はなかった。このため、当地区では、締固め回数を 1 回とした。なお、締固めは最適含水比（締固め密度が最も高くなる含水比）近くで行うことが良い。ローアモシ地区では、最適含水比はおおよそ 22% である（図 6.2）。最適含水比は土壌により異なることから、予め土の締固め試験（ASTMD1557、BS1377）を行い、数値を得ておくことが望ましい。



写真 6.7 締固め

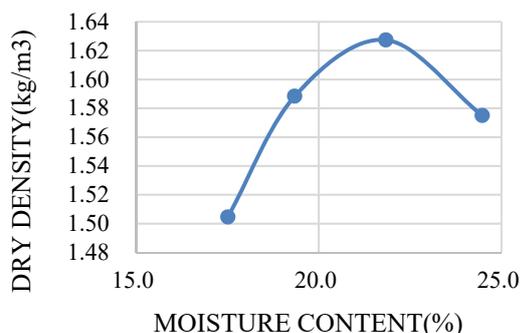


図 6.2 締固め曲線（ローアモシ）

表 6.2 破碎転圧施工後の日減水深

		before	10 <sup>th</sup> Oct.	11 <sup>th</sup> Oct.	12 <sup>th</sup> Oct.
A1 compact 1	N type	26.5	30	13	14
	Plot		32	16	16
A2 compact 2	N type	27	20	12	10
	Plot		23	13	10
A3 compact 3	N type	17.5	30	10	13
	plot		25	18	13

### (4) 表土戻し（ブルドーザ）

締固めが終了したら、表土を仮置きしていた場所から、ブルドーザを用いて表土を戻す。戻し終わったら、表土仮置きを行っていた場所の破碎転圧を行う。

## 6.4. 効果

ローアモシ地区における農家ほ場での実証試験結果は以下のとおりである。試験施工は連続する5つのほ場で実施した。両端は対照区とした。

表 6.3 に示すように、破碎転圧を実施したほ場（409～413）の平均日減水深は 17.0mm から 12.0mm ～ 5.0mm（29%）減少した。一方、未施工ほ場は 15.5mm から 18.0mm とわずかに上昇した。

このことから、ほ場の漏水が大きくないほ場でも、29%程度漏水量が減少することがわかった。

ローアモシ地区の平均日減水深は 11.3mm であるので、破碎転圧工法を実施することにより 44%（5.0/11.3）かんがい可能面積が増加する。

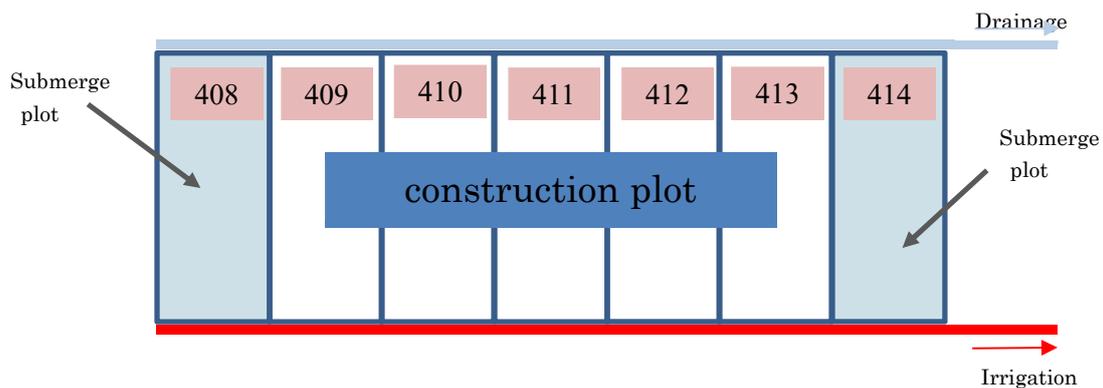


図 6.3 試験施工ほ場のイメージ(中心ほ場が最大漏水)

表 6.3 破碎転圧工法実証試験結果（ローアモシ地区）

	409	410	411	412	413	Ave.	408	414	Ave.
Before	22	17	15	14	17	17.0	13	18	15.5
After*	13	11	12	12	12	12.0	18	18	18.0

\* Without first day

## 6.5. 費用対効果

ローアモシ地区の費用対効果は以下のとおり

- ・ 破砕転圧工法による減水深の改善効果は平均で 5.0mm/d
- ・ ローアモシ地区全体の平均減水深は 11.3mm/d
- ・ 破砕転圧を 1ha 実施することで節約される水を用いて 0.44ha (5.0/11.3) の追加かんがいが可能
- ・ 試験施工費用 5,888 USD/ha (2019 価格) (表 6.4)
- ・ 水稻栽培の所得 1,350 USD/ha (2019 価格)
- ・ 内部収益率 (IRR) は、10.0% (耐用年数 20 年) である。実施可能性については、検討時の国の長期金利や耐用年数の取り方等により、検討を要する。(経年変化での劣化が想定しにくいため、耐用年数を 100 年 (日本国農林水産省の基準 <https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/attach/pdf/index-19.pdf>) とした場合の IRR は 11.6%、一方タンザニア中央銀行の金利は 8.2% (1 章) であり、実施可能性はある。)

表 6.4 破砕転圧工法の費用内訳

4	Construction	Volume	Unit price	USD	5 plots
4.1	Bulldozer	20day	266.7	5334	D5 Topsoil treatment 2 days, compaction 1 day, return soil 1 day
4.2	Operator	20day	22.2	444	
4.3	Fuel	1600L	1.1	1760	80KW*0.12L/hr*8hr=80 L/day
4.4	Tractor	5day	44.4	222	Heavy rotary harrow, including fuel, operator 1 day/plot
4.5	Labor	15man	4.4	66	assistant 1 man/day
4.6	Engineer	15day	26.7	401	
4.7	Government staff	5day	26.7	134	
4.8	Driver	15day	22.2	333	for Government staff
4.9	Fuel for car	125L	1.1	138	6km/Litter, 25 km, One way
	Total			8,832	/1.5ha
				5,888	/1ha

## 6.6. 収量への影響

KATC 内ほ場にて減水深の変化による収量の影響を調査したところ、概ね通期平均が 10-30mm の範囲においては、明確な収量への影響が見られなかった（図 6.4～図 6.7）。



写真 6.8 試験風景

- ・上記の減水深には、地下浸透量、蒸発量、蒸散量を含み、降水量を含まない。調査した品種は NERICA 及び SARO5 である。
- ・収量その他、登熟歩合、穂数、千粒重、稈長にも差は見られなかった。
- ・そのため、減水深を低めかんがい面積を増やすことによって地域全体の増収が期待できる可能性がある。

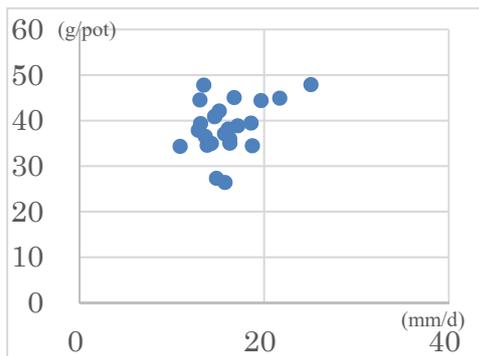


図 6.4 2019 年 (NERICA,25 鉢)

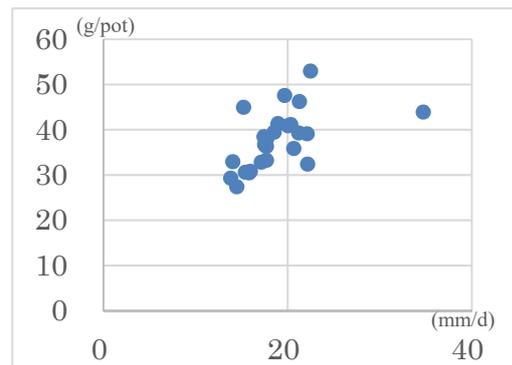


図 6.5 2019 年 (SARO5,25 鉢)

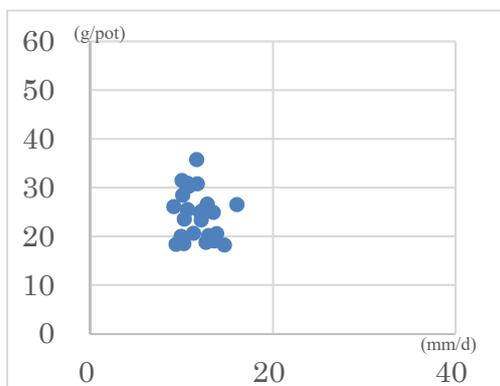


図 6.6 2020 年 (NERICA,25 鉢)

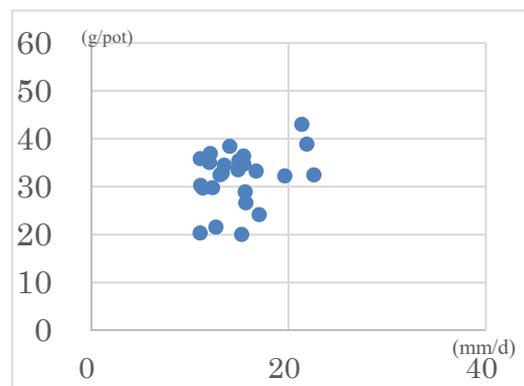


図 6.7 2020 年 (SARO5,25 鉢)

## 7. 節水栽培

### 7.1. 必要性・効果

かんがいイネを節水栽培することにより、農業用水の利用を効率化できる場合がある。

イネの栽培型としては、かんがい水田、天水低地、天水畑作がある。かんがい水田におけるイネの栽培では一般に大量の水が必要とされるが、用水量は栽培する品種の生育期間によって異なる（モシでは1日当たり最低12mm必要とされる）。

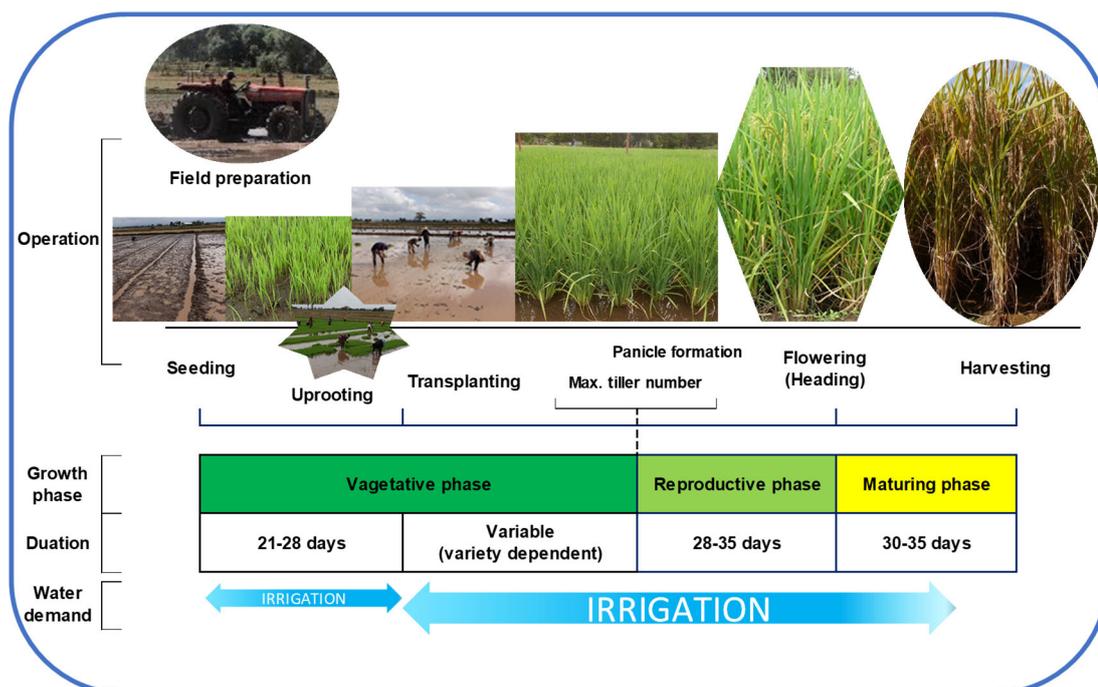


図 7.1 ほ場作業、イネの生育段階とかんがいを必要とする期間

- かんがい地区への水の供給量が低下した、或いはかんがいを必要とする農地面積が増加した場合、用水利用を効率化する必要がある。
- 最も水を多く必要とするかんがい水田における水稲栽培に節水栽培を導入することにより、用水利用の効率化を図ることができる可能性がある。

## 7.2. 節水栽培の手法

かんがい水田で節水するための手法としては、以下が考えられる。

- 1) かんがい水田から畑ほ場への転換による陸稲栽培
- 2) かんがい水田から畑ほ場への転換による他作物（トウモロコシ、野菜等）の栽培
- 3) かんがい水田における間断かんがい（AWD）の実施

- 一般に、水田ほ場を畑ほ場に転換して陸稲栽培を実施する場合、コメの収量は低下する。
- 水田を畑ほ場に転換し、補助的にかんがいをしながらの栽培を想定するのであれば、陸稲は勿論、他の作物を栽培する場合にも、土壌の性質やかんがい水の水質を考慮する必要がある。かんがい水の質が悪ければ作物の生育障害を招くかも知れない。
- さらに、陸稲栽培では、かんがい水田における水稲栽培と異なり、連作障害が起こる。そのため、輪作体系を構築する必要がある。
- かんがい水田において AWD を実施した場合、定法である常時湛水栽培に比して収量を減らさず、かんがい水量を減らすことが可能な場合がある。

### 7.3. かんがい水田における間断かんがい（AWD）の導入

AWD の導入にはいくつかのほ場条件が必要である

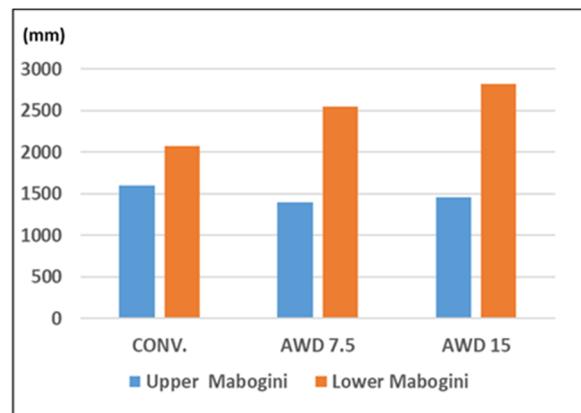
- AWD における水管理では、ほ場の水位が徐々に下がり、土壌も徐々に乾燥する。そのような状態の際、土壌によっては容易にヒビ割れが入り、そのヒビが深くなるとその底から漏水が始まる場合がある。漏水が激しくなるとかんがい頻度も高くなり、結果として節水どころではなくなってしまう。従って、土壌の性質を良く見極める必要がある。
- キリマンジャロ州モシかんがい地区内のアップーマボギニ地区とローアマボギニ地区は近い距離にあるため、土壌の性質はよく似ている。
- アップーマボギニにおける調査では、かんがいをする時機を、湛水面が-7.5cm にした場合と-15cm にした場合の双方で節水に効果的であった。しかし、同じモシのローアマボギニでは結果が異なっていた。

図 7.2 AWD 処理の節水効果 (mm)

Conv : 湛水面を常時地上 0 - 5 cm に保って栽培する

AWD-7.5 : 湛水面が地下 7.5cm まで低下したらかんがいを行う

AWD-15 : 湛水面が地下 15cm まで低下したらかんがいを行う



- AWD は乾燥した時に著しく収縮する重粘土土壌のほ場には向いていない。しかし、アップーマボギニのような条件では 10%程度の節水ができた。

イネの栽培方法については、タンライスマニュアル（2011）を基本とし、AWDの手法を織り込む。

- AWDは移植後の作業である。節水栽培でもコメの収量を最大限に確保するためには、栽培マニュアルに沿った手順に従う必要がある。

### 品種の選定とAWD

- KATCほ場においてタンザニア国内或いはアフリカ地域で栽培される18品種、CHEREHANI, WAHIWAHI, AFRIHIKARI, IR 64, KILOMBERO, SUPA, IR 54, KOMBOKA, KAHOGO, KALAMATA, SATO 9, TXD 220, SATO 1, TXD 306, TXD 88, SATO 6, TXD 85, TXD 307、を用いた調査では、AWDによる収量の有意な低下は認められなかった。

## 7.4. AWDを始める前に

### 健全な育苗と良い移植苗の準備

- 健全で丈夫なイネの育苗には苗床への適量の施肥が必要である。播種量が多いと苗は徒長し、組織は軟弱となり、簡単に折れたり千切れたりする苗になってしまう。イネの栽培マニュアルに従って健全な苗代を準備することを心がけなければならない。以下に述べるのは苗取りの労力を少なくするために気を付けると良い点である。
- 共同ほ場で育苗を行う際には、苗床は湿った状態に保つ必要がある（苗床の土を乾燥させないようにする）。苗床を乾燥させる

とその土は非常に硬くなり、苗取りの際に苗を引っ張ると根を簡単に痛めてしまう。根の付いている健全な苗は移植後の生存率も高く、数日で新たな根を伸ばし、活着する。



写真 7.1 乾燥した苗床  
苗取が大変

- 特に気を付けなければならないのは、育苗中に自分の苗代にだけ追肥をしようとする時である。

通常追肥時には肥料が水に溶けてしまうのを避けるためにかんがいを止める、或いは落水してしまう。施肥の際に簡単な畔を作ってやると苗床を乾燥させず、施肥も効果的に行うことができる。

### 水漏れのないほ場の準備

- ほ場準備の際には、畔にできた蟻の巣穴、他の昆虫やネズミによる穴やヒビ等を埋めるといった、基本的な畔の管理を行う必要がある。
- 土水路内の内張等の農業土木的な管理作業については、別章を参照して対応する必要がある。

### ほ場の畔と均平

- かんがい水を効率的に利用するためにはほ場の適正な畔の敷設が必要となる。
- 一次的な畔であれば高さは 30–40cm、幅は基部が 30–60cm ;
- 恒久的な畔であれば高さは 40–50cm、幅は基部が 130–160cm;
- 畔は締め固め、ヒビや湛水した際のかんがい水の滲出を防ぐ必要がある。
- ほ場を広げようとして畔を削ると畔は薄くしなってしまう。そのような畔は歩くだけで簡単に崩れてしまうように脆くなり、漏水に繋がってしまう。

- ・ 可能であれば、仕上げ代の前に柔らかい泥を用いて畔塗りをを行う。

### 道具を用いない均ぺい方法

- ・ 均一に傾斜したほ場の場合、均ぺい作業は非常に簡単である。高い部分の土壌は、水平になるまで低い場所に削って寄せます。これは、レーキや手ぐわ等の道具を使用すると簡単です。
- ・ 一通り平らに出来たら、ほ場に水を入れ、それがどのようになるかを観察する。低い部分は、より高い部分から土壌を寄せる。

### 田植えに向けた良質な苗の準備

- ・ 育苗の項で記したように、根が付いている健全な苗は移植後の活着率が高く活着も早い。活着が早ければ、分けつも早く進み、雑草との競合において優位性が得られる。
- ・ 熟練者による徒手田植えは非常に早い。そのため、健全な苗と傷んだ苗（根のない苗等）を選別しながら移植することは極めて困難である。従って、健全な苗を準備して、根のある苗を確実に植えてもらうことが、節水栽培のよいスタートにつながる。

### ツールの準備（オプション）

- ・ 穴をあけたパイプを用いると水位の確認に便利である。穴（5mm 程度）をあけた部分を網で包んで土壌中に埋め込む。埋め込む深さは AWD 処理の程度によって異なる。例えば、もしもかんがいのタイミングをほ場湛水面が地下 7.5cm (-7.5cm) であれば、地下に埋め込む部分は 15cm あれば充分である。
- ・ 適当なパイプがない場合には PET ボトルでも代用が可能である。しかし、使用した PET ボトルはそのままにせず（穴あきパイプも同様であるが）、収穫準備期にかんがいを止めたら直ちに

撤去しなければならない。



写真 7.2 穴あきパイプの例（左）；穴あきパイプによる地下湛水面の様子（中央、右）



写真 7.3 穴あきパイプの設置

## 7.5. AWD の開始

AWD は移植から 14 日後に行われる 1 回目の追肥の後に開始する

- AWD は移植されたイネの苗が新しい根を伸ばし、十分に活着してから実施する。苗の活着が遅れている場合、例えば苗令の進んでしまった苗や弱い苗を移植した場合等は AWD の開始は遅らせるべきである。
- 連続して湛水する場合には土壌表面が嫌気状態に保たれるため、雑草の生育は抑制される。しかし、AWD の場合は土壌が定期的に空気に曝露されるため、雑草は成長し易くなる。そのため、田植え後初期の雑草防除は非常に大切である。
- 1 度目の追肥は、移植 2 週間後が推奨されているので、除草はその前に行う。AWD は 1 回目の除草と 1 回目の追肥の後に開始するのがよい。
- 移植後に選択性の除草剤を散布することでイネの生育初期の雑草防除を実施する場合は、1 度目の追肥前の除草の必要性を検討する。処理が効果的であれば必要がないかもしれない
- 追肥は湛水した状態で行い、そのままの状態を維持すれば肥料は水に溶けて広がる。そのまま減水した後に AWD を開始する（肥料成分は土壌に留まる）。

## 7.6. AWD の管理

かんがいの時機は湛水面の位置で決める。

- 水位の確認にはパイプを埋設して湛水面を測定できるが（74 項を参照）、ほ場内に溝を切り、その溝内の水面の位置からも確認ができる（オプション\*）。  
\*溝切はほ場内に効率的に配水することができ、収量には影響を与えない。

\*溝を切った後は除草作業や追肥作業の際に踏みつぶしてしまわないように注意する必要がある。



写真 7.4 地下湛水面を測定するために埋設されたパイプ (左) と溝切機 (右)

- かんがいの日付、時間、その他の作業やほ場の様子などは記録しておく。イネは開花期には多くの水を必要とするので、その時期にはかんがい頻度が変わるはずである。
- 収穫予定日の1週間前にはかんがいを止め、収穫に備える。

#### Memo



Plants infected with RYMV



Nursery with dropped seeds germinated

Rice Yellow Mottle Virus (RYMV) はアフリカで広く見られる病気である。この病気は昆虫による媒介や、罹病した植物と健全な植物の物理的接触で伝染する。苗床やほ場に前作のひこばえや種子があると感染源となり易く、収穫物へのコンタミも招く。ほ場の準備をする前に一度ほ場に湛水し、4-5日放置して残ったイネやイネ種子を発芽させ、非選択制の除草剤で枯らすと良い。

## 8. 水管理

### 8.1. 水管理の課題（問題点を指摘）

かんがい計画未達成であり、多くの問題が指摘されている。そのため、水管理の面から問題点を調査した。水配分に関する監視体制の整備、水管理の意思決定方法の改善、さらに将来的な参加型灌漑管理導入について提言する。

- ・（計画未達成の事実）かんがい計画を見直した 1988 年以降、1,500ha のかんがい計画を達成したのは 1 年のみで、平均かんがい面積は 920ha にとどまる。かんがいの効果が十分に得られない状況が続いている。
- ・（過剰取水の事実）ローアモン地区のかんがい用水利用を調査した結果、過剰な取水が日常的に行われている。一方で、当初計画通りに作付けできない水田が存在するなど、効率的とは言えない水利用が行われている。
- ・（調整が行われていないことの事実）水管理は、ゲートキーパー、ウォーターマンが行っているが、データに基づいた水管理ではない。ゲートキーパー間で調整等が行われていない。
- ・地域の生産を最大限にするためには、計画通りの水配分を行うことが必要だが、水資源が限られ、計画通りの配分できない場合は、（水田の場合、受益面積を基準に賦課金を徴収している現状を踏まえ<sup>3</sup>）可能な限り平等に配分することが重要となる（佐藤ら 2007）。
- ・本項目では、水配分に関する監視体制の整備、水管理の意思決定方法の改善、さらに将来的な参加型かんがい管理導入について提言する。

<sup>3</sup> ローアモン地区の水利費は、ゲートの数、水路長の違いなどによって、block毎に若干異なる。マハンデ地区は面積を基準としている。

## 8.2. Central LOMIA が水配分を監視する（体制の整備）

Central LOMIA において、ローアモシ全体の水利用について調整を行う体制を構築する。ウォーターマスターを任命し、ゲートキーパーによる水配分を監視する。

- ローアモシ地区においては、5つのサブロミアが独立した状態で運営されている。5つのサブロミアの役員が集まるミーティングも開催されていない。
- 幹線水路、二次水路の水利施設はゲートキーパー3人が地域を分担して行っているが、相互に情報交換が行われているとは言えず、特に上流側においては必要水量を大きく上回る用水が配分されている。
- 5つのサブロミアの水利用を調整する組織として、**Central LOMIA** を位置づけ、サブロミア間の水利用を調整するとともに、現地における配分は、配水調整委員会またはウォーターマスターを設置し、業務にあたらせることを提案する。
- 企業的農場（ウサガラファーム）の取水について整理することが必要（排水なら取水しても問題ないのか、排水は河川にかえってくるべきではないのか）。

### 8.3. 水配分情報を把握できるようにする（情報の開示）

水配分は JICA の計画で決定されているが、計画かんがい面積は達成されていない。

水配分を確実に把握するため、分土工等のポイントに水位ゲージの設置等を設置し、取水量情報を把握できるようにする。

- ・ 上流ブロック優先で取水しているため、上流側は必要以上にかんがいしている実態がある。
- ・ 適正な取水量を確認できるようにするため、水路の水量情報を開示することを提案する。
- ・ 現在数カ所にパーシャルフルームが設置され、この場所で流量は確認できるが、開水路の分土工下流等のポイントにゲージを設置し、ゲートキーパーはこれを確認しながら水配分を実施する。

#### (参考)

- ・ タンザニアの法律
- ・ The National Irrigation Act (2013), Regulations (2015) :  
64. Every irrigation scheme shall install water gauge at abstraction points and division structures in order to ensure .....
- ・ エジプトでは、水位ゲージから農家は配水量を確認している。



写真 8.1 水位ゲージの事例（エジプト）

#### 8.4. 水配分計画の検討と用水管理体制の構築（将来構想）

将来的に水配分計画を見直す。水配分計画は、政府の関与のもと、農家（水利組合）の合議で決定する。  
新たな水配分計画を実現させるための用水管理は、決定、操作、モニタリング、フィードバックの4つのプロセスにより、最適な方法を探る。

- 現行の規則では、政府が承認した計画に基づき、かんがい・作付計画を水利組合が作成することになっている。政府の承認なしに農家は作付面積を変えることはできない。
- しかし、政府の一方的な決定・承認では、農家の節水意識を喚起することはできず、結果的に効率的な水利用は実現されない。農家の節水インセンティブを喚起するため、水配分計画の決定に利用者である農家の意思を反映させることが必要である。
- 水配分計画の決定は、基本的に農家自身が担うのが合理的であるが、水配分には地域的な対立があることもあり、地域代表の間での調整は簡単ではない。農家が合理的な判断を行うためには、必要な水文、水理、栽培等の科学・技術・農学的知識を政府の技術者が提供する必要がある。また、水利組合内での話し合いが、合理的に進められ、目標が実現できるよう誘導・助言・監視するのは政府の役割である。このように水配分計画は、政府と水利組合双方が関与する形で作成する。
- 施設の操作は、設定された計画に向け行われる必要がある。ウォーターマスターの指導の下、ゲートキーパーが行うことになるが、ブロック間の公平性を確保し安定的な操作を行うには、専門的な知識と技術が不可欠である。ゲートキーパーには所要のトレーニングを行う必要がある（あるいは、政府の職員が行うことも検討すべきである）。
- 水利用状況をモニタリングすることも必要（パーシャル・フリームでの水量測定に加え、ゲージ等を設置し、過剰取水がないか確認する）。さらには、モニタリングの結果、水配分を修正、さらに適正になるよう調整・調節を行う。

- まとめると、**図 8.1** に示す以下の 4 つのプロセスにより決定、操作、モニタリング、フィードバックを行い、最適な水管理を探ることを提案する。
  - 1) 決定プロセス：利用可能な水をいつ、どこへ、どのように配分すべきかという、水配分の目標と計画を決める。
  - 2) 操作プロセス：決定された目標、計画に沿って水配分する（狭義の操作）。
  - 3) モニタリング：実際の水配分操作を監視し、用水配分の結果を把握、評価する。
  - 4) フィードバック：モニタリングの結果を操作プロセスに反映させ水配分を修正・調節する。場合によっては決定プロセスまでさかのぼり、水配分計画を見直す。

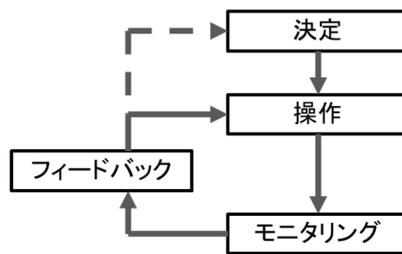


図 8.1 水管理を構成する 4 つのプロセス  
(Satoh, et al. 2007)

### 8.5. ローテーションかんがい試行の提案

水管理方式として、ローテーションかんがいの試行を提案す  
ズ

- 当面、試行すべき水管理方式として、ローアモシ地区全体での「ローテーションかんがい」を提案したい。具体的には、マボギニ川水系（アップアマボギニ、ローワマボギニ）とラウ川水系（ラウヤカティ、オリア、チェケレニ）それぞれの地域で例えば、3 日ごとのローテーションかんがいを行う。
- これにより、水配分の地域的な不平等を解消する。これを試行

したうえで、図 8.1 に示したプロセスにより適時見直すこととする。

## 8.6. 平等な水配分の重要性と参加型かんがい管理 (PIM) 導入の提案

効率的な水利用を行うためには、水利用者である農家の管理への参加が不可欠である。そのため、将来的には、参加型灌漑管理 (PIM) の導入を提案する。

- 水資源を効率的に配分し、かんがいシステムをより生産的かつ持続的にするためには、受益者である農民自身を管理に参加させる参加型かんがい管理 (PIM) の導入が有効と考えている。
- PIM においては、農民の集合体である水利組合が、水配分の計画、施設の操作や維持管理などあらゆる面に関与する。
- 実際の PIM 導入においては、対象地区の農民にかんがいに関わる問題点を出させ、全員で現地を確認、その対策の具体的な方法を合議によって決定し、実際の問題解決に取り組むといった方法が行われている。事例を紹介し、実証の代替とする。

### Egyptian case for PIM



写真 8.2 農民による話し合い (現地で)



写真 8.3 Water User's Association(WUA)による現地視察



写真 8.4 対策に関する農民の話し合い



写真 8.5 WUA による補修作業



写真 8.6 補修作業前



写真 8.7 補修作業後

#### (参考) 事例

- アジアの事例（タイ） 鬼丸論文ほか  
Onimaru, T., Satoh, M., Kawsard, K., Shioda, K. (2003) : The Present Situation and Problems of the Establishment of Water Users' Organizations in the Chao Phraya Delta, Trans. of JSIDRE, 225, pp.119-126
- 参加型灌漑管理導入のための水利組合強化事例（エジプト）  
Shindo S., Yamamoto K. (2017) : Strengthening Water Users' Organization targeting for Participatory Irrigation Management in Egypt, Paddy and Water Environment, 15, pp.773-785.
- 参加型灌漑一般  
Satoh M.et al. (2007) : Principles and Methods for Participatory Irrigation Management and Role Sharing between Government and Farmers, The 4<sup>th</sup> Asian Regional Conference & 10<sup>th</sup> International Seminar on Participatory Irrigation Management, International Seminar on PIM.