

令和3年度 海外技術協力促進検討事業 アフリカ水資源利用効率化促進調査 調査概要

I. 調査事業の概要

I-i 背景

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。アフリカにおけるコメの増産を図るため、アフリカ稲作振興のための共同体（Coalition for African Rice Development：CARD）フェーズ1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きた。このうち、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きたが、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いる。

計画した面積にかんがいできない要因は、水の運搬経路別に水源、取水施設、水路、ほ場に分けられる。これら経路別にその要因と対策について検討し、水資源利用の効率化のためのマニュアルを作成することは、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。

I-ii 目的

本事業は、アフリカのかんがい稲作地域における水資源の利用の効率化を通じて、コメ生産の拡大による安定的な食料供給を図り、もって、第4回アフリカ開発会議（TICAD IV）で採択された「ナイロビ実施計画」における生産性と強靱性の改善による食料安全保障の推進等、打ち出された目標、コミットメントのフォローアップに貢献することを目的としている。

II. 調査実施方針

II-i 全体計画

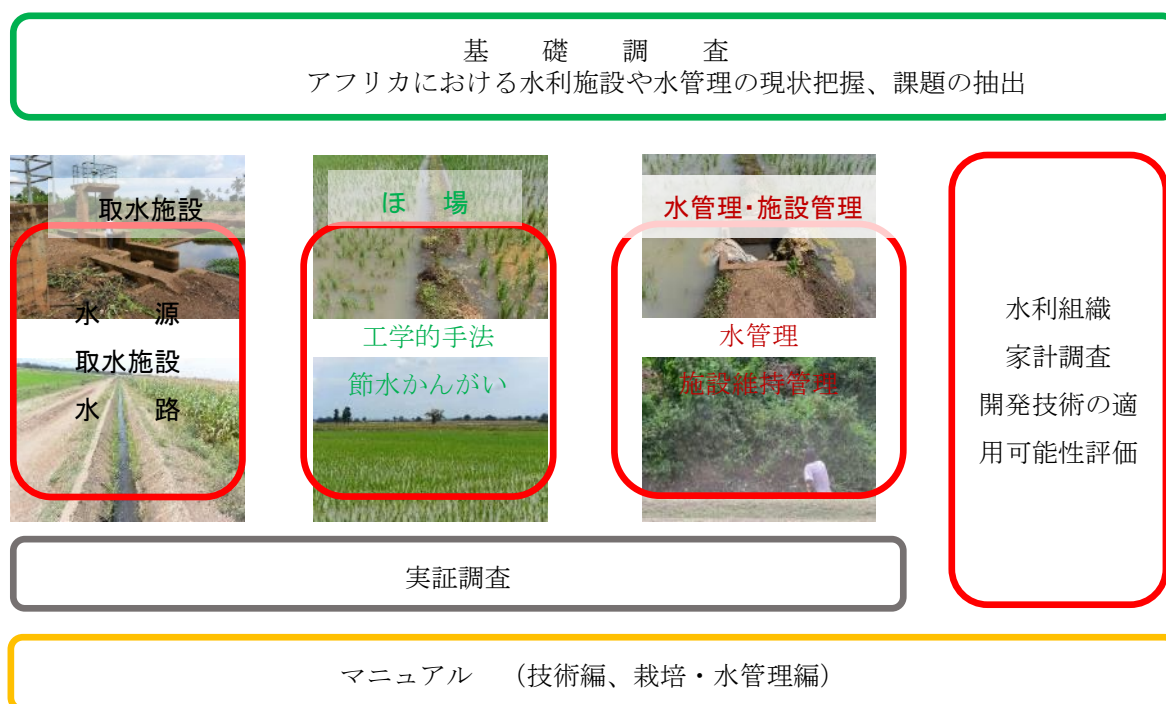
かんがい用水が末端まで届かず、計画した面積にかんがいできない要因は、かんがい用水の送水経路別に、水利施設レベル（水源、取水、幹線水路）とほ場レベルそれぞれに課題があると考え（図II-1）。また、水管理・施設管理体制にも課題があると考え。

本調査では、これらの課題について明らかにし、その要因を分析して、解決策を検討する。解決策については、モデル地区において実証調査を行い、解決策の妥当性について検証を行う。

具体的には、1) 水利施設レベルにおいては、水源レベルとして、上流域の土地利用の変化や社会状況の変化に伴って河川流量の変化が生じていないか、また計画当初見込んでいた取水量が確保できているかについて、取水レベルについては、取水施設の機能低下や水利権量の変更などにより計画どおり取水できているかについて、幹線水路レベルについては、漏水や水路粗度の変化等により輸送効率に変化していないかについて分析し、対策を検討する。2) ほ場レベルについては、工学的手法や節水かんがいなど水を効率的に利用する方法について検討する。3) 水管理・施設管理については、体制・運用上の課題を、農業者と水管理組織の関係、水管理実施に対する水



図Ⅱ-1 大規模かんがい施設の運搬経路別課題



図Ⅱ-2 調査の枠組み

利用者の認識等の面から分析し、対策を検討する。さらに、4) 開発した技術や手法が普及するための条件についても検討する。5) これらの成果については、実証調査において技術の妥当性を検証する。最後に、6) マニュアルとして取りまとめる（図Ⅱ-2）。

Ⅱ-ⅱ スケジュール

本調査の5年間のスケジュールは表Ⅱ-1に示すとおり。

表Ⅱ-1 調査全体スケジュール

		H29	H30	R1	R2	R3
基礎調査	現況調査					
	要因分析					
水利施設	対策の検討・改良					
	実証調査					
ほ場	工学的手法の検討・改良					
	節水栽培の検討					
	実証調査					
水管理体制	対策の検討					
	実証調査					
実証調査	現況調査					
	地域選定					
	実 施					
普及条件	技術ニーズ把握					
	経営評価					
マニュアル				素案	案	成案
研修	水路、ほ場、水管理					

Ⅱ-ⅲ 今年度の調査スケジュール

今年度の調査スケジュールは、表Ⅱ-2に示すとおり。

表Ⅱ-2 今年度の調査スケジュール

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1.水資源	←	→										
2.水利施設	←	→										
3.ほ場基盤	←	→										
4.栽培技術	←	→	←	→			←	→				
5.水管理体制						←	→					
6.普及条件						←	→					
7.セミナー											○	
8.国内検討委員会				○					○			
9.テクニカルコミッティー											○	

Ⅱ-iv 調査の実施体制

本調査を担当した職員は、表Ⅱ-3 のとおり。

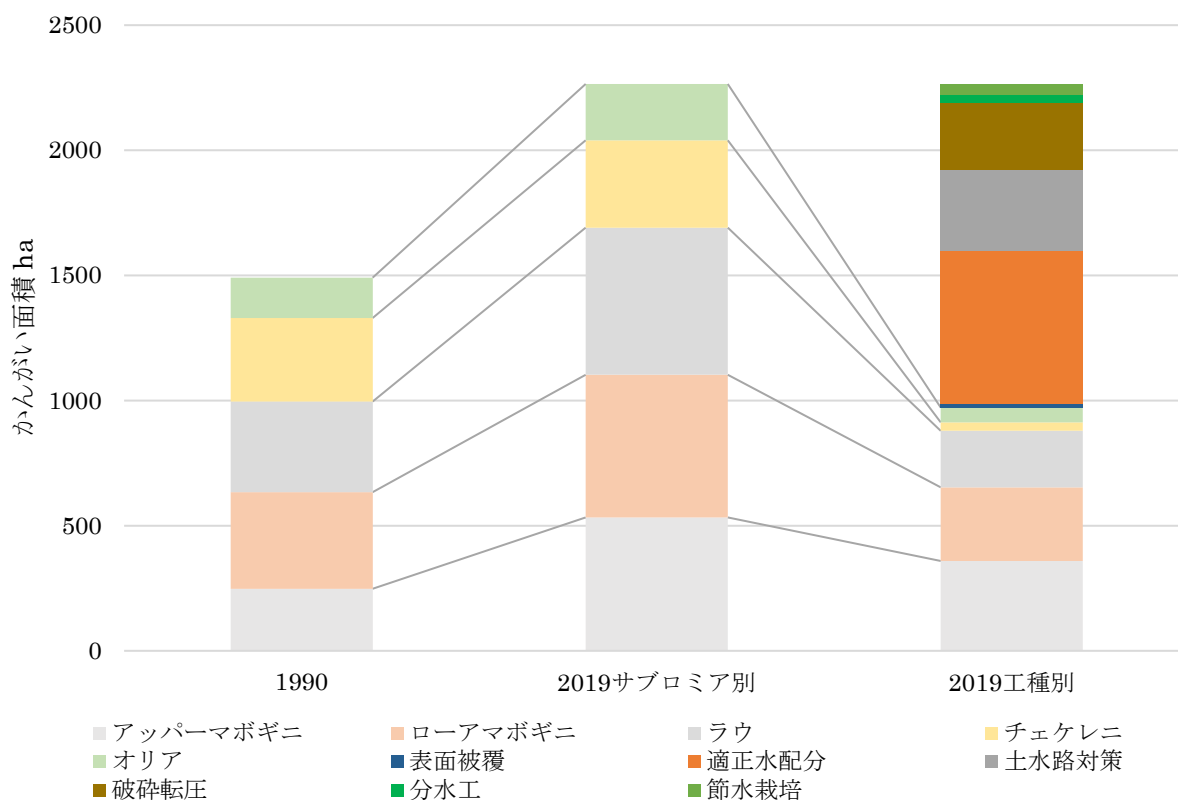
表Ⅱ-3 調査実施体制

担当	氏名	略歴（資格）
総括・水利施設・水利水文	廣内 慎司	海外調査業務、博士（緑地環境）、JICA開発調査、技術士（農業部門）
ほ場対策	宇野 健一	海外調査業務、JICA長期専門家、修士（農業土木）
水管理	進藤 惣治	海外調査業務、博士（農学）、JICA長期専門家、技術士（農業部門）
経営分析	横山 繁樹	海外調査業務、JICA長期専門家、国際研究機関（IRRI）、修士（農学）
栽培（コメ）	柳原 誠司	海外調査業務、国際研究機関（IRRI）、博士（農学）
栽培（野菜）	星川 健	海外調査業務、国際研究機関（WorldVeg）、博士（農学）

Ⅲ. 今年度の調査結果

Ⅲ-i 水資源利用効率化対策

本調査で検討した対策を実施することによるかんがい面積の増加を図Ⅲ-1に示す。ここで左側は計画面積1,500haをほぼ達成した1990年のサブロミア別かんがい実績面積である。右側は、2019年のサブロミア別かんがい実績面積に、本調査で提案している対策を実施した場合の対策工別の増加面積を示している。また、このとき実施に必要な費用及び内部収益率を表Ⅲ-1に示す。



図Ⅲ-1 プロジェクト実施によるかんがい可能面積

表Ⅲ-1 サブロミア別水資源利用効率化対策費用（1,000 USD）

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

Ⅲ- ii 水資源

(1) 取水地点の河川流量の変化の有無

1) 降雨データの記録と回収

ローアモシ地区（KATC）、マハンデ地区に設置している気象観測装置のデータをリモートで回収した。両地区とも計測器に不具合があり、一部の期間においてデータが欠損している。計測器が稼働していた雨期の降雨データにおいても、例年と比較して減少傾向にあった。

2) 河川流量の観測とデータ回収

河川流量推定のため頭首工の水位等を引き続き計測した。頭首工の越流量と隣接するパーシャルフリュームより河川流量を算定する場合、取水ゲートにゴミが溜まることによる取水量への影響が懸念されるが、河川流量への影響はない。このことを確認するためにも、頭首工からおおよそ500m下流にパーシャルフリュームを設置し、越流量を計測した。頭首工からパーシャルフリュームの間で取水は行われていない。頭首工の越流量とパーシャルフリュームの通過量はほぼ同じになるはずが、計測の結果は一致しなかった。現地調査が出来なかったこともあり、原因は確認できなかった。

(2) 地区内の用水供給バランスの確認

1) 河川取水量およびブロック取水量の計測

マボギニ水系およびラウ水系のブロックへのかんがい用水配分状況を調査するため分水ゲートの流量観測を継続した。設置した水位計が盗難にあったカ所は1日1回水深を計測する要員をKATCに確保してもらうことでデータを補った。

2) 地区内の用水供給バランス

各ブロックの作付け状況をKATC調査員にモニタリングしてもらい、作付け面積を記録することで、実際のかんがい水量を確認した。ほ場の必要水量を22mm/dとした場合、ほとんどのブロックにおいて、必要水量を上まわる取水を行っていることが分かった。

3) SARの後方散乱強度を用いた水稻作付け開始時期の推定

過去のかんがい実績はデータとして保管されていない場合は、何らかの形で推定する必要がある。乾期のかんがい実績は衛星画像（可視光）により推定できることが多い。しかし、雨期は雲が多く可視光での推定は困難である。このため、雲を透過するSAR（開口合成レーダー）を用いてかんがい実績の推定が可能であるか検討した。

この結果、水稻栽培時期と後方散乱係数がよく一致する地区と、一部のブロックにおいて後方

散乱係数の推移と水稻栽培時期が一致しないケースがあることがわかった。このためSARデータの適用にあたってはさらなる検討を要することがわかった。

(3) 適正水配分

1) タンクモデル

タンクモデルは、パラメータの数が16である。パラメータの同定方法として、遺伝的アルゴリズム（GA）+非線形計画法（GRG）を用いる方法（エクセルで計算）と、SCEUAを用いる方法（パイソンで計算）について検討を行った。この結果、いずれの手法も、計算回数を多くすることで良好な結果が得られることがわかった。

それぞれのパラメータについて、エクセル及びパイソン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）を確認したところ、両手法に大きな差はなかった。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ことがわかった。なお、エクセルで計算する手法は、パイソンで計算する手法と比較すると簡易であるが、計算時間は長い。

2) かんがい可能面積

雨期の降雨だけわかっている場合、乾期の河川流量がどの程度再現出来るか試算を行った。試算に用いたのは1971年から1972年のデータである。

あらかじめ、降雨と実測河川流量からタンクモデルでパラメータを同定し、そのパラメータを用いて計算上の河川流量を算定する。これに対して7月までの降雨のみ与えて計算した場合、実測流量と計算流量の差を計算した。これをもとに、それぞれの流量から推定されるかんがい可能面積を計算した。この結果、7月までの降水量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ことがわかった。

3) 取水実績に基づくかんがい可能面積算定

ローアモシ地区において、実際に取水された流量に基づき、適正に水配分を行っていた場合の追加かんがい可能面積の試算を行った。計算では、かんがい必要水量を超えるかんがい水（余剰水）は別のブロックもしくは下流のロミアで利用されるとして、その面積を算出した。

この結果、表Ⅲ-2のようになった。

表Ⅲ-2 取水実績に基づくかんがい可能面積算定

	余剰水から計算される追加可能かんがい面積		実際に追加かんがい可能な面積	
	2019	2020	2019	2020
ラウ水系	635ha	850ha	570ha	358ha
ンジョロ水系	43ha	121ha	40ha	121ha

(4) 水路レベル

1) 表面被覆工法

昨年度までに実施した、表面被覆工の施工およびモニタリング結果から、表面被覆工が、水資源利用効率化に結びつくことが明らかになっている。今年度は、昨年度までに実施した手順をマニ

マニュアル（原案）としてまとめた。

マニュアルの実効性（わかりやすさ）を高めるために、作成したマニュアル（原案）を用いた地方政府による施工を実施し、マニュアル（原案）の修正を行い、マニュアル（案）とした。

マニュアル実効性の確認は、以下のポイントを重視して実施された。

- ・内容が理解しやすいか
- ・施工が容易であるか
- ・曖昧な点
- ・地方政府や農家からの意見

2) 土水路漏水対策

昨年度までに実施した、土水路漏水対策の施工およびモニタリング結果から、土水路漏水対策が、水資源利用効率化に結びつくことが明らかになっている。今年度は、昨年度までに実施した手順をマニュアル（原案）としてまとめた。

マニュアルの実効性（わかりやすさ）を高めるために、作成したマニュアル（原案）を用いた地方政府による施工を実施し、マニュアル（原案）の修正を行い、マニュアル（案）とした。

マニュアル実効性の確認は、以下のポイントを重視して実施された。

- ・内容が理解しやすいか
- ・施工が容易であるか
- ・曖昧な点
- ・地方政府や農家からの意見

Ⅲ-iii ほ場レベル

(1) 工学的対策

1) ケンブリッジローラーを用いたほ場漏水対策

ケンブリッジローラーを用いたほ場漏水対策を実施した結果、漏水対策に有効であることがわかった。代かきから21～28日後（土壌水分17～12%）に締固めを行うのが最も減水深が少なくなった。また、締固め回数は、多いほど減水深が少なくなった。しかし施工にかかる時間を考慮すると、締固め1回が最も効率的であることがわかった。

2) 分土工更新

分土工を更新することによる漏水量抑制量は、ブロックにおけるかんがい実態（どのほ場にかんがいを行っており、どの分土工が無駄な漏水を生じているか）により異なるが、MS5-1で記録したかんがい実績に基づき、漏水量を推定したところ、14日平均で53.6 m³/dであった。

これにより、分土工の更新が、水資源利用効率化に結びつくことが明らかになった。このため分土工更新の手順をマニュアル（原案）としてまとめた。

マニュアルの実効性（わかりやすさ）を高めるために、作成したマニュアル（原案）を用いた地方政府による施工を実施し、マニュアル（原案）の修正を行い、マニュアル（案）とした。

マニュアル実効性の確認は、以下のポイントを重視して実施された。

- ・内容が理解しやすいか
- ・施工が容易であるか
- ・曖昧な点

- ・ 地方政府や農家からの意見

3) 減水深の収量への影響調査

石垣市内にて減水深の収量への影響調査を行った。NERICA1及びIR841について、コックによる漏水量調整により通期平均日減水深が概ね10～25mmに分布するポットの栽培を行い、収量調査を実施した。調査は2回行われ、第1回調査の移植日は2021年3月10日、第2回調査の移植日は2021年9月3日であった。いずれの調査においても、NERICA1、SARO5双方において減水深と収量に相関は見られなかった。第1回調査における相関係数はNERICA1: $R^2 = -0.124$ 、IR841: $R^2 = 0.170$ であり、第2回調査においては NERICA1: $R^2 = 0.124$ 、IR841: $R^2 = 0.076$ であった。タンザニア国現地と同品種の調達は難しく（SARO5の代わりにIR841を採用）、また土壌も異なる（JAおきなわくみあい培土を採用）ため単純な比較はできないものの、その結果は概ね似通っていたものと判断された。このことから、収量変化が見られない以上かんがい効率の面では通期平均日減水深を少なくとも10mm程度まで減じることが有利であると考えられる。

4) 節水栽培

水稻栽培における湛水面深度の異なる間断かんがい（AWD数値：湛水面が地表面より数値xcmに下がったらかんがいする）等の節水対策案策定のため実証試験（3年目）を実施し、以下の結果を得た。

KATCのほ場を用いた試験では、耕土の厚さとAWD7.5による栽培時のかんがい水量と収量の間に相関は見られなかった。従って、耕土を厚くすることによるAWD栽培時の漏水抑制効果を明確に証明することはできなかったが、かんがい水量は総じて抑制されたため、農家ほ場で同様な試験を行うことにより、上記効果を検証できる可能性が示唆された。

アップーマボギニの農家ほ場における試験では、かんがい水量がAWD7.5<AWD15<常時湛水となり、ローアマボギニの農家ほ場における試験では、かんがい水量が常時湛水<AWD7.5<AWD15の順となった。収量については両地区とも有意差はなかった。かんがい水量は処理に関わらずアップーマボギニ<ローアマボギニとなった。その理由として、地下水位の高さが示唆され、アップーマボギニではAWD7.5による節水の可能性が示唆された。収量はローアマボギニ<アップーマボギニとなった。今後、周辺の農家ほ場収量を調査し、理由を明らかにする必要がある。

マハンデの農家ほ場を用いた試験では、二毛作ほ場の収量がAWD7.5<常時湛水となったが有意差はなく、二期作水田では収量が同等であった。かんがい水量については集中豪雨によりほ場の冠水が発生し、計測ができなかった。

5) 野菜栽培

トマト、ナス、4種伝統野菜（アマランサス、アフリカナス、アフリカンナイトシェード、エチオピアンマスタード）を2種かんがい水量において世界蔬菜センターで栽培し、収量等の表現型を調査し、野菜栽培のポテンシャルを把握した。かんがい水量標準区及び乾燥区において、野菜6種の葉長、葉幅、背丈、側枝数等のバイオマス指標は乾燥区で顕著に減少した。その影響により、葉物野菜として利用されるアフリカンナイトシェード、アマランサス、エチオピアンマスタードの葉収量は標準区に比べ、乾燥区で著しく減少した。同じ生育期間内において、アマランサスの葉収量は、アフリカンナイトシェード及びエチオピアンマスタードの葉収量に比べ、標準区

（23.8 kg）及び乾燥区（16.6 kg）においてバイオマス量が高く、アマランサス是他2種の葉物野菜に比べ、生育速度が早いことが示唆された。果実野菜として利用されるアフリカナス、ナス、ト

マトにおいて、それらの果実収量は、葉物野菜と同様に顕著に減少したが、トマトの果実収量は、標準区（6.4 kg）及び乾燥区（6.3 kg）で有意差は検出されず、トマトは他2種の果実野菜に比べ、乾燥ストレスに抵抗性を有することが示唆された。

Ⅲ-iv 水管理と維持管理

ローアモシ地区においては、水利組織は、地域ごとのサブ組織を中心に水管理や維持管理の活動を行っている。これまでの調査資料から、かんがいブロックにおける取水量を分析した結果、上流部のサブロミアほど多くの取水を行っていることがわかった。7つのかんがいブロックの取水量と計画上の減水深（11.3mm/d）と比較した結果、水利用効率は、19～67%（減水深／配水量 Q_{in} ）であり、水管理改善の余地は大きいことがわかった。

地区全体の調整機能について評価するため、現地のコンサルタントに委託し、5つのサブロミア及び農家50人（各サブロミア10人）へのアンケート調査を実施した。その結果、セントラルロミアが機能していない理由として、5つのサブロミアが資金的にも独立して運営されていること、上流部サブロミアは独自の水利権があることを主張し（これは事実誤認である）協力を拒んでいる実態などが浮き彫りになった。また、農家への調査結果では、ほとんどの農家は、水配分は平等になされるべきとの意見であった。

水利用効率向上のためには、水管理システムの改善と水管理組織の強化が不可欠である。これまでの調査結果と他の国での実績をもとに、参加型灌漑管理（PIM）の導入を中心とする改善案をマニュアルに取りまとめた。

マハンデ地区においては、水利組織が脆弱で、農民グループによる経験的水管理が行われている。水管理の実態調査は、現地の協力を得て継続的に実施したが、水利費の金額と徴収方法の変更が与える影響など詳しい聞き取りや意見交換などについては、意図した調査が行えなかった。

Ⅲ-v 技術や手法が普及するための条件

かんがい水の効率的利用と農家所得向上を両立させるためには、水田裏作に野菜を導入することが有効であるとの仮説のもとに、商業的野菜栽培の現状、導入の促進・制約要因について検討した。ローアモシ地区では、ごく少数の農家が1970年代半ばに野菜栽培を屋敷地で始め、水の供給がないかんがいほ場で井戸かんがいによる栽培が2010年以降に広まった。今後の作付け意向は、かんがいほ場でコメ、畑ほ場でトウモロコシ、屋敷地で野菜の作付拡大を志向する農家が多い。野菜経験の有無にかかわらず、全農家の9割は技術研修を希望している。また、現状では野菜農家組織も民間企業との契約栽培も存在しないが、それらがあれば8割の農家は参加を希望している。

野菜の先進地と目されるマワラ地区で、コメ（6.1 t/ha）を基準に収益性（所得および利潤）を比較すると、アマランサス、ピーマン、タマネギはコメを上回り（所得で1.5～2倍、利潤で3～3.5倍）、トマト、オクラ、アフリカナスはほぼ同等、ナイトシェードとハクサイは下回った。農家の認識ではハクサイで病害虫の被害が出ているので、収益性が低いのはそのためと推察される。ナイトシェードに関しては、低収益の原因は不明である。野菜作の技術水準は農家間で差が大きく、価格変動も大きいので一般化は困難であるが、生産と市場が安定すれば経済的ポテンシャルは高い。それらを担保するのが、技術指導や農民組織化、契約栽培、信用供与などであるが、比

較的に野菜作が盛んと思われるマワラ地区にあっても、そのような農家サポートは脆弱であり、野菜振興の制約要因になっていると思われる。

Ⅲ-vi マニュアルの作成およびテクニカルコミッティー

(1) マニュアルの前提

本調査のマニュアルは、本調査で実施した実証調査の結果を受けて、いくつかの水資源利用効率化対策について紹介するものである。このため以下に示す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こととした。

(2) マニュアルの構成

マニュアルは、以下の章から構成されている。このうち、第1章では第2章以降で説明する個々の技術をローアモシ地区で適用した場合の効果について説明を行っている。

- 第1章 水資源利用効率化対策の効果推定事例
- 第2章 適正水配分
- 第3章 表面被覆工法
- 第4章 土水路漏水対策
- 第5章 分土工更新
- 第6章 破碎転圧工法
- 第7章 節水栽培
- 第8章 水管理

(3) マニュアル作成の手順

本調査で作成されるマニュアルは、内容により技術者を対象としたもの（水源や取水施設、幹線水路、水管理）、普及員や農家を対象としたもの（ほ場レベル対策）を想定している。マニュアルは、利用者にとって使い勝手の良いものである必要がある。このため、マニュアル作成にあたっては、事前に技術者研修や農家研修を行い、研修で出た意見や反応に基づき修正して最終的なマニュアルを作成した。

具体的には、以下の手順でマニュアルの作成を行った。

1) マニュアル（原案）の作成

実証調査（試験施工）の結果や手順の基づきマニュアルの原案を作成した。

2) マニュアル（案）の作成

マニュアル（原案）を用いて、地方政府による対策の試行を実施した。実施状況について、NIRCやATCがモニタリングするとともに、マニュアル（原案）の改善点について、利用者（地方政府）から聞き取りを行った。マニュアル（原案）に基づいた試行は、表面被覆工法、土水路漏水対策、分土工更新、節水栽培について実施した。破碎転圧工法については、実際の施工は建設会社が行うものであるため、試行は実施していない。

3) 国内検討委員による検討

作成されたマニュアル（案）は、2021年12月1日に開催された国内検討委員会にて検討が行われ

た。マニュアル（案）は、検討委員会開催の約1ヶ月前に送付して、内容の確認を行った。

4) タンザニア国共同研究機関との検討（マニュアル会議）

国内検討委員会の内容を反映したマニュアル（案）をタンザニア国側共同研究機関に2021年12月に送付し、内容の確認を行った。確認は2022年1月17日に関係機関がオンラインで会議を開催（マニュアル会議）して行った。マニュアル会議では、内容について、1月末までに最終の確認を行った。

5) テクニカルコミッティー

マニュアル（案）は、最終的にテクニカルコミッティーで了承されて成案となる予定であった。これに向けて、共同研究機関と内容の確認を行っていたが、テクニカルコミッティーに参加していたNIRCの出席者から、表現について、誰でもわかるような表現になっているか最終確認を行うため、1週間の検討期間が必要であると発言があった。これを受けて、（案）が取れたのは2022年3月となった。

6) マニュアルセミナー

マニュアルの内容については、テクニカルコミッティーで了承されたので、テクニカルコミッティーの翌日にマニュアルの説明を行うセミナーを開催した。セミナーには、実証調査地であったアルーシャ州、キリマンジャロ州に加えてコメの生産が多い、タンザニア国北西部のムワンザ州、シニャンガ州、シンギダ州、マニャラ州の普及組織からも参加した。また、マニュアルをタンザニア国内で周知するために、報道機関からの参加を依頼した。

なお、感染予防対策として、会場の3方にある扉や窓は全開にするとともに、参加者にマスクを配り、マスクの着用をお願いした。

III-vii 国内検討委員会

本調査を効率的、効果的に実施するため、有識者による国内検討委員会を設置し、委員から意見を聴取している。今年度は、調査方針について令和3年7月に、調査結果のまとめ及びマニュアル（案）について令和3年12月に委員会を開催した。

国内検討委員

分野	氏名	所属
かんがい	山路永司	東京大学大学院新領域創生科学研究科 教授
水資源	堀野治彦	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 教授
水管理	北村浩二	農業・食品産業技術総合研究機構 農業工学研究部門 ユニット長
栽培	鳥山和伸	農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター 地域戦略部事業化推進室 農業技術コミュニケーター