



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

ザンビア国北部における小規模灌漑農業開発に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-06-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐川, 喜裕 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/79658

ザンビア国北部における
小規模灌漑農業開発に関する研究

2020 年

岐阜大学大学院連合農学研究科
生物環境科学
(岐阜大学)

佐 川 喜 裕

ザンビア国北部における
小規模灌漑農業開発に関する研究

佐 川 喜 裕

目 次

第1章 はじめに	1
第2章 調査対象地域の概要および小規模灌漑開発の実績	5
2.1 調査対象地域の概要	5
2.2 小規模灌漑開発の実績	8
第3章 小規模灌漑開発地区における灌漑管理の実態	14
3.1 地区の概要	14
3.2 調査の方法	21
3.3 結果および考察	26
3.3.1 灌漑グループの基礎調査結果	26
3.3.2 土水路の搬送効率	29
3.3.3 灌漑管理の実態および搬送効率	31
3.4 まとめ	40
第4章 小規模灌漑開発の効果	41
4.1 栄養不良に対する取り組みと栄養・食料関連の指標	41
4.2 調査の方法	47
4.3 データの検査	51
4.4 結果および考察	53
4.4.1 農業生産性	53
4.4.2 農家の生計	58
4.4.3 食材の多様性・食料安全保障	62
4.4.4 栄養状態	65
4.5 まとめ	68
第5章 おわりに	69
謝辞	71
参考文献	72

第1章 はじめに

「小規模灌漑」には明確な定義はないが、佐野（2000）によると、「大規模灌漑」はダム・頭首工・大型揚水機場などの高度な技術を要する水源施設や、長大な用水路によって灌漑水を圃場へ供給する方式である。一方、「小規模灌漑」は圃場近傍の水源から小規模な堰・取水工・貯水池・井戸などの簡易な施設によって灌漑水を圃場へ供給する方式とし、農家が施工および維持管理を行って、用水が圃場で有効に利用されると示されている。また、北村・矢野（2002）によると、過去にサブサハラ・アフリカで実施された大型灌漑事業の評価は概して低く、失敗の主な原因は高コストとし、この地域で灌漑事業を成功に導くためには、農家が事業に全面的に参画し、農家が容易に習得できる技術を使い、低コストで、現地で入手可能な資材を活用し、維持管理も容易であることを挙げている。

このように「大規模灌漑事業」から「小規模灌漑事業」にも関心が寄せられるようになり、先ずマラウイ共和国（以下マラウイ国）において、小規模灌漑農業開発事業が JICA（独立行政法人国際協力機構）の支援により、2002～2009 年に実施された。この 7 年間にマラウイ国では、2,535 カ所の小規模灌漑地区で約 5,000ha（1 地区平均 2ha）の灌漑面積が開発された（金森，2018）。この成功を受けて、ザンビア共和国（以下ザンビア国）の北部地域では、灌漑農業を営むための十分な降雨量があり、緩やかな丘陵地も多く存在するため、灌漑農業の導入が可能であると判断された（JICA, 2011）。ザンビア国の小規模灌漑開発は、JICA の支援により 2009 年から北部地域を対象として小規模灌漑農業の開発調査、2014 年から小規模灌漑開発の技術協力プロジェクトが実施された。その後これらのプロジェクトの成果が認められ、2018 年 12 月から対象地域を拡大し、技術協力プロジェクトが実施されている。

ザンビア国では全人口の約 7 割が農村部に居住し、農村部人口の約 9 割が農業に従事している。農業人口の約 8 割が土地所有 1ha 未満の小規模農家である。多くの農家は雨期の天水農業で主食の栽培を行っているが、不安定な天候の影響を受け、食料不足に直面してき

た。ザンビア国政府は灌漑開発により灌漑面積の拡大に取り組んできたものの、年間数百ヘクタール程度しか灌漑面積の増加が進んでいない状況であった（蛭田ら、2015）。

灌漑面積の増加が進まない理由としては、ザンビア国政府の財政不足以外にも、対象地域には「ダンボ」と呼ばれる低湿地帯が農村集落近くに分布し、灌漑農業の適地が限られることや、軟弱地盤上へのコンクリート製（モルタル含む）の取水堰（「恒久堰」と呼ばれる）設置により不同沈下による崩壊、雨期の洪水で土砂の吸い出しによる崩壊などの技術的な問題もあった。さらに、自然条件に問題がなく灌漑施設は健全であっても、農家が新規に入植した場合、土地に馴染みがないことに加え、灌漑農業に不慣れなため施設の運用と営農方法が分からず、灌漑農業が定着されない地区があった。

これらの課題に対して、取水堰と土水路の灌漑施設の建設において、小規模灌漑農業の担い手である農家が安価で習熟可能な適正技術を効果的に活用したことで、ザンビア国では短期間のうちに多数の灌漑開発を実現してきた。現地にある木、草や土などの材料を用いた取水堰（「簡易堰」と呼ばれる）の建設と、現地で入手可能な簡易水準器を用いて、適切な水路勾配で路線計画された土水路の建設により、小規模灌漑の普及拡大が図られた。2014 年から 2016 年の 3 年間に実施された JICA の技術協力プロジェクトでは、774 カ所の小規模灌漑地区で 876ha の灌漑面積が開発された。1 地区の平均灌漑面積は 1.1ha で、平均の水路延長は約 1km であった（JICA, 2017）。

このようにザンビア国北部地域では、農家自らが灌漑施設を建設してきたことから、補修や再建設といった維持管理作業について、十分な素地が整っている状況である。しかしながら、灌漑農業の水管理に関しては、これまで天水農業を主体として個別に営農活動を行ってきた農家が多く、過剰な灌水や上流圃場優先の不公平な取水が行われているケースが本地域の小規模灌漑地区で散見されたため、適切な水管理が灌漑地区全体で実践されていない状況であると推察された。

これまでの研究事例では、ファームポンドやポンプなど水利施設からの流出量によって、灌漑地区全体の用水利用の実態調査や、露地畑において特定の農家に対する灌漑管理の実

態調査が行われていたが、地区全体に対して一筆ごとの実態調査を行ったデータはない。そこで本研究では、「小規模灌漑開発地区における灌漑管理の実態」を1つ目のテーマとして、1つの小規模灌漑グループにおいて、全ての農家を対象に一筆ごとの灌漑の実態調査を行って、農家の経験と勘によって行われてきた灌漑管理の実態を解明し、ザンビア国の小規模灌漑農業開発がより効率的に発展を成し遂げるため、土水路の搬送効率、1回の平均灌水量、平均灌水間隔、水盤灌漑の適用効率について検討を行った。

小規模灌漑に関しては栄養改善への効果も期待されている。世界では2018年の推計で、8億2000万人（世界人口の9人に1人）が十分な食料を得ることができず、3人に1人が栄養不足の状態であり、食料安全保障の実現と栄養改善は地球規模の課題の一つとなっている。栄養不良（低体重、成長阻害、消耗症）に関して、ザンビア国と世界や東・南アフリカの推定値と比較した場合、ザンビア国の成長阻害率は40%と他よりも高い数値を示し、「極めて深刻」な状態である（UNICEF, 2016）。ザンビア国内の状況を州別にみると対象地域の北部3州が特に高く、その中で北部州が45～49%と最も高い成長阻害率を示している（WFP, 2016）。

灌漑開発が農業分野に及ぼす影響としては、農業生産性の向上や農家の生計向上が知られており、灌漑による貧困削減への有効性を示している文献は多数存在しているが、食事の多様化や食料安全保障に与える影響を分析した研究はほとんどない（Laia and Claudia, 2013）。また、灌漑と栄養、健康の関係を包括的に評価した研究はほとんどなく、栄養に関して灌漑の影響によるもっと多くの正確な評価が必要である（Laia, 2015）。エチオピア国において、洪水灌漑の利用者と非利用者を対象に、農業生産量、収入、支出、栄養と健康状態、そして児童の身体測定を実施した調査・研究では、洪水灌漑の利用者は灌漑によって、非利用者よりも貧困削減や消費支出の増加という効果が確認された。しかしながら、消費支出の多くが非食料品であり、栄養改善の有意性は認められなかった（Fitsum et al., 2017）。

小規模灌漑開発が実施されたザンビア国北部地域において事前調査を行った結果、農家

の生計向上，食材の多様化，栄養改善の複数の効果の発現が示唆された．このため本研究では，「**小規模灌漑開発の効果**」を2つ目のテーマとし，ザンビア国の小規模灌漑農業開発がより効果的，持続的な発展を成し遂げるため，ザンビア国北部地域を対象に詳細な調査を実施し，農業生産性と農家の生計だけでなく，食費支出にも着目して食材の多様性や栄養改善についても複数の便益が現れていると仮定し，それぞれの効果について定量的に評価することを試みた．

第2章 調査対象地域の概要および小規模灌漑開発の実績

2.1 調査対象地域の概要

ザンビア国はアフリカ南部に位置する内陸国であり、東側にタンザニア、マラウイ、モザンビーク、南側にジンバブエ、ボツワナ、ナミビア、西側にアンゴラ、そして北側にコンゴ民主共和国の8つの国に接する（図2.1）。首都はルサカで国土の中央に位置する。面積は72,612km²で日本の約2倍であり、人口は1735万人（2018年：世銀）である。公用語は英語であり、民族はバントゥー系のトンガ、ニャンジア、ベンバ、ルンダ等で構成され、8割近くはキリスト教徒である。主な産業は鉱業（銅、コバルト等）と農業で、銅の輸出に頼る産業構造となっている途上国である。

「小規模灌漑開発の効果」の調査対象地域は、北部州、ムチンガ州、ルアプラ州の北部地域3州であり、日本の本州程度の広さを有する。また、「灌漑管理の実態」を調査したセルカ灌漑グループは、北部州の州都カサマ市から北に約30km地点に位置する。

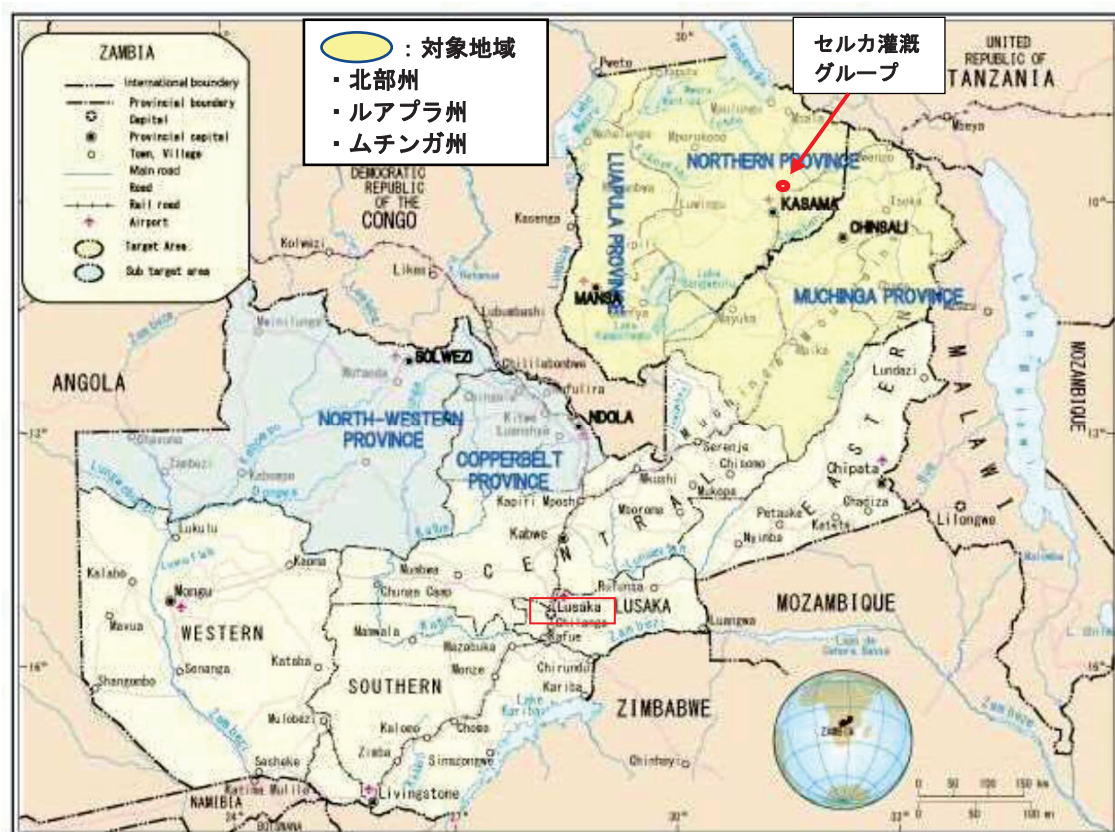
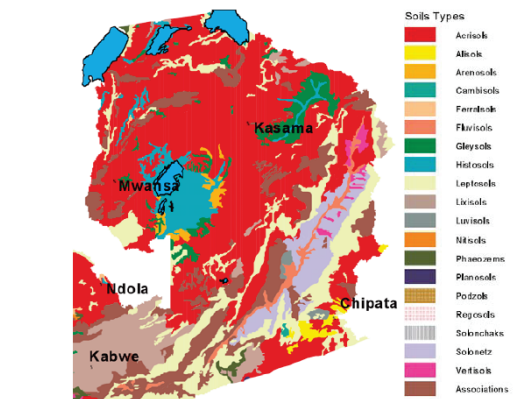


図 2.1 ザンビア国調査対象地域位置図

ザンビア国の地域区分を示すと農業生態系上、Zone 1～3 の3つに区分されている。北から Zone 3（図 2.2 の黄色部分で約 46%を占める）、中央部が Zone 2、そして南のジンバブエ国との国境近くに Zone 1 地帯（図の下側のこげ茶部分）となる。対象地域の3州はいずれも Zone 3 地帯に位置している。Zone 3 地帯の特徴はサブサハラ・アフリカでは珍しく年間 800～1,000mm を超える年間降雨量に恵まれてものの、土壌の溶脱が著しく酸性度が高いことから土壌肥沃土は総じて低い。主食となる穀類やイモ類の生産が盛んな地域である。また、土壌は酸性で風化の進んだ粘土の集積層を持つ Acrisol と呼ばれる土壌が支配的ある（図 2.3）。



本地域の季節は5月から10月の乾期, 11月から4月の雨期に分かれており, 年間1,000mmを超える降雨に恵まれ, 森林資源も比較的豊富で伝統的に焼畑農業が行われてきた(写真2.1)。そして, 本地域は雨期の天水農業が中心に営まれ, 主にトウモロコシ(主食用: 乾燥), キャッサバ, フィンガーミレットが粗放的に多く作付けされている。



写真 2.1 焼畑農業（雨期の終わりに伐採を行い, 圃場に集積して乾燥させ, 雨期の前に火入れを行う）（JICA, 2011）

2.2 小規模灌漑開発の実績

ザンビア国の小規模灌漑開発は、マラウイ国での小規模灌漑農業開発の成功を受けて実施された。この2つの国の小規模灌漑農業開発において重要な役割を果たしたのは、「適正技術の導入」であり、それにより簡易堰と土水路の灌漑施設が効率的に建設された。適正技術を使った簡易堰と土水路の建設方法を含め、小規模灌漑開発の実績について、以下に示す。

(1) 簡易堰および土水路の建設（適正技術の導入）

1) 簡易堰の建設

小規模灌漑農業開発の担い手は農家であり、簡易で安価な灌漑技術の導入が必要であることから、現地にある材料である木、草や土などを用いて建設することを基本とした。

狭い川幅において1本の大きな木を河川兩岸に渡して、その木に細い木を傾けて配置して草で覆う「インクライン（傾斜）堰」（写真2.2）、河川を横断するように木杭を打ち込んだ後、その間に草を編み込む「シングルライン堰」（写真2.3）、木を打ち込めないような堅い河床で適用可能であり、川幅が広い場合にも用いられる「トリゴナル（三角錐）堰」など、取水地点の状況に応じて選べる様々な技術を適正技術として導入した（蛭田ら、2015）。なお、写真2.3は第3章に示す灌漑グループが建設した簡易堰の写真である。



写真 2.2 インクライン（傾斜）堰



写真 2.3 シングルライン堰

2) 土水路の建設

土水路の適切な水路勾配を得るために、簡易技術が導入された。水路勾配 1/500～1/1,000 程度で水路の線形を取るため、一定間隔に配置した二本の棒の間に糸を渡し、当地でも入手可能な簡易水準器を中央に吊り下げ、水平を測るという方法を用いた（図 2.4）。二本の棒に結びつける高さを変えることで必要な水路勾配を設定することができる。表 2.1 に示すように、丘陵地に対しては高低差を 1.0cm 設けて水路勾配 1/500、平坦地に対しては高低差 0.5cm 設けて水路勾配を 1/1,000 で計画した。現地の農家は地形に配慮せずに目指す方向に直線的に水路を掘ってしまうため、水路掘削深が深くなる傾向がある。こうした労力の無駄を軽減するためにも、この簡易な技術が有効かつ適正であった。

表 2.1 土水路建設で用いられた水路勾配と地形

水平距離	高低差	水路勾配	地形
5m	1.0 cm	1/500	丘陵地
5m	0.5 cm	1/1,000	平坦地

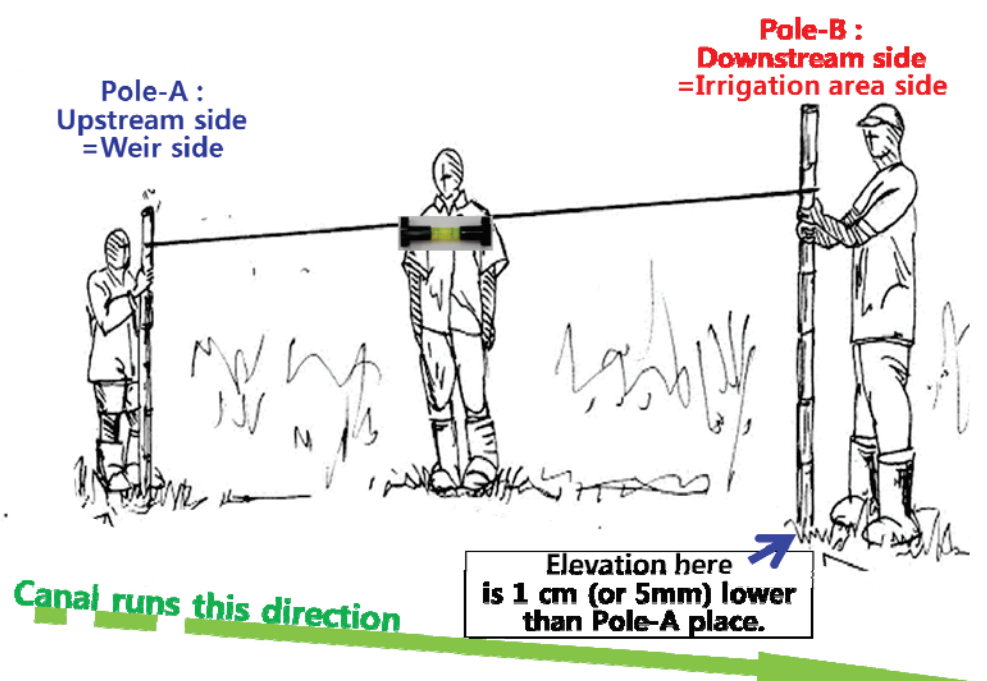


図 2.4 簡易水準器を利用した水路線形決定方法（JICA, 2017）

(2) マラウイ国での小規模灌漑農業開発の実績

マラウイ国での小規模灌漑農業開発は、「開発調査」、「技術協力専門家派遣」、「技術協力プロジェクト」の3つの事業が2002～2009年の7年間に実施され、「マラウイ小規模灌漑」と総称されている。この7年間に2,535カ所で平均2haの小規模灌漑地区が開発され、約5,000ha、約56,000人の農家に小規模灌漑が普及した。

小規模灌漑農業開発で活用した灌漑施設および灌漑方法は、ザンビア国と同様に簡易堰と土水路を適正技術により建設し、畝間灌漑と水盤灌漑により灌漑農業を普及させた。

成果としては、食糧自給の強化と貧困緩和が達成されたと報告され、以前は約40%の農家が自給できていなかったが、灌漑でのトウモロコシ栽培により自給が可能となった。また、持続性に関しては、開発された2,535カ所の15%が普及員による普及であり、13%が農家間の普及で開発された。またプロジェクト終了後も自立的な普及が行われた(金森, 2018)。

（３） ザンビア国での小規模灌漑農業開発の実績（開発調査）

ザンビア国に対する小規模灌漑農業開発としては、JICA の支援のもと、「小規模農家のための灌漑システム開発計画調査」（以下、「開発調査」）が 2009 年から 2011 年に、北部州（その後、北部州とムチンガ州に分割された）とルアプラ州を対象に実施された。

開発調査では小規模農家を対象としたパイロット事業が、2 回の乾期にわたり実施された。その結果、568 サイトで灌漑開発に成功し、544ha の灌漑面積が開発され、6,874 世帯の農家が恩恵を受けた。貧困ライン以下の生活を営む典型的な農家世帯が貧困ラインに到達するためには、平均で 1,510ZMW の所得が追加で必要となると概算されていたが、開発調査における灌漑開発によって生み出された収入は、平均 1,550ZMW であった(JICA, 2011)。

また、簡易堰と土水路を建設して灌漑農業を学んだ 8 サイトにおいて、2010 年に恒久堰の建設工事がパイロット事業として実施された。堰のタイプはコンクリートタイプと粗石練積みタイプの 2 種類があり、現地の状況に合わせてどちらかが選択された。この 8 サイトにおける 2009 年時点の簡易堰での灌漑面積は合計 15.7ha であったが、恒久堰へアップグレードした 2010 年には、灌漑面積の合計が 27.9ha に拡大した。なお、第 3 章に示す「灌漑管理の実態」の調査地区はこの内の 1 サイトである。

なお、マラウイ国とザンビア国での実績を比較すると、ザンビア国は開発された面積と普及した農家数が少ない。その理由としては、人口密度がマラウイの 130 人/km²に対して、ザンビア国の対象州では 13 人/km²であり、人口密度の相違が要因の 1 つと考えられる。

（４） ザンビア国での小規模灌漑農業開発の実績（技術協力）

開発調査の結果を受け JICA の後継プロジェクトとして、「ザンビア国小規模農民のための灌漑開発プロジェクト」（以下、「技術協力」）が 2013 年から 2017 年に実施された。技術協力は、政府職員の能力向上並びに農民参加型手法により、小規模灌漑施設を利用した灌漑農業の促進と、小規模農家の農業生産向上を目的として実施された。対象地域は開発調査と同様に、北部州、ルアブラ州、ムチンガ州の 3 つの州であった。現場活動期間は 2014 ～2016 年の 3 年間（3 回の乾期）で、簡易堰および簡易堰からのアップグレードにより恒久堰（粗石練積み）の建設を行い、小規模灌漑農業の普及促進を図った（JICA, 2017）。

1) 簡易堰の建設

3 年間のプロジェクト活動により、774 地区（新規開発地区 397、改修地区 377）が小規模灌漑農業開発に参画し、876ha の灌漑面積が開発され、約 20,000 人の農家に普及した。1 サイトあたりの平均灌漑面積は 1.1ha である。また、新規建設の用水路の延長は 624km で、養魚池は 724 個が建設された（表 2.2）。

表 2.2 簡易堰灌漑サイトの開発成果一覧表

州	地区数		世帯数	農家数	水路延長 (新規)(km)	灌漑面積 (ha)	養魚池 の数
	新規	改修					
北部州	174	193	6,372	10,486	343.6	461.9	209
ムチンガ州	85	74	2,619	5,274	108.3	225.6	41
ルアブラ州	138	110	2,865	4,977	171.9	188.4	474
合計	397	377	11,856	20,737	623.8	875.9	724

2) 恒久堰の建設（粗石練積み）

既存の簡易堰が良く機能し、活維持管理も適切に行われている地区を選定し、合計 14 堰を恒久堰にアップグレードした。開発調査ではコンクリートタイプと粗石練積みタイプの 2 種類の恒久堰を建設したが、技術協力では施工が容易となる粗石練積みタイプを採用した。写真 2.4 に恒久堰の写真を示すが、左の写真は北部州で建設された左岸取水の恒久堰、右の写真はルアプラ州で建設された両岸取水の恒久堰である。

簡易堰では草と土の隙間からある程度の漏水は許容されるが、恒久堰の建設により漏水量が減少し、取水量および灌漑面積が増加し、灌漑農業の定着および促進拡大が図られた。合計 745 世帯が恒久堰の便益を受け、灌漑面積は 68.6ha で 1 地区の平均は 4.9ha/地区である。恒久堰の建設費は 1 サイト平均 97,300 ZMW で、1ha あたり 10,700 ZMW/ha、約 1,000 ドル/ha であった。

アフリカにおける灌漑開発では、設計・施工に加え、運用・維持管理まで、主に政府主導で実施されてきた。このため、中規模・大規模の灌漑スキームでは、施設完成後の運用・維持管理の際に、技術的にも財政的にも困難な状況に陥り、持続性が確保できない事例が多かった。しかし、小規模灌漑開発では簡易堰と土水路を建設し、農家レベルで灌漑施設を運用・維持管理していたことから、持続性が担保されることとなる。



写真 2.4 恒久堰（粗石練積み）、左岸取水（左）、両岸取水（右）

（２） 全体平面

本灌漑グループの全体平面を写真 3.1 に示す．写真の左側上部から中央下段に繋がる濃い緑色の帯は，現況河川および河川周辺の低湿地帯である．左側上部に取水堰が位置し，取水堰から低湿地帯沿いに赤線で示されているのが幹線水路である．幹線水路と低湿地帯の間に青線で示された圃場で灌漑農業が営まれている．また，幹線水路の上側では，広い丘陵地で雨期作の天水農業が行われ，円形の畑は焼畑農業の痕跡である．

また，後述する「流量測定」に関して，取水部，中流部，下流部の 3 箇所で行っており，それぞれの測定位置も写真 3.1 に示す．



写真 3.1 全体平面（衛星画像），取水堰，幹線水路，圃場および流量測定位置

(3) 取水堰および水路始点部

本灌漑グループの灌漑施設は JICA の支援を受けて、2009 年に簡易堰と幹線水路(土水路)が農家により建設された。簡易堰は河川を横断するように 1 列に木杭を打ち込んで、木杭の間に草を編み込み、河川水位を堰上げる「シングルライン堰」が建設された(「2.2 小規模灌漑開発の実績」写真 2.3 参照)。

その後、1 回の乾期に灌漑農業を経験し、2010 年に JICA の支援により、簡易堰の直上流地点にコンクリート製の取水堰(高さ 1.8m、長さ 12.5m、控え壁式擁壁)と粗石練積の水路(始点部 30m 区間、底幅 50cm の台形断面)が建設された(写真 3.2, 写真 3.3)。この時も農家が主体となり建設が行われ、建設に参加した農家は 33 名(女性 13 名、男性 20 名)であった。



写真 3.2 恒久堰（コンクリート）



写真 3.3 粗石練積み水路(始点部)

(4) 幹線水路（土水路）および水口

幹線水路（ $L=2.55\text{km}$ ）の水路線形は、取水堰から末端まで水路勾配 1/500 で計画された。幹線水路は始点部以外土水路で、低湿地帯との間の限られた圃場が灌漑畑であり、上流部は草が多く有機物が多い土壌で（写真 3.4）、中流部以降は粘土分も多くなり、土水路は安定していた（写真 3.5）。

2016 年の乾期では 22 名の農家が作付を行い、作付面積は 4.3ha であった。2009 年に水路が建設される以前は河川や低湿地帯周辺でバケツによる灌漑を行っていた。灌漑用水は土水路の幹線水路を経て、水口より灌漑畑に直接分水される（写真 3.6）。



写真 3.4 土水路（上流部）



写真 3.5 土水路（中流部）



写真 3.6 水口（直接分水）

（５） 水盤灌漑

本灌漑グループでは主に小さな耕区（概ね 1m×5m 未満）の水盤灌漑により灌漑が行われていた（写真 3.7）。圃場内水路から各耕区へ、鍬で土を動かして灌漑水をコントロールし順番に灌漑していた。①，②，③の番号を示した耕区は同一で、灌漑水が流れ込んでいく状況が分かる。なお、本灌漑グループでは水盤灌漑を用いる農家が多いが、他のグループでは畝間灌漑も利用されていた。



写真 3.7 灌漑状況（水盤灌漑）

（６） 栽培作物と圃場の様子

本灌漑グループでは多くの灌漑作物は水盤灌漑により栽培され，主にトウモロコシ（非乾燥用），トマト，葉物野菜（キャベツ，セイヨウアブラナ，ハクサイ（不結球））等が栽培されていた（写真 3.8～3.11）．



写真 3.8 トウモロコシ圃場



写真 3.9 トマト圃場



写真 3.10 キャベツ圃場



写真 3.11 セイヨウアブラナ圃場

(7) 水路縦断面図

50m ピッチで幹線水路底面を計測した結果を水路縦断面図に示す（図 3.2）．水路延長は 2.55km，水路全体の高低差は 4.8m であり，全体の水路勾配は 1/531 であった．計画した水路勾配は 1/500 であったので，簡易水準器を用いた水路線形決定技術が適正に活用できていると推察される．なお，上流側よりも下流側の水路敷高が高く逆勾配となっている箇所が数カ所あるが，部分的であり問題とならず灌漑は行われていた．

また，3 箇所（取水部，中流部，下流部）において流量測定を行った位置（取水部，中流部，下流部）および，各農家の圃場位置も図 3.2 に示す．圃場の数は 23 圃場（上流：5，中流：7，下流 11）であるが，この内，上流と下流の 2 圃場を同じ農家が作付けしているため，農家の数としては 22 名であった．

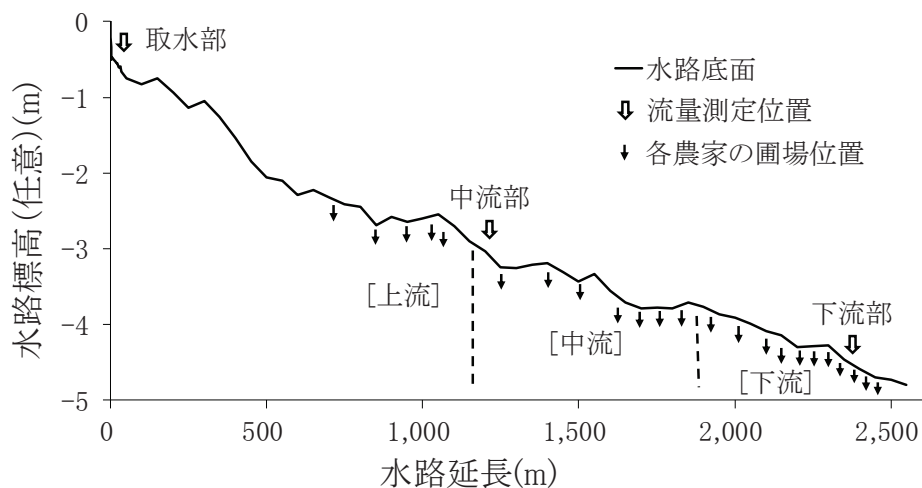


図 3.2 水路縦断面図

3.2 調査の方法

(1) 灌漑グループの基礎調査

本灌漑グループの農業生産性や農家の生計の状況を把握するため、2015/2016年の雨期作と2016年の乾期作の収穫量・収入調査を2017年2月に実施した。調査の対象農家は22名で、聞き取り形式で行った。調査項目は栽培作物、作付面積、作物販売額、営農コスト、作物生産による農業所得額（利益額）であり、雨期作と乾期作に区分して調査した。また、作物生産以外の農業収入と農業以外の収入についても聞き取りを行った。さらに、今後の灌漑農業の普及拡大の可能性を調査するため、同じ地区内の丘陵地で天水農業のみを営み、乾期に灌漑農業を行わない「天水農家」に対して、灌漑農業を行いたい理由や灌漑農業に期待する効果などについて聞き取りを行った。

(2) 流量測定および搬送効率

本灌漑グループの幹線用水路である土水路の搬送効率を検討するため、取水部（水路始点部から 19m 地点）、中流部（1,200m 地点）、下流部（2,390m 地点）の 3 カ所（写真 3.1, 図 3.2 参照）において、プロペラ式流速計を用いて流量測定を行った（写真 3.12）。測定は 2018 年 5 月 21 日、8 月 30 日、9 月 20 日に行い、搬送効率は下流側の流量を上流側の流量で除して算定した。

技術協力の実績において、北部 3 州の小規模灌漑地区の平均水路延長は約 1km であったが、水路延長が 4km 程の地区もあるため、今後の適用性を考慮して 1km 当たりの搬送効率を算定した。1km 当たりの搬送効率は式(1)により算定した。

$$Ec' = (Q_{out}/Q_{in})^{1/L} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 Ec' : 1km 当たりの搬送効率 (%/km),

Q_{in} : 上流側の流量 (m^3/s),

Q_{out} : 下流側の流量 (m^3/s),

L: 区間延長 (km)



写真 3.12 流量測定状況（取水部）

(3) 灌漑管理の実態調査

各圃場に対する灌漑管理の実態調査は、灌漑グループの全農家に対して、灌漑期間中に灌漑の記録を依頼して、その後記録したノート回収しデータを整理した。調査は2017年4月～10月と2018年5月～11月の2回の乾期に実施した。各農家へ依頼した項目は、農家ごとの作物別栽培面積、灌漑した日および時間である。なお、同じ作物を異なる時期に栽培した場合は、灌漑記録を分けて整理した。また、灌水量を算定するため、幹線水路から直分した水口に鉄板を加工した三角せきを設置し、三角せきの越流水深、水口水路の幅、水路底から三角せきの切り欠けまでの高さを測定した。写真3.13に、農家が記載した灌漑記録ノートと、政府職員が三角せきの測定方法について指導している状況を示す。なお、調査期間中に政府職員が月に1回の頻度で、農家の灌漑記録の確認を行った。

記録したデータに基づき、作物別区画ごとに、灌漑期間、灌漑回数、灌漑面積、さらに水理公式集(土木学会, 1999)に提示されている「直角三角せき」の式より、1回の灌水量、灌漑期間中の合計の灌水量を整理し、平均間断日数、1日当たりの平均灌水量および1回当たりの平均灌水量を算定した。なお、2017年では15名から30区画の記録を回収して、有効なデータは26区画、2018年では14名から24区画の記録を回収して、有効なデータは20区画、2年間で合計46区画のデータを用いて、各項目について検討した。



写真 3.13 灌漑記録ノート（左），三角せきの測定指導状況（右）

(4) 気象データ

ペンマン法により蒸発位を算定するため、ミニ気象ステーション (Spectrum Technologies 社製 : WatchDog ウェザーステーション 2900ET) を用いて、気温、相対湿度、風速、日照時間を 30 分間隔で実測した。なお、ミニ気象ステーションは盗難防止のため、調査圃場から約 25km 離れた農業省農業研究所内に設置した (写真 3.14)。気象データは 2018 年 4 月～10 月の実測データを用いた。ただし、データ欠損した場合には同時期の前年または翌年で代用した。それぞれの日平均の最大値、最小値、平均値は、気温 (°C) が 26.9, 13.8, 19.7, 相対湿度 (%) が 85.4, 31.7, 61.8, 風速 (m/s) が 1.0, 0.1, 0.4, 日照時間 (h/d) が 11.0, 7.5, 9.4 であった。



写真 3.14 気象データ観測機器

(5) 蒸発散量

実測した気象データから設計基準 農業用水 (畑) (2015) に準じて、ペンマン法により蒸発位 (E_p) を算定し、作物係数 (K_c) を乗じて、蒸発散量 (ET) を推定した。なお、作物係数は作物および生育ステージ別に概ね 0.7~1.1 に変化するが、本研究では様々な作物が異なった時期と期間に栽培されたこと、多くの作物で苗床から圃場に定植した後に灌漑の記録を残しており、播種・定植期の特定が難しく、かつ作物係数が 0.7 となる播種・定植期が短期間であったと推察されることから、作物係数は全ての期間において、 $K_c=1.0$ として計算を行った。

(6) 適用効率

適用効率は、「有効根域域に貯えられた水量」を「圃場に届けられた水量」で除したものと定義される。有効根域域に貯えられた水量は消費された流量 (= 蒸発散量)、圃場に届けられた水量は灌水された流量 (= 平均灌水量) とし、「蒸発散量」を「平均灌水量」で除して、適用効率を算定した。なお、適用効率は 100% を上限とした。

3.3 結果および考察

3.3.1 灌漑グループの基礎調査結果

(1) 栽培作物、作付面積および農業所得額

灌漑グループ全体の栽培作物、各項目の内容および年間収入の内訳を表 3.1 に示す。2015/2016 年の雨期作の栽培作物は、主食用のトウモロコシ（乾燥用）、キャッサバが中心であり、乾期作の栽培作物は、トマト、トウモロコシ（非乾燥用）、ラッカセイ、葉物野菜（セイヨウアブラナ、ハクサイ（不結球））などであった。作付面積は全体では雨期作が 32.0ha、乾期作が 4.3ha となり、1 農家当たりの平均作付面積は雨期作が 1.5ha、乾期作が 0.2ha であった。広大な丘陵地で行われる雨期作の天水農業に比較して、灌漑畑の作付面積は小さく集約的な灌漑農業が営まれていることが示された。

作物販売額から営農コストを差し引いて求めた、作物生産による農業所得額（利益額）は、全体では雨期作が 79,839ZMW（約 8,000 ドル）、乾期作が 17,446ZMW（約 1,700 ドル）となり、1 農家当たりの平均では雨期作が 3,629ZMW（約 360 ドル）、乾期作が 793ZMW（約 80 ドル）であった。これは、雨期作は乾期作の 4.6 倍の利益を生み出しており、雨期作が主体的な収入源となっていたことが示されている。また、1 農家 1ha 当たりの作物生産による農業所得額を比較すると、雨期作では約 2,400ZMW（約 240 ドル）、乾期作では約 4,000ZMW（約 400 ドル）となり、乾期作は 1ha 当たり約 1.7 倍の収入が得られた。灌漑農業が集約的で効率的な農業を営んでいたことが示唆される。なお、ZMW はザンビア国の現地通貨（クワチャ）。米ドルとの換算レートは 2016 年 5 月末を参考に、1 ドル＝約 10 ZMW で換算した。

表 3.1 1農家当たり年間収入の内訳

項 目	栽培作物/内容	金額(ZMW)(比率)
雨期作(2015/16)	トウモロコシ, キャッサバ, ラッカセイ, サツマイモ	3,629 (65%)
乾期作(2016)	トマト, トウモロコシ, ラッカセイ, 葉物野菜	793 (14%)
作物生産以外の農業	飼養(鶏, 豚), 芋虫の採取, 養魚, 果樹	352 (6%)
農業以外	家賃収入, 日雇い労働, 小売り販売(魚など)	840 (15%)
合 計		5,613 (100%)

（２） 年間収入内訳

作物生産以外の農業収入は、主に鶏の飼養・販売と芋虫の採取・販売であり、1 農家当たりの平均は 352ZMW（約 40 ドル）であった。農業以外の収入は、家賃収入、日雇い労働と小売り販売（魚など）で、1 農家当たりの平均は 840ZMW（約 80 ドル）であった。これらの各項目の収入が年間の収入に占める割合は、雨期作の農業収入が 65%と最も多く、次いで農業以外の収入が 15%、乾期の灌漑農業が 14%、その他の農業収入が 6%となった。これは、雨期作が最も重要な収入源となっていることを示しているが、乾期作の収入も 14%を占めており、灌漑農業は雨期作中心の農家にとって、農閑期となる時期に収入が得られる貴重な営農体系であると推察される。

（３） 灌漑農業に期待される効果

灌漑農業を実践していない「天水農家」に灌漑農業について聞き取りをした結果、灌漑農業を行いたい理由は、雨期作だけでなく乾期でも収入や食料が得られることや、乾期の作物の方が高く販売できることであった。また、灌漑農業に期待する効果は、収入が増えて子供を学校に通わせることや家を建てる資金に充てたいこと、雨期作物の種子や肥料などに充てたいことであった。これらは灌漑農業への重要な動機付けであり、同じ地区内の灌漑農家から正の効果を見聞きした結果であると推察される。

また、灌漑農業を実践していない理由については、自分の畑の近隣に水源や灌漑水路がないこと、新規に灌漑グループに入ることは土地と用水不足のため困難ということであった。灌漑が可能となる畑は、水源、地形および土地利用の条件が整う必要があり、灌漑可能面積は限られる。灌漑面積および灌漑農家を増加させるためには、適切で有効な水管理を行うことが非常に重要であることが示唆されている。

（４） 灌漑グループと北部３州の灌漑農家の農業生産性の比較

本灌漑グループと第４章に後述する「小規模灌漑開発の効果」の対象地域である北部３州の灌漑農家において、農業生産性について比較検討を行った。農業生産の指標は、平均作付面積、平均作物生産額および作付面積当たりの平均作物生産額の３項目とし、表３.２に示す。

雨期作では灌漑グループの平均作付面積と平均作物生産額は、北部３州の約１.４倍（１.４７／１.０８，７，７２８／５，４４６）であり、作付面積当たりの平均作物生産額はほぼ同額であった。これは雨期作に関して、本灌漑グループの方が土地利用条件は良く、栽培技術や自然条件は同等であったと推察される。一方、乾期作では灌漑グループの平均作付面積、平均作物生産額および作付面積当たりの平均作物生産額が全て北部３州の調査地区よりも、小さい値となっていた。乾期作に関しては、調査年が２０１６年と２０１５年で異なることから単純に比較ができないものの、灌漑グループは北部３州の調査地区よりも土地利用条件が劣り、また平均作物生産額と単収が低いことから、自然条件の影響や灌漑農業の栽培技術・水管理能力が劣っていた可能性があるかと推察される。

表 ３. ２ 灌漑グループと北部３州の灌漑農家の比較（農業生産の指標）

項 目	灌漑グループ			北部３州の灌漑実践農家 (インパクト調査結果より)		
	雨期作 (2015/16)	乾期作 (2016)	合計	雨期作 (2015/16)	乾期作 (2015)	合計
平均作付面積(ha)	1.47	0.20	1.67	1.08	0.31	1.39
平均作物生産額 (ZMW)	7,728	1,854	9,582	5,446	3,930	9,376
作付面積当たりの平 均作物生産額 (ZMW/ha)	5,257	9,270	5,738	5,043	12,677	6,745

3.3.2 土水路の搬送効率

(1) 流量測定の結果

幹線水路の3地点で3回の流量測定を行った結果を表3.3に示す。1回目の測定では全体的に流量が多いが、2回目と3回目の測定では、取水部で1回目よりも半分以下の流量となった。これは、1回目の測定は乾期の始まりである5月に行われ、河川流量と取水量が豊富であったが、2回目と3回目の測定は乾期の後半となる8月末と9月に実施されたため、河川流量が減少して取水量も減少していたと推察される。

表 3.3 流量測定の結果 (l/s)

測定位置	1回目(5/21)	2回目(8/30)	3回目(9/20)
取水部	114.5	47.0	40.8
中流部	65.8	37.9	32.2
下流部	56.5	36.5	25.6

(2) 土水路の搬送効率

3 地点で流量測定した結果に基づき算定した、各区間の搬送効率を表 3.4 に示す。まず搬送効率はそれぞれの流量測定時と区間において算定し、それらの平均値を求めた。そして、各区間において式(1)により、1km 当たりの搬送効率を算定した。取水部～中流部の 1km 当たりの搬送効率は 76%/km で、中流部～下流部の 89%/km よりも低くなっている。これは、上流部の幹線水路沿いで有機物を多く含む土壌が見られ、また水路清掃（堆砂除去、草刈り）を 5 月中旬に行ったため、1 回目の測定時ではこの区間の搬送効率が 58%と低く、土水路の側面や底面から灌漑用水が多量に浸透していたと推察される。また、1 回目の測定後 3 ヶ月以上が経過し、灌漑用水と共に流れてきた粘土分が、多量に浸透していた箇所を塞ぐように水路内に留まり、2 回目と 3 回目の測定では、この区間の搬送効率が 81%と 79%になり、搬送効率が上昇したと推察される。

以上の結果から、幹線水路全体では 1km 当たりの搬送効率は、約 80%/km と算定された。搬送効率について国内の基準では管路やライニング水路を想定し、90~95%（農林水産省農村振興局, 2015）が適用されているが、海外では土水路の水路延長が 200~2,000m に対して、砂で 70%、ロームで 75%、粘土で 85%と提示されている（FAO, 1989）。現地圃場の土性は、砂・シルト分が多く、深さ 30~40cm から粘性土を含む土壌が見られ、前田・松尾（1974）で示された簡易判定法により砂壤土と判断した。しかし、土水路の側面・底面を見ると圃場と比べ粘土分が多く、側面が安定していたため、ロームから粘土に掛けての土性と推定されるので、搬送効率 80%/km は妥当な数値であると推察される。

表 3.4 各区間の搬送効率 (%)

区間	1回目	2回目	3回目	平均値	区間延長(m)	1km当たりの 搬送効率
取水部～中流部	57.5	80.6	79.0	72.3	1,181	76.0
中流部～下流部	85.9	96.4	79.7	87.3	1,190	89.2
取水部～下流部 (水路全体)	49.3	77.7	62.9	63.3	2,371	82.5

3.3.3 灌漑管理の実態および搬送効率

(1) 灌漑畑の作付状況

2017 年と 2018 年の灌漑畑の作付状況を図 3.3 に示す。2017 年ではトウモロコシ（38%, 0.5ha）、キャベツ（22%, 0.3ha）、トマト（19%, 0.2ha）が主に作付けされ、2018 年ではトマト（49%, 0.6ha）、トウモロコシ（33%, 0.4ha）が主に作付けされていた。トウモロコシは雨期作では主食用に乾燥されるが、乾期作では乾燥せずに茹でたり焼いたりして食され、高値でマーケットに販売できるため、農家の作付が多くなったと推察される。また、トマトは料理の味付けとして非常に好まれ、一年を通して需要の高い野菜であるため、作付が多くなったと推察される。なお、農家ごとの作物別栽培面積については 2 年分を合わせて、250m² 未満が 16 区画、250~500m² が 13 区画、500~1,000m² が 13 区画、1,000m² 以上が 4 区画で、平均 530m² であった。

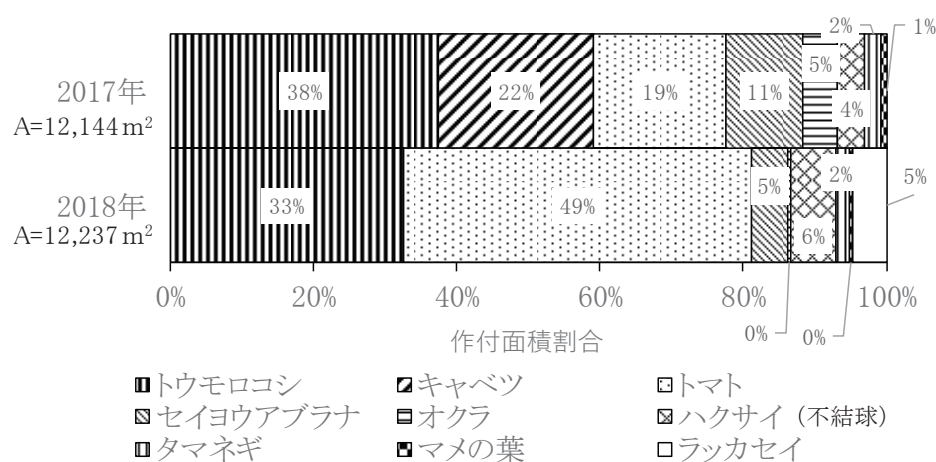


図 3.3 灌漑畑の作付状況（2017年，2018年）

(2) 1回の灌水量

2017年(n=432)と2018年(n=371)における、各区画への1回の灌水量の度数分布を図3.4に示す。10～20mmの灌水回数が最も多く41%を占め、次に10mm未満と20～30mmが17%と多かった。100mmを超えるものは131mmと119mmの2回あり、全体の平均値は24mmであった。これは日本における畑地灌漑の実態と比較しても、平均値の24mmは極めて妥当で、ほぼ全容易有効水分量(TRAM)相当であると推察される。

TRAMは土性や作物の生育状況によって異なるため標準値となる値はないが、山本(1989)によると、砂壤土のTRAMが32.5mm、砂丘砂のTRAMが17.5mmとされていた。なおこの時、砂壤土の24時間含水量(pF1.5～2.0)は22%、成長阻害水分点(pF3.0)は9%、容易有効水分量(RAM)は13%、土壤水分消費型(SMEP)は40%、30%、20%および10%、制限土層は第1層としてTRAMが算出された。また、千家・西出(1988)では、砂壤土の容易有効水分量を15%前後としていたので、同様に算定すればTRAMは37mmと算定される。さらに、有森・林(2014)によれば、深さ0～10cmのSMEPを46.3%とし、砂壤土のTRAMは16mmと示された。

上記の文献より、本灌漑グループ圃場のTRAMを20～30mm程度と推定し、適用効率を60%とすると、50mm以上の灌水は過剰灌水と考えられ、その割合は全体の10%に過ぎず、各農家はほぼ適正な灌水管理が行われていたことが示唆される。また、過剰灌水の農家を指導することによって、より効率的な水管理の実現も可能であると推察される。

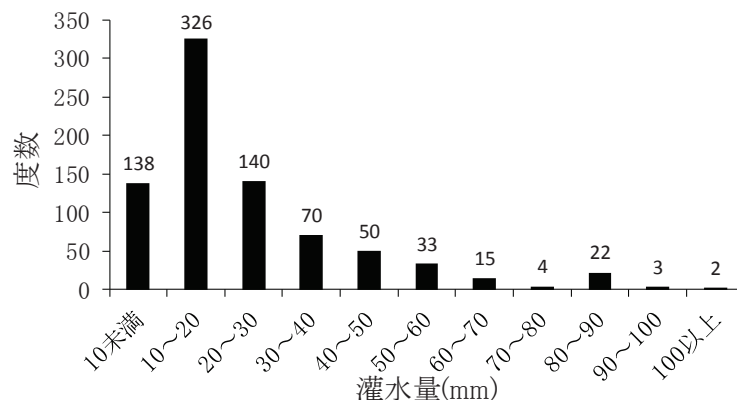


図 3.4 1回の灌水量度数分布 (n=803)

(3) 1日当たりの平均灌水量

1日当たりの平均灌水量 (mm/日) は、各区画の全灌水量 (m³) を灌漑面積 (m²) で除して、さらに灌漑期間 (日) で除した値である。2017 年 (n=26) と 2018 年 (n=20) の 1 日当たりの平均灌水量の度数分布を図 3.5 に示す。1 日当たり 4～6mm の度数が最も多く 37%、次に 2～4mm が 26%、6～8mm が 13%であった。1 日当たりの平均灌水量は 6.3mm であった。「本項 (7) 蒸発散量」に後述するが、蒸発散量は 3～6mm/日であり、適用効率を 60% とすると、1 日当たりの圃場での必要水量が 5～10mm/日と算定される。このため、1 日当たり 4～6mm の度数が最も多く、1 日当たりの平均灌水量が 6.3mm であった。これは、適切な水管理が行われていたことを示すデータであると推察される。

ただし、1 日当たり 10mm 以上の灌水量は過剰灌漑と推察され、これに該当するのは、7 区画、2 名の農家であった。この内の 1 名は幹線水路の最上流地点から取水している農家で、2017 年と 2018 年に 3 区画ずつ合計 6 区画において 10mm 以上の灌水となった。これは最も上流に位置した区画のため、豊富に流れている灌漑用水を過剰に灌水した結果と推察される。もう 1 名の農家は中流域で営農し、1 日当たりの平均灌水量は 10.4mm であった。

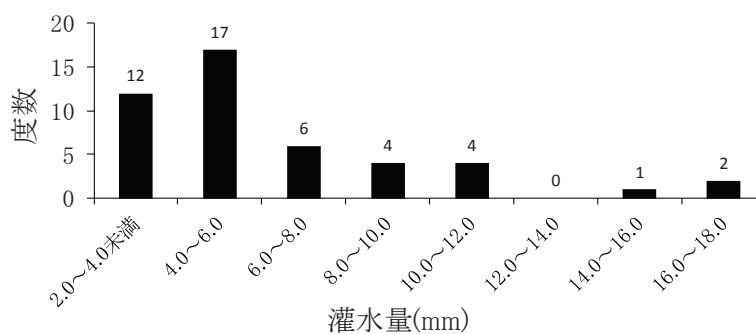


図 3.5 1日当たりの平均灌水量度数分布 (n=46)

また、圃場を上流、中流、下流の3つのグループに分けて、1日当たり平均灌水量を平均すると、上流で8.1mm (n=19)、中流で5.7mm (n=17)、下流で3.9mm (n=10)となり、上流、中流、下流の順で低下していた。これは開水路において一般に、上流側ほど流量が多いので、水路幅が同じであれば下流と比較して水路内の水深が深くなる。その結果、上流の圃場の取水は容易となり過剰灌水となる傾向がみられ、本地区でも同様の現象が発生したと推察できる。

すなわち、上流の農家に過剰灌水がないよう適切な水管理の指導を行えば、灌漑グループ全体でより効率的な灌漑が可能となる。一方、共同利用である幹線水路内では下流側農家への配慮のため、水路途中に水位を堰上げるための障害物を置かないルールになっているが、下流域の農家が取水する際に流量が少ない場合には、水路内に土のうや石を設けて水位を上げる対処法も併せて指導することが重要であると考えられる。

調査年が異なるため参考となるが、「3.3.1 灌漑グループの基礎調査結果」に示している2016年の乾期作に関し、作付面積当たりの作物生産による農業所得額は、全体の平均が3,938ZMW/haであり、上流の農家の平均が3,758ZMW/ha、中流の農家が6,720ZMW/ha、下流の農家が2,234ZMW/haであった。中流の農家が最も作付面積当たりの農業所得額が高く、下流の農家が低かった。10,000ZMW/haを超える農家は上流には1名、中流には2名いたが、下流では最も高い農家でも6,900ZMW/haであった。2016年の乾期作も2017年および2018年と同様に、1日当たりの平均灌水量が下流で少ないと考えれば、灌水量が十分ではなかった可能性があり、作付面積当たりの農業所得額が低くなったと推察される。

(4) 平均間断日数

平均間断日数（日）は、各区画の灌漑期間（日）を灌漑回数（回）で除した値である。

図 3.6 に、平均の間断日数の度数分布を示す。平均間断日数は 2.2～6.5 日の範囲で分布し、全体の平均値は 4.3 日であった。4～5 日の頻度が最も多く 41%，次に 3～4 日が 22%，5～6 日が 20%であった。平均間断日数の分布は正規分布を示しており、これは雨がでない乾期の灌漑であるため、降雨による土壌水分の補給がなく、規則的な灌水間隔となっていたと推察される。また、聞き取り調査においても週に 2～3 回の灌水を行うとの回答であり、間断日数は 3～5 日となるので、算定結果は妥当であると推察される。

平均間断日数が短い 2～3 日未満は、6 区画 5 人の農家（上流と中流）が灌漑しており、この内 2 人の農家は灌漑農業の習熟度の高い農家であった。一方、間断日数が長い 6～7 日は、2 区画 1 人の農家で上流部に位置しており、比較的収量が低い農家であった。間断日数が短いと土壌水分の変化量が少なく、かつ多くの水分量が保たれ、また細かな栽培管理も行われて、収量が多くなったと推察される。

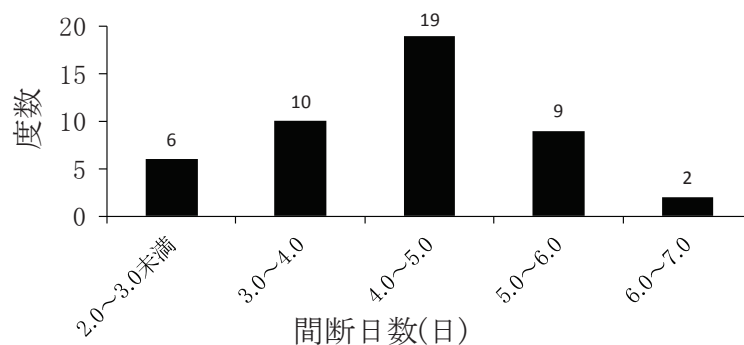


図 3.6 平均間断日数の度数分布 (n=46)

(5) 平均間断日数と1回の平均灌水量の関係

平均間断日数と1回の平均灌水量の関係について、図 3.7 に示す。1回の平均灌水量(mm)は、各区画の全灌水量(m^3)を灌漑面積(m^2)で除して、さらに灌漑回数(回)で除した値である。1回の平均灌水量は、6.9~72.7mm に分布し、平均は 26.7mm であった。平均間断日数との関係について、間断日数が増えると、1回の平均灌水量が増加する傾向がみられ、1日の平均灌水量が 5mm/日の直線(図中の実線)の近くに多く分布している。これは、「本項(3)1日当たりの平均灌水量」で示したように、1日当たり圃場での必要水量が 5~10mm/日と算定されることから、農家が比較的妥当な水管理を行っていることを示す重要なデータである。一方で、1日の平均灌水量が 10mm/日の直線(図中の破線)を超えるデータも散見されるが、1日当たり 10mm を超える圃場では適用効率を考慮しても過剰灌水であると考えられる。1日当たり 10mm を超える圃場は 7 区画あり、「本項(3)1日当たりの平均灌水量」で既に示しているが、最も上流に位置する農家が 6 区画を占めており、灌漑時期が 5 月中旬から 8 月上旬で蒸発散量が 3~4mm であるので、適用効率を考慮しても過剰灌水と考えられる。なお、この時期は幹線水路内の水量も十分にあるので、下流への影響はほとんどないと推察するが、過剰灌水は土壌や肥料分の流出が懸念されるので望ましくない。もう 1 区画は中流域の習熟度の高い農家のトマト圃場であるが、栽培時期が 8 月上旬から 10 月中旬で蒸発散量が 4~6mm と上昇する時期であるので、適用効率を 60%とすれば、ほぼ妥当な水管理を行っていると考えられる。

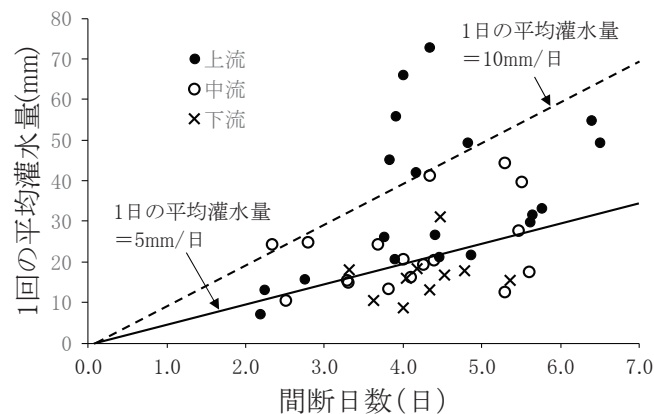


図 3.7 平均間断日数と1回の平均灌水量の関係 (n=46)

(6) 平均灌水量（全区画の1日の平均灌水量の平均）

図 3.8 に示す平均灌水量は、各区画において灌漑期間中の「1 日当たりの平均灌水量」は同一とし、同じ日に栽培していた全ての区画の「1 日当たりの平均灌水量」を平均したものである。平均灌水量は 4.6～6.8mm の範囲で推移し、平均値は 5.8mm である。4 月下旬から 5 月上旬を除いて、その他の期間では 6mm 前後で推移した。これは農家が灌漑期間中、ほぼ同じような水量を圃場に灌水していることを示している。

一方、河川からの取水量は毎年乾期の始めである 4 月から乾期の終わりの 11 月に掛けて徐々に減少していた。2017 年では全体的に流量が少なく、10 月には中流と下流へ灌漑用水がほとんど流れなくなった。このため、10 月は灌漑を中止した農家が多数いた。しかし、2018 年では 4 月から流量が多く、10 月の乾期でも流量は十分にあったので、灌漑を続けた農家が多数いた。このような状況においても、灌漑期間を通じて同程度の灌水量となっていたことから、水管理の方法としては一回の灌水量は変えずに、蒸発散量が増加する 8 月以降は間断日数を短くして、一日当たりの灌水量を調整する方法が農家としても理解しやすいと示唆される。

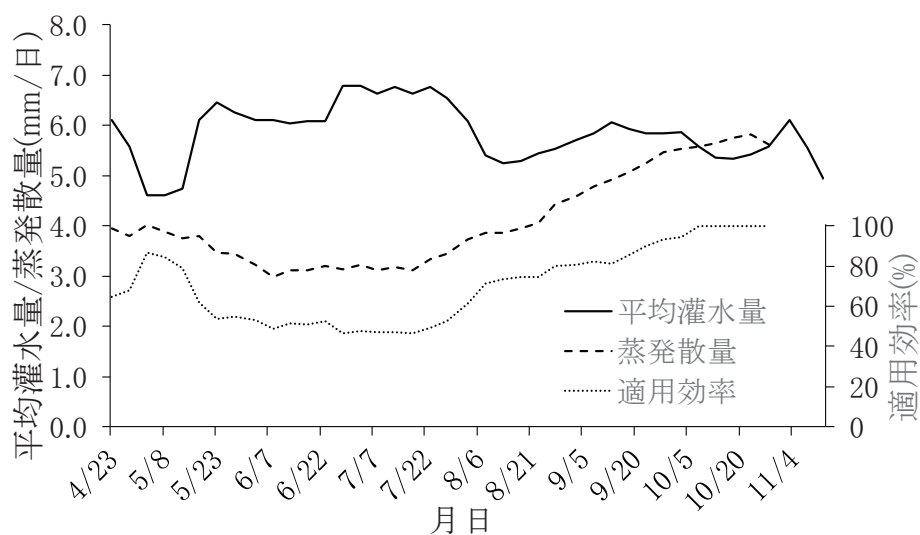


図 3.8 平均灌水量，蒸発散量，適用効率（半旬毎）

(7) 蒸発散量

図 3.8 に示す蒸発散量は、作物係数を 1.0 として算定しているので、蒸発散位と同一の値となった。蒸発散量は 3.0 (6 月第 2 半旬) ~ 5.8mm (10 月第 5 半旬) の範囲で推移し、この期間の平均は 4.1mm/日であった。これは気温の低い 6~7 月の蒸発散量が低く、8 月以降気温が次第に高くなって、10 月の蒸発散量が最も高くなり、気温の変化と同様に推移していた結果と推察される。なお、本研究では灌漑期間中の作物係数を 1.0 と仮定して蒸発散量を算定しているが、本地区の主要作物であるトウモロコシ、トマト、キャベツに対するペンマン法の作物係数を平均すると、播種・定植期で 0.7、成長期で 1.0、完熟期・収穫期で 0.8 となるので、現在の値より低くなると考えられるが、本地区は水盤灌漑が中心となるので作物係数(土壌面蒸発も含め)は 1.0 に近づくと推察される。

(8) 適用効率

実測した気象データからペンマン法により蒸発散量を求め、1日の平均灌水量のデータを用いて適用効率を算出した。図 3.8 に示す適用効率は、4～7月では 46～68%で推移して平均で 53%、8～10月では 61～100%で推移して、平均で 86%となった。なお、5月第1～3半旬までは異常値として除外した。適用効率は蒸発散量の変化に追随するように変化し、4～7月は 50%（蒸発散量が低い）、8～10月は 80%（蒸発散量が増加、灌水量が減少）となった。これは、FAO（1989）によると、水盤灌漑の適用効率は 60%と示され、日本の設計基準では地表灌漑の場合、目標値として 70%以上になるように示されており、妥当な結果と推察される。なお、9月第2半旬から適用効率が 80%を超えて、10月第2半旬からは適用効率が 100%を超えていた。これは灌水量が不足していた状態であったと考えられる。

また、乾期の前半では取水量が豊富であることから、特に上流部で過剰灌水となる傾向があった。しかしながら、1日あたり 4～6mm 程度の適切な灌水をしている農家も多数いた。乾期の後半では適用効率を考慮すれば 8～10mm 程度の灌水をしても良いが、上流部の農家達が 6mm 程度の灌水をしており、取水量が少なくなったことから、やむを得ず十分に灌漑ができなかったことと推察することもできる。しかし一方で、中流部の農家がほぼ同時期に 10mm 程度の灌水をしていたことから、用水量不足な状態となっておらず、単純に季節にかかわらず一定の灌水をしていた可能性が十分にあると推察される。

3.4 まとめ

小規模灌漑農業が導入された灌漑グループにおいて、先ず基礎調査として作付、年間の収入および灌漑農業に期待される効果などについて調査を行い、そして、幹線水路（土水路）において流量測定を行って搬送効率を算出し、さらに、地区全体の区画毎に灌漑管理の実態を調査して分析を行った。

基礎調査については、天水農業の雨期作による収入が年間収入全体の65%を占めており、灌漑農業の乾期作による収入が14%となっていた。乾期作での収入は本来農閑期となる時期であるため、重要な収入源となっていた。また、灌漑農業によって収入が増えたことで、通学や家を建てる資金に充てること、雨期作物の投入資金に充てることが期待されていた。

土水路の搬送効率については、3回の流量測定の結果より全区間の平均値を踏まえて、1km当たりの搬送効率を80%と算定した。なお、土水路の側面・底面はロームから粘土に掛かる土性と推定された。

灌漑管理の実態調査については、作物別区画ごとに灌漑期間、灌漑回数、灌漑面積および灌水量のデータを整理して分析した結果、本灌漑グループの1回の灌水量は平均24mm、1日当たりの平均灌水量は6.3mm、平均間断日数は4.3日であった。また、平均間断日数と1回の平均灌水量の関係についてプロットすると、1日の平均灌水量が5mm/日を示す直線の近くに多く分布していた。これにより、一部農家による過剰な灌水はあるものの、概ね適正な灌漑が行われていたことが分かった。さらに、全区画の1日の平均灌水量（同一日）を平均した値は4.6～6.8mmの範囲で推移し、平均値は5.8mmであった。蒸発散量は作物係数を1.0として算定すると、蒸発散量は3.0～5.8mmの範囲で推移し、平均は4.1mm/日であった。そして、適用効率は蒸発散量の低い4月から7月で50%、蒸発散量が多くなる8月から10月で80%であった。

第4章 小規模灌漑開発の効果

4.1 栄養不良に対する取り組みと栄養・食料関連の指標

(1) 世界の栄養不良に対する取り組み

これまで国際機関やドナーは様々なプロジェクトで栄養改善に取り組んできたが、十分な成果が得られていない。こうした背景において、2008年に医学誌ランセットにおける母子低栄養について結論づけた論文を皮切りに、世界の取り組みが本格化した。

これを受け、2010年に途上国の栄養不要の解決に取り組むため、SUNムーブメント(Scaling Up Nutrition Movement)が国連の主導により発足した。SUNでは、マルチ・セクター・アプローチ(組織や分野を横断する取り組み)が掲げられており、栄養改善への取り組みの拡充を図っている。SUNには国際機関、民間企業、市民社会等が広く参画しており、日本政府もSUNに基金を拠出して、この国際的な動きを支援している。

また、翌2011年には国連ハイレベル会議、2012年はG8会議、2014年にはローマ栄養宣言の公約として栄養改善への取り組みが次々と宣言され、2015年に提言された持続可能な開発目標SDGs(Sustainable Development Goals)の目標2では、MDGs(Millennium Development Goals:ミレニアム開発目標(2000年))では明記されていなかった「栄養」という言葉が組み込まれ、「飢餓に終止符を打ち、食料の安定確保と栄養状態の改善を達成するとともに、持続可能な農業を推進する」との具体的な目標が掲げられた。

（２） ザンビア国での栄養不良に対する取り組み

ザンビア国は SUN の立ち上げ当時から加盟している国の一つであり、保健省が中心となり活動が行われている。国が掲げる目標は、価格が手ごろで栄養価の高い食糧の摂取、安全な水へのアクセス、整備された公衆衛生管理、そしてヘルスケアへのアクセス向上であり、それにより成長阻害状態の子供の割合減少、5 歳児未満死亡率の減少、母子の微量栄養素欠乏状態の割合減少、などとしている。

SUN の活動では、マルチ・セクトラルな（組織や分野を横断して）栄養改善が提唱されており、ザンビア国農業省は「妊娠中及び授乳中の母親のための多様な食生活の促進」、「栄養に配慮したメッセージの配信」を担当しており、ビタミン A が豊富なオレンジトウモロコシ、オレンジスイートポテトの栽培と、それら食物の妊産婦および幼児の積極的な摂取を推進している。なお、農業省は州事務所、郡事務所に「Food and Nutrition Officer」を配属している。

(3) 栄養改善関連指標

栄養不良（低体重，成長障害，消耗症，過栄養）を示す指標について，ザンビア国，東
西アフリカ諸国，および世界の推定値をみた場合，ザンビア国は他と比較して高い割合を
示している（図 4.1，UNICEF，2016）．成長障害率は 45%以上が「極めて深刻」と判定
されるなか，ザンビア国は 40%と高い割合となっている．

また，成長障害率に関して州毎のデータがあり，対象地域の北部州，ルアプラ州，ムチ
ンガ州はザンビア国の中でも高い数値になっている（図 4.2，WFP, 2016）．特に北部州は 45
～49%と高い数値である．

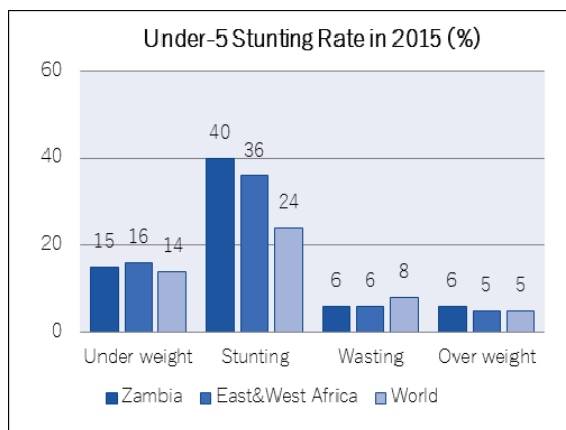


図 4.1 成長障害率の比較

出典：The State of the World's Children 2016 -A fair chance for every child (UNICEF,2016)

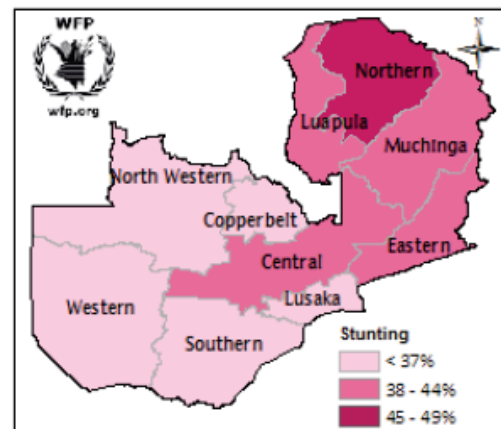


図 4.2 州毎の成長障害率

出典：Implications of El Niño in Southern Africa from a Food and Nutrition Security Perspective (WFP 2016)

（４） 地域の貧困状況

ザンビア国内の地域の状況を示す指標として、州毎および居住地の貧困ギャップ率を示す（図 4.3, Republic of Zambia Central Statistical Office, 2015）。貧困ギャップ率（Poverty Gap Ratio）は、貧困層の支出・収入がどの程度貧困線を下回っているかを示す指標であり、貧困層の貧困状況がどれほど深刻かを図る指標になる。

貧困ギャップ率は全体で 26.4%，農村部（39.2%）は、都市部（8.5%）の約 5 倍となっている。また、ルアプラ州で 45.4%，北部州で 45.2%，ムチンガ州で 35.9%であり、北部地域はザンビア国の中でも高い値を示しており、貧困が深刻な地域であることが分かる。

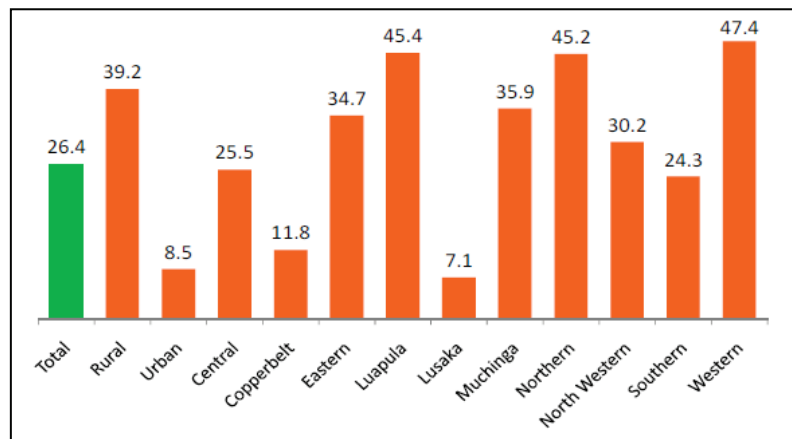


図 4.3 州毎および居住地の貧困ギャップ率（2015 年）

出典：Living Conditions Monitoring Survey Report 2015
(Republic of Zambia Central Statistical Office)

（５） 食材の多様性と食料安全保障の指標

WFP（World Food Programme：世界食糧計画）では、2016年から2020年にザンビア国で国別プログラム（Country Programme Zambia (2016-2020)）を実施しており、慢性的な栄養失調に対処して小規模農家の生計維持の支援や、隣国コンゴ民主共和国からの難民を支援している。定期的な報告書である Standard Project Report 2017（WFP, 2017）には、食材の多様性と食料安全保障の指標である、FCS (Food Consumption Score) と CSI (Coping Strategy Index) が示されていた。なお、FCS と CSI の説明は、「4.2 調査の方法（３）食材の多様性、（４）食料安全保障」に示す。

FCS と CSI について、国別プログラムの最終年の目標値とともに、2015 年 12 月、2016 年 11 月、2017 年 11 月における調査結果の数値が示されていた。FCS は、可処分所得（自由に使える収入）の増加と WFP の支援による作物の多様化に起因して、食料消費スコア（FCS）が低い世帯の割合が大幅に減少したと示されていた（表 4.1）。なお、スコアが 35 を超える数値は 2017 年の報告書には、記載が無かったためここで算定した。

また、CSI については、表 4.2 によると、2016 年では CSI スコアが低下または安定した世帯の割合は 20.1%（54.1-34.0）増加したが、2017 年では 4.8%（49.3-54.1）減少したことになる。ここでは FCS と CSI は、同じ地域の状況変化を捉える指標として利用されている。

表 4.1 FCSの世帯割合（%）

スコア		目標:2020.12	2015.12	2016.11	2017.11	備考
0-21	乏しい	<1.0	5.0	3.5	2.0	WFP, 2017
21.5-35	中間	<8	37	36.5	14.7	WFP, 2017
>35	望ましい	<91	58	60	83.3	上記より算定

表 4.2 CSIの世帯割合（%）（スコアが低下または安定した世帯の割合）

項 目	目標:2020.12	2015.12	2016.11	2017.11
スコアが低下または安定	>80.0	34.0	54.1	49.3

(6) 食事の例：雨期と乾期の1日の食事内容

一般的なザンビア国の農家の献立の一例を紹介する（表 4.3）。朝食，昼食および夕食における品目数が乾期よりも雨期のほうが多い。雨期には，キノコや，間食としてのマンガーやマスク（小さい果実で柿のような味），キャタピラ（芋虫・毛虫を乾燥したもの）等，森林で捕獲・採取できるこれらの食糧が食事品目に加わっている。キャッサバの葉や主食であるシマは，年間を通してほぼ毎食食べられているようである。また，写真 4.1 にルアブラ州のある家庭の食事風景および食事内容（シマ，イフシム，ウボワ）を示す。なお，シマはトウモロコシ（メイズ）やキャッサバの粉を湯で練り固めて作られる。

表 4.3 雨期と乾期の1日の食事内容

乾期			雨期		
食事内容	料理名	材料	食事内容	料理名	材料
朝食 8h30	茹キャッサバ	キャッサバ、塩	朝食 8h30	茹キャッサバ	キャッサバ、塩
	シマ	メイズ粉、キャッサバ粉		シマ	メイズ粉、キャッサバ粉
昼食 14h30	チワワ	キャッサバの葉、トマト、 タマネギ、調理油、塩	昼食 14h30 (写真)	チワワ	キャッサバの葉、トマト、 タマネギ、調理油、塩
	イフシム	キャタピラ、トマト、 タマネギ、調理油、塩		イフシム	キャタピラ、トマト、 タマネギ、調理油、塩
				ウボワ	キノコ、トマト、タマネギ、 調理油、塩
夕食 19h00	シマ	メイズ粉、キャッサバ粉	夕食 19h00	シマ	メイズ粉、キャッサバ粉
	チワワ	キャッサバの葉、トマト、 タマネギ、調理油、塩		チワワ	キャッサバの葉、トマト、 タマネギ、調理油、塩
	イフシム	キャタピラ、トマト、 タマネギ、調理油、塩		イフシム	キャタピラ、トマト、 タマネギ、調理油、塩
				ウボワ	キノコ、トマト、タマネギ、 調理油、塩
間食	なし		間食		マンガー、マスク、キャタピラ



写真 4.1 ある家庭の食事風景（左），食事内容（シマ，イフシム，ウボワ）（右）

4.2 調査の方法

(1) 調査の概要

本調査は 2016 年 10 月から 12 月に実施した。北部州，ルアプラ州，ムチンガ州の北部 3 州から，それぞれ 3 郡ずつ計 9 郡を調査対象郡として選んだ。丘陵地で雨期作の天水農業を営み，乾期に灌漑農業を行わない農家を「天水農家」，丘陵地で雨期作の天水農業を営み，乾期に水路周辺で灌漑農業を営む農家を「灌漑実践農家」に区分し，両者について年間（雨期作＋乾期作）の作物生産額等を比較して灌漑の効果を評価した。なお，灌漑実践農家は天水農業と灌漑農業の両方を営んでおり，それらの合計が灌漑実践農家の作物生産額となるため，年間での分析とした。

天水農家と灌漑実践農家がそれぞれの営農を行っている地区を「天水農家群」，「灌漑実践農家群」とした。各郡から天水農家群と灌漑実践農家群をそれぞれ 1 群以上選び，天水農家群を 13 群，灌漑実践農家群を 19 群，合計 32 群を選定し，農家世帯に調査を行った。調査した世帯数は 1 群で 10 世帯程度，合計 315 世帯であった。なお，灌漑実践農家には灌漑農業の経験が 5 年以上の農家と 5 年未満の農家が混在した。

(2) 調査項目

調査項目は小規模灌漑開発によって、灌漑実践農家において効果が期待される項目を整理して設定した。期待される効果、調査区分、対象、調査項目および内容を表 4.4 に示す。

①農業生産性、②農家の生計、③食材の多様性、食料安全保障、④栄養状態の内、①～③ではアンケート票を用いて農家世帯への聞き取り調査を、④では児童への身長・体重の実測調査を実施した。なお、調査区分の内、収穫量・収入調査は、天水農業の雨期作（2015年から2016年に掛けての雨期に栽培）と灌漑農業の乾期作（2015年の乾期に栽培）に分けて行い、栄養調査は1週間の食費支出や食事内容、非常時の1週間の栄養摂取方法を聞き取った。③食材の多様性・安全保障、④栄養状態の調査項目と調査内容の詳細について、次項に示す。

表 4.4 インパクト評価における調査項目一覧表

期待される効果	調査区分	対象	調査項目	調査内容
① 農業生産性	収穫量・収入調査	世帯	作付面積(雨期, 乾期作)	雨期作面積, 乾期作面積(ha)
			作物生産額(雨期, 乾期)	品目別生産量×品目別農家販売価格(ZMW)*
② 農家の生計	収穫量・収入調査/栄養調査	世帯	農業所得額	作物生産粗収益－営農コスト(ZMW)*
			食費支出額(雨期, 乾期)	1週間の食費支出額(ZMW)*
③ 食材の多様性, 食料安全保障	栄養調査	世帯	食材の多様化	1週間の食品摂取回数
			食料安全保障	非常時の1週間の栄養摂取方法
④ 栄養状態	身長・体重測定	児童	体重	年齢に対する身長
			身長	年齢に対する体重
			体重－身長比	身長に対する体重

*) ZMW はザンビア国の現地通貨（クワチャ）。米ドルとの換算レートは2016年5月末付を参考に、1ドル＝約10 ZMW で換算した。

（３） 食材の多様性

食材の多様性は、WFP（World Food Programme：世界食糧計画）が考案した、1週間分の食品摂取回数をスコアリングする手法（FCS（Food Consumption Score））を用いて食材の多様性を評価した。これは特に途上国において、食材の多様性を数値化する指標として用いられている手法である。食品は8つのグループ（主食、豆類、野菜、果物、肉・魚類、牛乳、砂糖、油脂）に分けて聞き取り、各グループに重みを乗じて、足し合わせ算出した。FCSは3つに大別され、21以下が食材の多様性に乏しい状態、35を超えると食材の多様性が望ましい状態とされ、21～35までが中間となる（WFP, 2008）。雨期と乾期に区分して聞き取りを行った。

（４） 食料安全保障

食料安全保障は、WFPとCARE（Cooperative for Assistance and Relief Everywhere：海外援助救援協会）により開発された、世帯内食料安全保障の評価指標CSI（Coping Strategy Index）を用いて評価した（Daniel and Richard, 2008）。乾期の十分な食料とお金がない時にどのように食料不足への対応を取ったか、1週間の対処行動からスコアリングを行った。親族や友人に食品やお金を借りた回数、食事を取らなかった回数、食事の量を減らした回数、未熟な野菜・果実の摂取回数などについて聞き取りを行った。結果を比較してCSIの値が小さいほど世帯内で十分な食料が確保できているとされる。

(5) 栄養状態

栄養状態については、農家世帯の児童（月齢 20～59 ヶ月）の身長および体重を測定し、WHO（World Health Organization：世界保健機関）による基準値との差異を標準偏差の倍数で表現する Z スコアを用いて評価した。Z スコアは WHO のソフトウェアである WHO Anthro（v3.22）を用いて分析した（WHO, 2011）。分析した項目は、年齢に対する身長（HAZ：Height-for-age）、年齢に対する体重（WAZ：Weight-for-age）、身長に対する体重（WHZ：Weight-for-height）の 3 つである。HAZ, WAZ, WHZ のスコアが -2 より小さい場合、それぞれ成長障害 Stunting（年齢に対して低身長：HAZ<-2）、低体重 Underweight（年齢に対して低体重：WAZ<-2）、消耗症 Wasting（身長に対して低体重：WHZ<-2）となる。指標の値が -2 未満の場合は中・重度で、-3 未満の場合は重度と定義される。また、成長障害は慢性の栄養不良、低体重は急性と過去における栄養不良、消耗症は急性の栄養不良または疾病に伴う体重低下が現れるとされている。

なお、児童の身体測定方法について、体重測定は設置型のデジタル式体重計、身長測定は立位型の可動式身長測定器を用いた（写真 4.2）。



写真 4.2 設置型の体重測定（左）、立位型の可変式身長測定器（右）

4.3 データの検査

(1) 評価対象とする世帯数の決定

欠損のない有効なデータとなる農家世帯数は、天水農家と灌漑実践農家を合わせて、収穫量・収入調査が 298 世帯、栄養調査が 222 世帯、身長・体重測定が 212 世帯（1 世帯 1 児童の調査）であった。収穫量・収入調査から身長・体重測定まですべてが整う有効なデータは、201 世帯となった。有効なデータ数は表 4.5 に示すとおりである。

天水農家と灌漑実践農家の農家世帯が同じような条件下で評価できるようにするため、雨期作の作付面積と生産額に着目し、雨期作の作付面積と生産額が同程度であれば、耕地の土地利用や世帯の働き手の人数の条件が同程度であると仮定した。このため、雨期作の作付面積と生産額の標準偏差が同程度となるように、雨期作の作付面積が 3.0ha を超える 6 世帯を除き、195 世帯（天水農家 n=76、灌漑実践農家 n=119）でインパクト評価を行った。また、各評価において t 検定を行った。

表 4.5 有効データの内訳

項 目	群数	農家世帯 (収量・収入調査)	農家世帯 (栄養調査)	5歳未満児童 (栄養調査:身体測定)
天水農家	13群	126世帯(8)	88世帯(46)	88人(6)
灌漑実践農家	19群	172世帯(9)	134世帯(47)	130人(4)
合 計	32群	298世帯(17)	222世帯(93)	212人(10)
		201世帯(収入・収量調査から栄養調査まで欠損のない世帯)		

* 表中の()の数字は、データの欠損を示す。

(2) 評価対象とする世帯の関係および分布

インパクト評価に供試する 195 世帯の雨期作の作付面積と作物生産額の関係を図 4.4 に示す。また、この時の雨期作の作付面積と作物生産額の分布を図 4.5 に示す。四分位範囲の 1.5 倍を超えた外れ値は、作物生産額の天水農家で 1 世帯、灌漑実践農家で 3 世帯、作付面積では両者共に 0 世帯であった。

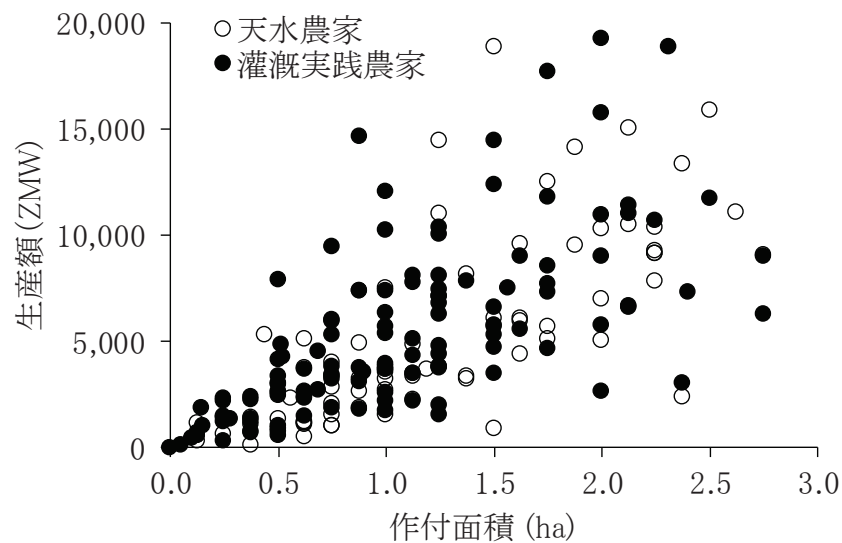


図 4.4 雨期作の作付面積と作物生産額の関係
(195世帯：インパクト評価に使用する調査データ)

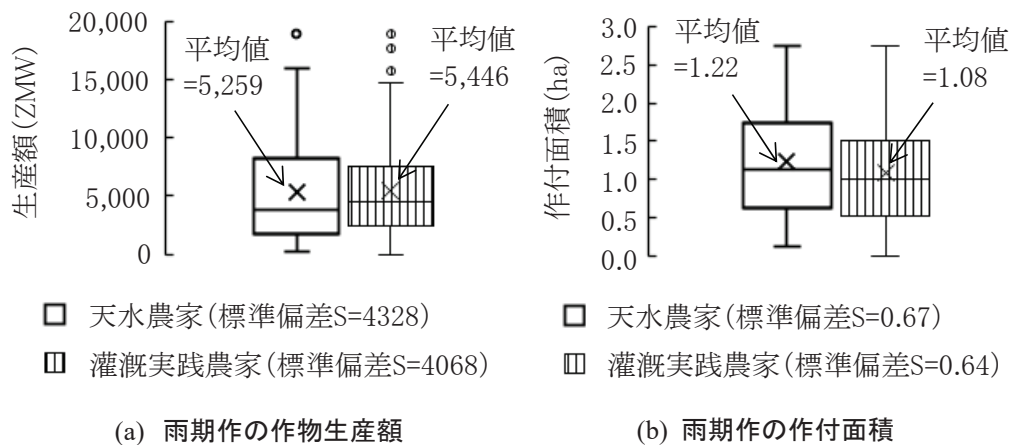


図 4.5 雨期作の作物生産額と作付面積の分布

4.4 結果および考察

4.4.1 農業生産性

(1) 作付面積

本地域の雨期作は、水はけの良い丘陵地で天水農業が行われ、粗放的に穀類やイモ類を中心に栽培されている。一方、乾期作は、小河川から取水した灌漑水路周辺の低位部の限られた圃場で、集約的に野菜を中心に栽培されている。このように灌漑実践農家において、雨期作の圃場（天水農地）と乾期作の圃場（灌漑農地）は基本的に異なり、灌漑農地は天水農地よりも狭く、天水農地は非灌漑である。なお、一部の農家では灌漑農地を使って雨期に園芸作物などを栽培するケースもあるが、雨期の栽培が適さない土地である場合や次の乾期の栽培のために地力の回復を図ることから、雨期に灌漑農地で作付けされる面積は限定的であると推察される。

作付面積は天水農家では雨期作（天水農地）のみ、灌漑実践農家では雨期作と乾期作（灌漑農地）を足し合わせた面積とした。各地区の作付面積毎の世帯割合を図 4.6 に示す。天水農家で最も広い雨期作の作付面積は 2.75ha であり、灌漑実践農家では 3.19ha（雨期作 2.50ha＋乾期作 0.69ha）であった。

天水農家の世帯割合は、0.5～1.0ha 未満が 30%と最も多く、次に 1.0～1.5ha 未満が多かった。灌漑実践農家の世帯割合は、1.0～1.5ha 未満が 30%と最も多く、次に 0.5～1.0ha 未満が 26%と多かった。どちらも 0.5～1.5ha 未満の範囲で 50%を超えていた。

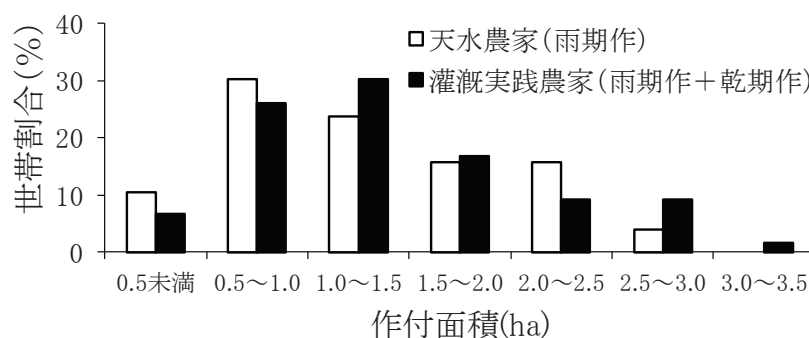


図 4.6 作付面積の世帯割合

また、天水農家の平均作付面積は 1.22ha、灌漑実践農家の平均作付面積は 1.39ha（雨期作 1.08ha＋乾期作 0.31ha）であった（表 4.6）。灌漑実践農家の作付面積は、天水農家の 1.14 倍であり、灌漑による作付面積増加の傾向があった（ $p=0.10$ ）。

表 4.6 農業生産の指標の比較

項 目	天水農家	灌漑実践農家	p値
	雨期作	雨期作+乾期作	
平均作付面積(ha)	1.22	1.39	N.S
平均作物生産額(ZMW)	5,259	9,376	[対]**
作付面積当たりの平均農業生産額(ZMW/ha)	4,311	6,745	—

注)[対]: 対数変換後, N.S: $p>0.05$, *: $0.01<p<0.05$, **: $P<0.01$, —: 計算無し

(2) 作物生産額

作物生産額は各世帯が生産した作物について、生産数量に販売価格を掛けて算出した。ここでは、自家消費を含んだ作物生産の全量を評価の対象とした。栽培した作物すべてを自家消費し、販売していない農家世帯に対しては、同じ地区内での販売価格の平均値を用いて、その作物の作物生産額を算出した。雨期作の作物は、主食用のトウモロコシ（乾燥用）、キャッサバ、ラッカセイを中心に、穀類やイモ類が多く、乾期作の灌漑作物はトマト、キャベツ、タマネギ、セイヨウアブラナ、ハクサイ（不結球）を中心に、野菜やトウモロコシ（非乾燥用）などが多かった。各地区の作物生産額毎の世帯割合を図 4.7 に示す。

天水農家では農業生産額が 5,000ZMW（約 500 ドル）未満が 59%で過半を占め、次に 5,000～10,000ZMW（約 500～1,000 ドル）が 25%となった。一方、灌漑実践農家では 5,000ZMW 未満と 5,000～10,000ZMW が、31%と 30%でほぼ同じ割合で高く、次に 10,000～15,000ZMW が 20%と高かった。灌漑実践農家は年間（雨期作＋乾期作）の作物生産額が天水農家よりも全体的に高かった。

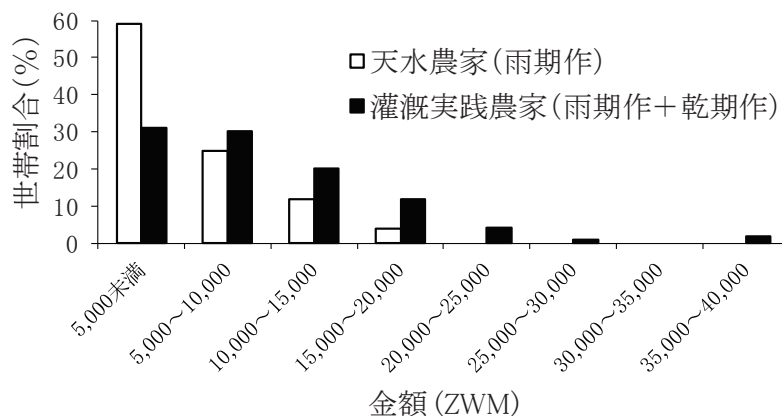


図 4.7: 作物生産額の世帯割合

平均の作物生産額について、天水農家では 5,259ZMW、灌漑実践農家では 9,376ZMW（雨期作 5,446＋乾期作 3,930）であった（「4.4.1（1）作付面積」に示す、表 4.6 を参照）。灌漑実践農家と天水農家に有意差が認められ、灌漑実践農家の作物生産額は天水農家の値の 1.8 倍になり、灌漑実践農家の作物生産額の方が高かった。雨期作の作物生産額は同程度であるので、乾期の灌漑農業により年間の作物生産額が増加することが明らかとなった。

なお、灌漑実践農家で作物生産額が 35,000ZMW を超える農家は 2 世帯であった。この内の 1 世帯について詳述すると、雨期作ではトウモロコシとラッカセイを栽培し、作物生産額は 17,750ZMW、乾期作でもラッカセイとトウモロコシ（非乾燥用）を栽培し 17,700ZMW、合計の作物生産額は 35,450ZMW であった。また、雨期作の作付面積は 1.75ha、乾期作が 1.0ha、合計 2.75ha であった。雨期作、乾期作共に本調査での平均作付面積を超えており、特に乾期作の作付面積が広く、多くの作物生産額を得ていた。

(3) 作付面積と作物生産額の関係と面積当たりの平均作物生産額

前述した天水農家と灌漑実践農家の作付面積と作物生産額を図 4.8 に示す。両者共に作付面積がおよそ 2.5ha 以下、作物生産額がおよそ 20,000ZMW 以下の農家世帯が多く分布し、灌漑実践農家の方が全体的に高い作物生産額に分布していた。回帰直線の傾きは、面積当たりの作物生産額を示すが、灌漑実践農家の傾きが大きく、面積当たりの作物生産額が高かったことが示唆される。

また、平均作物生産額を平均作付面積で除した面積当たりの平均農業生産額を表 4.6 (「4.4.1 (1) 作付面積」) に示す。天水農家では 4,311ZMW/ha、灌漑実践農家では 6,745ZMW/ha (雨期作 5,043, 乾期作 12,677) となった。灌漑実践農家の農業生産額は、天水農家の 1.6 倍となり、灌漑の農業生産性向上への効果が明らかとなった。特に灌漑実践農家では乾期作の面積当たりの農業生産額が高く、雨期作よりも 2 倍以上の生産額となり、粗放的な雨期作の農業よりも乾期の灌漑農業の方が集約的な農業生産が営まれていたことが分かる。

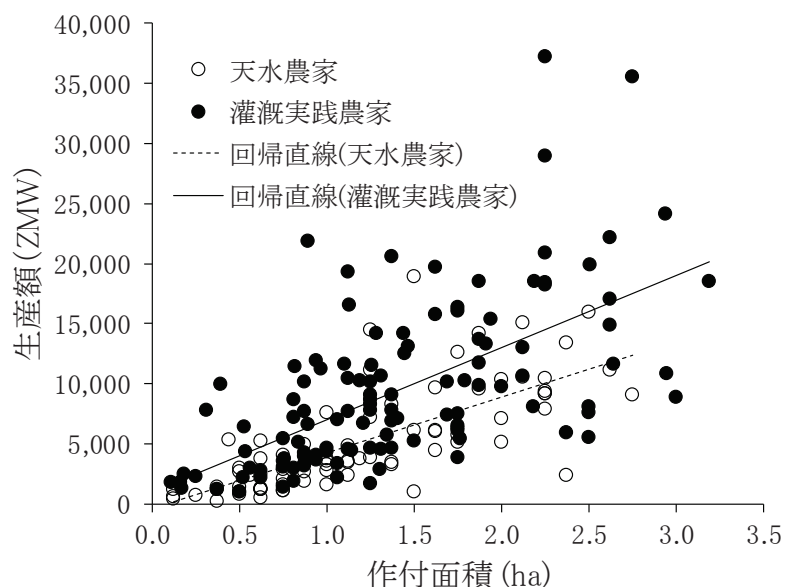


図 4.8: 作付面積と作物生産額の関係

4.4.2 農家の生計

(1) 作物生産による農業所得額

作物生産による農業所得額は現金収入を示し、作物生産の粗収益から営農コストを引いたものである。なお、粗収益は実際に販売した金額であり、自家消費やキズ等により販売できなかった生産物は含まれていない。営農コストは種子、肥料、農薬、人を雇った場合の営農コストやマーケットまでの運搬費を含む。天水農家と灌漑実践農家の作物生産による農業所得額の世帯割合を図 4.9 に示す。

天水農家では 5,000ZMW（約 500 ドル）未満が 87%と非常に多く、灌漑実践農家においても、5,000ZMW 未満の割合は 68%と過半を占め、5,000～10,000ZMW と合わせると、10,000ZMW までで 90%となった。多くの農家が作物生産による農業所得額が 5,000ZMW 未満であった。

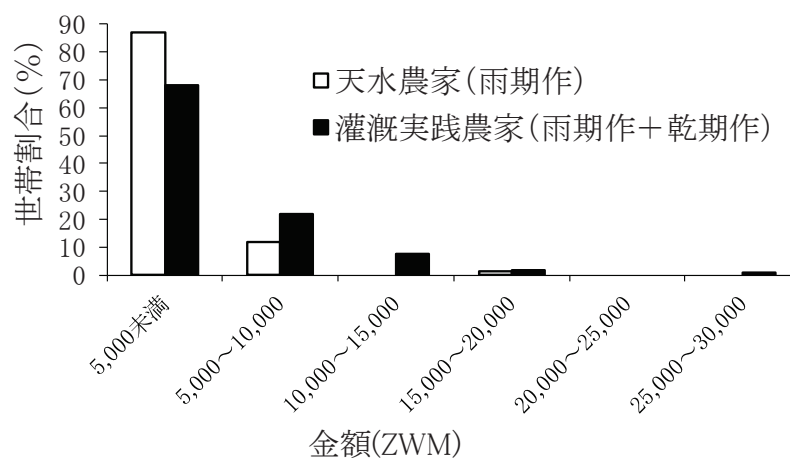


図 4.9 作物生産による農業所得額の世帯割合

平均の作物生産による農業所得額は、天水農家で 2,208ZMW、灌漑実践農家で 4,553ZMW（雨期作 2,366＋乾期作 2,187）であった（表 4.7）。灌漑実践農家と天水農家に有意差が認められ、灌漑実践農家では天水農家の 2.1 倍となった。天水農家と灌漑実践農家の雨期作はほぼ同額であり、これに灌漑実践農家の乾期作分の農業所得額が追加されるので、乾期作の影響が大きく 2 倍以上となった。表 4.6（「4.4.1（1）作付面積」）に示された作付単位面積当たりの作物生産額と同様に、灌漑農業による乾期作での農業所得額が高かったことが示された。

作物生産額から作物生産による農業所得額を減じると、自家消費、営農コストおよび廃棄ロス分の合計金額が算出される。天水農家では約 3,000ZMW、灌漑実践農家では約 5,000ZMW（雨期作約 3,000＋乾期作約 2,000ZMW）となった。雨期作の自家消費などは両者共に 3,000ZMW で乾期作よりも 1,000ZMW 高かった。これは、雨期作では主食を主に栽培しているため、自家消費に多く充てられていたことや、作付面積が広く営農コストも高くなったためと推察される。

また、灌漑実践農家で作物生産による農業所得額が 25,000ZMW を超える農家が 1 世帯あった。この農家は「4.4.1 農業生産性（2）作物生産額」の項で示した農家と同じであり、農業所得額は 26,300ZMW（雨期作 10,050ZMW＋乾期作 16,250ZMW）であった。作物生産額と同様に農業所得額も高く、この農家は習熟した灌漑農業の営農技術を得ていたと推察される。

表 4.7 農家の生計の指標の比較（ZMW）

項 目	天水農家	灌漑実践農家	p値
	雨期作	雨期作+乾期作	
平均農業所得額	2,208	4,553	[対]**
平均食費支出額(雨期)	118	154	[対]**
平均食費支出額(乾期)	98	129	[対]**

注)[対]: 対数変換後, N.S: $p>0.05$, *: $0.001<p<0.05$, **: $P<0.001$

(2) 食費支出額（雨期と乾期の1週間の食費支出額）

食費支出額は雨期および乾期に区分し、1週間の食費支出を食材別に聞き取りして結果を整理した。雨期と乾期の食費支出額の世帯割合を図 4.10 に示す。

天水農家の食費支出額は、雨期と乾期で 50ZMW（約 5 ドル）未満が 37%と 42%で最も多く、次に 50～100ZMW（約 10 ドル）が多く、どちらも 100ZMW までは全体の約 70%を占めていた。灌漑実践農家では雨期において、50～100ZMW が 25%と最も多く、次に 50ZMW 未満が 23%と多かった。乾期においては 50ZMW 未満が 29%と最も多く、次に 50～100ZMW が 23%と多かった。この結果から、雨期と乾期共に灌漑実践農家は天水農家よりも、食費支出額に関して高い世帯が多かったことが分かる。

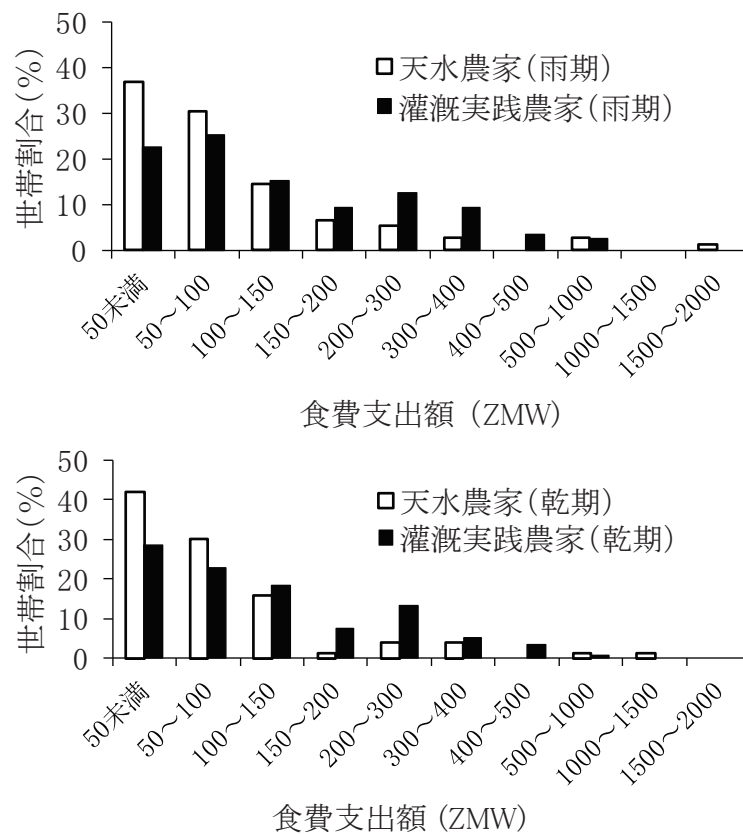


図 4.10 食費支出額の世帯割合
(雨期：上段，乾期：下段)

天水農家における雨期の平均食費支出額は 118ZMW で、乾期は 98ZMW、灌漑実践農家における雨期の平均の食費支出額は 154ZMW で、乾期では 129ZMW であった（「4.4.2（1）作物生産による農業所得額」に示す、表 4.7 を参照）。灌漑実践農家と天水農家に有意差が認められ、灌漑実践農家の食費支出額は、雨期と乾期共に天水農家よりも 1.3 倍高かった。食費支出額の傾向は作物生産額と農業所得額の傾向と一致することから、作物生産と農業所得の向上に応じて所得が食費に還元され、食費支出額が高くなったものと推察される。

4.4.3 食材の多様性・食料安全保障

(1) 食材の多様性 (FCS)

スコアリングした結果を3つに大別し、表4.8に食材の多様性の世帯数割合を示す。天水農家のスコアは、雨期で22～98に分布し、乾期で17～81に分布した。スコアが21以下は1世帯のみであった。灌漑実践農家のスコアは、雨期で23～94に分布し、乾期で25～106に分布した。雨期において食材の多様性が望ましい状態(スコア>35)は、天水農家で78%、灌漑実践農家で92%である。同様に乾期において望ましい状態は、天水農家で74%、灌漑実践農家で90%である。雨期と乾期共に、灌漑実践農家の方が望ましい状態が多く、食材の多様性が認められた。

また、天水農家の雨期と乾期の平均スコアは46で、灌漑実践農家の雨期の平均スコアは53、乾期の平均スコアは51であった(表4.9)。灌漑実践農家と天水農家に有意差が認められた。これらの結果は食費支出額と同様の結果であり、食費支出額の増加が食料摂取量を増やし、食材の多様性に大きく貢献したものと推察される。

表 4.8 食材の多様性の世帯割合 (%)

FCS	雨期		乾期	
	天水農家	灌漑実践農家	天水農家	灌漑実践農家
0～21	0.0	0.0	1.3	0.0
21～35	22.4	8.4	25.0	10.1
>35	77.6	91.6	73.7	89.9
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

表 4.9 食材の多様性 (FCS) の比較

項 目	天水農家	灌漑実践農家	p値
	雨期作	雨期作+乾期作	
平均のFCS(雨期)	46	53	**
平均のFCS(乾期)	46	51	**

注) N.S: $p>0.05$, *: $0.01<p<0.05$, **: $P<0.01$

なお、8つの項目（主食、豆類、野菜、果物、肉・魚類、牛乳、砂糖、油脂）の内、どの項目が要因となり FCS のスコアが 35 を超えているか把握するため、雨期と乾期に分けてスコアが 35 以下と 35 を超えるデータを区分し、それぞれの項目の平均値を算出した（表 4.10, 4.11）。

その結果、雨期と乾期ともに天水農家と灌漑実践農家で、豆類と肉・魚類において、スコアが 35 以下と 35 を超える値の差が大きく、その差は豆類で 4.6～7.7、肉・魚類で 7.9～13.6 となっており、豆類と肉・魚類が要因となっていたことが分かる。また、豆類よりも肉・魚類の方がその差が大きく、さらに、雨期と乾期ともに灌漑実践農家の方が天水農家よりも肉・魚類のスコアが高いので、乾期作の灌漑農業を営むことにより収入が増えて、肉・魚類の購入する機会が天水農家よりも増えたものと推察される。

表 4.10 スコア区分による各項目の平均値（雨期）

区分	主食	豆類	野菜	果物	肉・魚類	牛乳	砂糖	油脂	合計	
天水農家	0～35	13.2	1.4	5.4	5.8	1.6	0.0	0.5	2.0	29.9
	>35	13.9	8.0	6.6	6.2	<u>11.3</u>	0.8	1.1	2.6	50.6
	差	0.7	6.6	1.3	0.4	9.7	0.8	0.6	0.7	20.7
灌漑実践農家	0～35	14.0	2.4	6.4	3.8	1.6	0.0	1.1	1.9	31.2
	>35	14.0	7.0	6.8	6.2	<u>15.2</u>	1.6	1.5	2.8	55.1
	差	0.0	4.6	0.4	2.4	13.6	1.6	0.4	0.9	23.9

表 4.11 スコア区分による各項目の平均値（乾期）

区分	主食	豆類	野菜	果物	肉・魚類	牛乳	砂糖	油脂	合計	
天水農家	0～35	13.4	2.4	5.1	2.7	4.0	0.0	0.7	1.9	30.0
	>35	13.8	10.1	6.2	4.5	<u>11.9</u>	0.9	1.1	2.6	51.1
	差	0.4	7.7	1.1	1.9	7.9	0.9	0.4	0.8	21.1
灌漑実践農家	0～35	14.0	2.0	7.0	2.8	3.3	0.0	0.5	2.0	31.6
	>35	14.0	6.9	6.5	4.9	<u>14.5</u>	1.9	1.7	3.0	53.4
	差	0.0	4.9	-0.5	2.1	11.2	1.9	1.2	1.0	21.8

(2) 食料安全保障 (CSI)

天水農家の CSI のスコアは、1～74 に分布し、平均は 21.3 であり、灌漑実践農家の CSI のスコアは、0～68 に分布し、平均で 15.6 であった (表 4.12)。天水農家と灌漑実践農家の全農家世帯の CSI の平均スコアは 17.9 であった。これを標準として評価すると、CSI が 17.9 よりも小さい世帯数の割合は、天水農家において 45% (34/76 世帯)、灌漑実践農家において 66% (79/119 世帯) であった。灌漑実践農家は天水農家に比べて平均スコアを下回る世帯割合が多く、灌漑実践農家の方が食料安全保障について確保されていたことが確認された。なお、灌漑実践農家と天水農家に有意差も認められた。

灌漑実践農家では天水農家よりも食費支出額が高いので世帯内で必要な食料が購入することができ、また乾期でも作物を栽培しているので食料が身近にあり必要な食料が賄えたと考えられることから、CSI のスコアが小さくなったものと推察される。

表 4.12 食料安全保障 (CSI) の比較

項 目	天水農家	灌漑実践農家	p値
	雨期作	雨期作+乾期作	
平均のCSI	21.3	15.6	**

注) N.S: $p > 0.05$, *: $0.01 < p < 0.05$, **: $P < 0.01$

4.4.4 栄養状態

(1) 成長障害、低体重および消耗症の世帯割合

成長障害、低体重および消耗症の世帯割合を次ページの表 4.13 に、栄養状態の指標の平均値を表 4.14 に示す。

1) 成長障害 (HAZ)

天水農家の HAZ のスコアは-5.1～0.5 に分布し、平均は-2.0 であり、灌漑実践農家では-5.9～1.7 に分布し、平均は-1.9 であった。HAZ のスコアが-2.0 未満 (中・重度) となる成長障害の世帯割合は、天水農家と灌漑実践農家のどちらも 50%で、重度 (-3.0 未満) の成長障害は、灌漑実践農家が 21%で、天水農家の 9.2%と比較して割合が高かった。慢性的・長期的な影響を受ける成長障害には、灌漑の効果はみられなかった。

2) 低体重 (WAZ)

天水農家の WAZ のスコアは-6.7～0.8 に分布し、平均は-1.4 であり、灌漑実践農家では-5.0～1.2 に分布し、平均は-1.2 であった。WAZ のスコアが-2.0 未満 (中・重度) となる低体重の世帯割合は、天水農家と灌漑実践農家どちらも 22%ので、重度 (-3.0 未満) の低体重は灌漑実践農家が天水農家よりも若干低かった。灌漑実践農家は天水農家より改善がみられる傾向であった ($p=0.125$)。

3) 消耗症 (WHZ)

天水農家の WHZ のスコアは-8.0～1.7 に分布し、平均は-0.5 であり、灌漑実践農家では-4.6～3.4 に分布し、平均は-0.0 であった。WHZ のスコアが-2.0 未満 (中・重度) となる消耗症の世帯割合は、天水農家が 9.2%、灌漑実践農家で 4.2%、重度 (-3.0 未満) も天水農家が 3.9%、灌漑実践農家が 2.5%と、灌漑実践農家の方が小さな割合であり、天水農家より改善がみられた。なお、灌漑実践農家と天水農家に有意差も認められた。

表 4.13 成長阻害，低体重，消耗症の世帯割合（％）

項 目		天水農家	灌漑実践農家
成長阻害 中・重度	HAZ<-2	50.0	49.6
成長阻害 重度	HAZ<-3	9.2	21.0
低体重 中・重度	WAZ<-2	22.4	21.8
低体重 重度	WAZ<-3	6.6	3.4
消耗症 中・重度	WHZ<-2	9.2	4.2
消耗症 重度	WHZ<-3	3.9	2.5

表 4.14 栄養状態の指標の比較（平均値）

項 目	天水農家	灌漑実践農家	p値
	雨期作	雨期作+乾期作	
成長阻害 (HAZ)	-1.99	-1.94	N.S
低体重 (WAZ)	-1.42	-1.16	N.S
消耗症 (WHZ)	-0.51	-0.02	*

注) N.S: $p > 0.05$, *: $0.01 < p < 0.05$, **: $P < 0.01$

(2) 栄養改善に与える影響が高い項目

両者を対象に HAZ, WAZ, WHZ のスコアがすべて-2.0 以上となり栄養不良とならない児童がいる農家世帯 (n=73) と、スコアがどれか一つでも-2.0 未満で栄養不良となる児童がいる農家世帯 (n=122) に区分して、どの項目が栄養改善に与える影響が大きい比較検討を行った。その結果、作物生産額や作物生産による農業所得額はほぼ同程度で、食材の多様性 (FCS) や食料安全保障 (CSI) は 1.1 倍の差であったが、食費支出額では雨期で 1.5 倍、乾期で 1.3 倍、栄養不良とならない農家世帯が高くなった。このことから、食費支出額が栄養改善に最も影響を与えていることが示唆された。また、栄養摂取に直接関係する食費支出額が高いことから、自家消費も同様に栄養改善への影響が高く、食生活の改善が非常に重要であると推察された。

また、食費支出額と栄養改善の関係性について、エチオピア国での Fitsum et al. (2017) によると、消費支出は増加したが主に非食料品であり、栄養改善の有意性は認められなかったとされているので、本研究において食費支出額が高いと栄養改善に正の影響を与えたという結果は、妥当であると推察される。

(3) 栄養状態のまとめ

本研究の結果では、慢性的な影響を受ける成長阻害の灌漑による改善効果はみられず、短期的な影響を受ける低体重や消耗症の改善のみとなった。これは本調査で対象とした灌漑実践農家が、灌漑開発後 1 年から 7 年の灌漑経験年数であったため、成長阻害の改善には期間が短かった可能性が推察される。また、慢性的栄養不良の改善にはタンパク質やミネラルなどの必須微量元素の摂取不足も原因と考えられ、抜本的な食生活の転換が必要となるであろう。さらに、本研究は異なる場所での調査を実施したが、同一サイトで経年変化を捉えることにより、より正確な調査結果が得られるものと推察される。

4.5 まとめ

小規模灌漑農業の導入による効果を分析した結果、直接的な作物生産性の向上と収入増だけでなく、副次的な食材の多様化、食料安全保障や、栄養改善（低体重、消耗症）にも正の効果があることを定量的に明らかにした。しかしながら、慢性的な栄養不良である成長阻害の改善には、灌漑実践農家の効果が認められなかった。表 4.15 に、各インパクト評価の結果をまとめる。

表 4.15 インパクト評価結果一覧表

効果 の項目	切り口 (数値指標)	要因:灌漑導入	
		効果	天水農家, 灌漑実践農家
①農業生産性	作付面積	○	灌漑実践農家は天水農家の1.14倍の作付面積
	作物生産額	○	灌漑実践農家は天水農家の1.8倍の作物生産額
	面積当たりの作物生産額	○	灌漑実践農家は天水農家の1.6倍の面積当たりの生産額
②農家の生計	農業所得額	○	灌漑実践農家は天水農家の2.1倍の農業所得額
	食費支出額	○	雨期, 乾期共に灌漑実践農家は天水農家の1.3倍の支出額
③食材の多様性, 食料安全保障	多様化(FCS)	○	乾期, 雨期共に, 灌漑による食材の多様化を確認
	安全保障(CSI)	○	灌漑による食料安全保障を確認
④栄養状態	成長阻害(HAZ)	—	灌漑による効果が確認できない
	低体重(WAZ)	○	灌漑による効果の傾向が確認
	消耗症(WHZ)	○	灌漑による効果が確認

*効果:“○”効果あり, “—”効果はみられない

第5章 おわりに

本研究はザンビア国の北部地域である、北部州、ルアブラ州、ムチンガ州の3州を対象に、「小規模灌漑開発地区における灌漑管理の実態」と「小規模灌漑開発の効果」について、調査、検討、分析ならびに評価を行った。

灌漑管理の実態調査から、一部農家による過剰な灌水はあるものの、概ね適正な灌漑が行われていたことが分かった。上流部で過剰灌水をしていた農家に対して、適切な灌水量による灌漑を指導することで、下流部まで効率的な灌漑を行うことができ、また、ローテーション灌漑を行うことにより、公平な水配分を意識した灌漑用水の利用も促進されると推察される。さらに、下流側では取水が十分に行えていない状況が確認され、幹線水路の水位が低下した時に堰上げの指導を行うことで、より有効な水管理が実現でき、灌漑面積の拡大も可能であると推察される。加えて、水源や土地利用の制約から灌漑農業を実践していない天水農家からも灌漑農業は期待されており、灌漑面積および灌漑農家を増加させるためにも、適切で有効な水管理が重要であることが窺えた。

そして、灌漑計画上、非常に重要な諸元である搬送効率および適用効率を算定した。①搬送効率は、土水路1km当たり80%/km、②適用効率は、蒸発散量の低い4月から7月で50%、蒸発散量が多くなる8月から10月で80%であった。これらの諸元を用いて、小規模灌漑の水源水量を把握すれば、適切な灌漑面積が算定され、効率的な灌漑計画が立案されることが考えられる。

これまで地区全体で全ての農家に対して水管理の実態調査を行った事例はないため、本研究は貴重なデータとなった。これらの知見は、ザンビア国だけでなく周辺国やサブサハラ・アフリカの小規模灌漑農業開発地区の適切な水管理や、効率的な灌漑計画に活用される資料となり得るものである。

小規模灌漑開発の効果では、これまで一般的に認識されていた、直接的な農業生産性の向上と収入増だけでなく、副次的な食費支出額、食材の多様化、食料安全保障や、栄養改

善（低体重，消耗症）にも正の効果があることを定量的に明らかにした．これは，世界人口の 9 人に 1 人が栄養不良となっている現状を踏まえると，小規模灌漑開発による栄養改善への期待とともに有効性を示せた貴重なデータである．開発目標 SDGs の目標 2 では「飢餓に終止符を打ち，食料の安定確保と栄養状態の改善を達成するとともに，持続可能な農業を推進する」が示されており，小規模灌漑開発がこれに貢献できる可能性は非常に高いものであると考える．

そして，小規模灌漑開発はコスト面だけでなく環境面の観点においても，大規模灌漑開発と比較し明らかに環境への影響が低く有利であり，建設時に伐採される立木は限定的である．さらに，小規模灌漑の取水堰は表流水のみを取水し，特に簡易堰の場合は取水時に多くの漏水を許容しているため，河川下流部への影響も軽減されている．

今後の小規模灌漑農業の普及促進ならびに灌漑施設のインフラ整備事業では，農業生産や農家の生計への経済効果のみならず，食材の多様化，食料安全保障や栄養改善への効果も考慮した事業計画，実施および評価が望まれる．加えて，小規模灌漑開発による農村地域の貧困状況の改善や，地域経済の活性化および発展も期待したい．

謝 辞

本論文の作成にあたり、岐阜大学千家正照名誉教授には、長きに亘り終始丁寧なご指導を賜りました。また、岐阜大学西村眞一教授、静岡大学今泉文寿教授、岐阜大学伊藤健吾准教授、広田勲助教、乃田啓吾助教、農研機構の安瀬地一作主任研究員からも、適切な助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。そして、現地での調査に協力して頂いた、ザンビア国農業省政府職員の方々、および農家の皆様にも感謝申し上げます。

最後に、独行政法人国際協力機構の技術協力プロジェクト「ザンビア国小規模農民のための灌漑開発プロジェクト」の関係者の皆様、ならびに株式会社三祐コンサルタンツには、多大な支援と協力を受けましたこと、深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 有森正浩・林春奈 (2014): 畑地の日消費水量に気象諸要素と土壌水分が及ぼす影響, 農業農村工学会論文集, No.291, pp.41-47.
- [2] Daniel, M. and Richard, C. (2008): The Coping Strategies Index, Field Methods Manual, Second Edition.
- [3] 土木学会 (1999): 水理公式集 [平成 11 年版], p.243.
- [4] FAO (1989): Irrigation Water Management, Training Manual No. 4, Irrigation Scheduling, Annex I: Irrigation efficiencies.
- [5] Fitsum, H., Afework, M., Teklu, E., Simon, L., Nicole, L. and Yenenesh, A. (2017): Poverty Profiles and Nutritional Outcomes of Using Spate Irrigation in Ethiopia, Irrigation and Drainage, 66, pp.577-588.
- [6] 蛭田英明・家泉達也・千葉伸明・佐川喜裕 (2015): ザンビアの農業普及システムを活用した簡易灌漑技術の適用, 農業農村工学会誌, 第83巻第7号, pp.545-548.
- [7] JICA (2011): ザンビア国小規模農民のための灌漑システム開発計画調査, 最終報告書.
- [8] JICA (2017): ザンビア国小規模農民のための灌漑開発プロジェクト, 最終報告書.
- [9] 金森秀行 (2018): マラウイ国の人材教育による持続可能な小規模灌漑農業開発の協力アプローチ, 農業農村工学会誌, 第 86 巻第 10 号, pp.885-888
- [10] 北村義信・矢野友久 (2015): SSA 地域における食料問題と灌漑・農村開発の展望, 農業農村工学会誌, 第 70 巻第 11 号, pp.989-993.
- [11] Laia, D. (2015): Improving Irrigation Access to Combat Food Security and Undernutrition, a review, Global Food Security 6, pp.24-33.
- [12] Laia, D. and Claudia, R. (2013): The Impact of Irrigation on Nutrition, Health and Gender, a Review Paper with Insights for Africa south of the Sahara, International Food Policy Research Institute, IFPRI Discussion Paper 01259.
- [13] 前田正男・松尾嘉郎 (1974): 図解 土壌の基礎知識, 農山漁村文化協会, pp.198.

- [14] 農林水産省農村振興局 (2015): 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画農業用水(畑).
- [15] Republic of Zambia Central Statistical Office (2015): Living Conditions Monitoring Survey Report 2015.
- [16] 佐川喜裕・乃田啓吾・広田勲・安瀬地一作・千家正照 (2020): ザンビア国北部における小規模灌漑開発の効果, 日本雨水資源化システム学会誌, Vol.26(1), pp.33-39.
- [17] 佐川喜裕・乃田啓吾・広田勲・安瀬地一作・千家正照 (2020): ザンビア国北部の小規模灌漑開発地区における灌漑管理の実態, 日本雨水資源化システム学会誌, Vol.26(2), 印刷中.
- [18] 佐野文彦 (2000): 小規模灌漑について, 農業土木学会誌, 第 68 巻第 10 号, pp.1017-1022.
- [19] 千家正照・西出勤 (1988): 愛知県露地野菜畑における水利用の実態と問題点, 農業土木学会誌, 第 56 巻第 4 号, pp.347-353.
- [20] UNICEF (2016): The State of the World's Children 2016, A Fair Chance for Every Child.
- [21] WFP (2008): Food Consumption analysis, Technical Guidance Sheet.
- [22] WFP (2016): El Niño: Undermining Resilience, Implications of El Niño in Southern Africa from a Food and Nutrition Security Perspective.
- [23] WFP (2017): Country Programme Zambia (2016-2020), Standard Project Report 2017.
- [24] WHO (2011): Anthro for Personal Computers Manual, Software for Assessing Growth and Development of the World's Children.
- [25] 山本太平 (1989): 点滴灌漑における有効雨量, 農業土木学会誌, 第57巻第8号, pp.667-672.