

地球規模課題対応国際科学技術協力

(生物資源研究分野「生物資源の持続可能な生産・利用に資する研究」領域)

半乾燥地の水環境保全を目指した洪水－干ばつ対応農法の提案

(ナミビア共和国)

平成 25 年度実施報告書

代表者:飯嶋 盛雄

学校法人近畿大学農学部 教授

<平成 23 度採択>

1. プロジェクト全体の実施概要

アフリカの半乾燥地には、洪水や干ばつによって食糧不足になるリスクが高い地域が依然として多く残されている。本研究では、砂漠国ナミビアの季節湿地に注目し、あるがままの不安定な水環境を保全しながらも、洪水や干ばつ年でも常に一定以上の穀物生産が維持されるような新しい栽培システムを考案する。その導入過程の社会・自然環境インパクトを定量することによって、自給自足農民の生活向上に資する農法の導入と半乾燥地の水環境保全とを持続的に両立させることを目指す。作物学領域では、土壌肥沃度維持対策として、ナミビア大学構内農場において水稻と畑作における有機物施用試験を青年海外協力隊隊員と連携しながら検討し始めるとともに、季節河川の流域系における土壌解析を実施した。近畿大学では、簡易ライシメータを埋設した小面積の実験圃場において混作作物の成長と水分生理を検討した。滋賀県立大学では FOEAS(地下灌漑システム)施設を導入した小型の傾斜実験圃場を造成し、混作栽培試験を実施中である。開発学領域では、2村でワークショップを実施し、新しい栽培システムの内容を農家に説明し、彼らとの議論を通じて水環境保全や栽培システムに関する認識を把握した。景観調査では、3か村で18の季節湿地を抽出し、植生や土壌環境などを観察すると同時に彼らの湿地環境に対する認識を把握した。水文学領域では、季節湿地における湛水域の季節変化を、可視・近赤外衛星画像により検討したところ、雲被覆によって解析が難しいことがわかった。そこで、マイクロ波画像を用いて雲量が多い場合の欠測ピクセルを補完し、水域マップを作成した。季節湿地のエリア内に、計29台の雨量計を設置し終え、気象データを蓄積中である。総合領域では、ナミビア大学構内に造成した傾斜実験圃場では、洪水時における混作作物の生理反応と、混作作物群落による蒸発散量を調査中である。混作農法普及のための基盤形成を目指し、農民参加型普及手法に関する国別研修を本邦において2ヵ年連続して実施し、ナミビア国でも研修参加者へのワークショップを定期的に行っている。季節湿地の北部、中部、南部から3地域を選び、それぞれ3戸ずつ、合計9戸の実証農家を選定し、農家圃場内の小湿地において混作モデル試験を作物、開発、水文領域の学際研究として開始した。

2. 研究グループ別の実施内容

研究グループとしては、作物学、開発学、水文学、複合領域の4つの領域別にとりまとめ、PDMとPOに記載した活動番号を括弧内に記載し、それらとの関係を明記した。なお、総合領域の4-3、4-4については、それぞれのグループの研究内容の④でも記載した。

作物学領域

① 研究のねらい

洪水-干ばつに対応し、かつ節水型であるイネ-ヒエ混作栽培モデルを提案する。

② 研究実施方法

近畿大学では、圃場とポット条件における混作作物の土壌ストレス応答ならびに水源調査に関する基礎研究を行う。ナミビア大学構内農場では、大型(160 m x 80 m)の傾斜実験圃場を造成し、水勾配に対応した混作作物の生産性と水分生理を評価する。滋賀県立大学では同様に小型の傾斜実験圃場を造成し、ここでは地下灌漑施設を併設し、排水による土壌の水環境制御と、ビニルハウスによる降水制御を併せて、モデル試験を実施する。ナミビア大学構内では、イネ/トウジンビエ/ササゲの単作と混作に関する栽培技術、肥培管理、洪水干ばつ対応に関する様々な試験を、青年海外協力隊隊員と連携して実施する。さらにナミビア国における9か所

の実証農家圃場における混作モデル栽培試験において、作物の水源に関する試験を行う。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

下記の 2 つの課題について、当初計画通りの進捗状況である。

(1) 混作における節水技術の検討

近畿大学では、簡易ライシメータ埋設圃場において地下水制御技法を検討し、重水投与実験サンプルを安定同位体比質量分析計により解析し、作物水分生理実験と水源解析実験を完了した(活動 1-3)。平成 26 年 3 月に学会発表を行い、今後、投稿論文への取りまとめを順次実施する予定である。滋賀県立大学でも予定通り、20 m 四方の小型の傾斜実験圃場において水位変化による 2 カ年の混作栽培試験を実施し、作物の生産性を検討した。FOEAS 施設による地下水位の制御とともに、降水遮断のためのビニルハウス屋根を設置し、厳密な水環境制御実験を実施していく予定である(活動 1-3)。ナミビア国においても乾燥畑から湿地へと連続的に変化する生態系をモデル化するための大型の傾斜実験圃場において、現在 2 年目の混作栽培試験を実施中である(活動 1-1、1-2)。

(2) ストレス環境における混作の検討

近畿大学と滋賀県立大学では、ポットと圃場試験により混作物のストレス環境応答に関する基礎実験を実施した(活動 1-1、1-2、1-4)。乾燥、塩、湛水ストレス耐性に対するイネの種・品種間比較研究については、ポットによる検討を完了し、投稿論文が受理された。滋賀県立大学における乾燥ストレス耐性に関する圃場試験は初年度の検討を完了し、平成 26 年 5 月の学会発表を予定しており、さらに追試実験を平成 26 年度夏季に実施予定である。混作物におけるポットレベルでのストレス対応研究についてもほぼ完了し、今後、学会発表と投稿論文執筆の準備を執り行う。ナミビア国では、上記傾斜圃場において、2 年目の追試実験を実施中であり、初年度成果の学会発表とともに取りまとめ、平成 26 年秋の論文投稿を目指す。ナミビア大学構内農場で開始した各種基礎研究は、今後 3 カ年の繰り返し実験の後に学会発表と投稿論文執筆を目指す。土壌肥沃度維持対策として、有機物由来窒素への混作物の依存度を検討し、平成 26 年 3 月の学会発表を行った(活動 1-4)。現地で利用可能なマメ科作物として耐乾性が強いカウピーをイネ/ヒエ混作栽培へ組み込むため、カウピーの冠水ストレス耐性と、混作への組み込みと窒素経済に関する基礎的な検討を平成 26 年度から開始する(活動 1-4)。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

作物学班カウンターパート 3 名はいずれも近畿大学大学院への受け入れを予定している。AWALA 氏は平成 26 年 4 月 1 日時点で博士後期課程 2 年、NAMHAPO 氏は同年 4 月 5 日に博士後期課程への入学予定、WANGA 氏は来年度の博士前期課程への入学を目指して、7 月より 5 か月間研修員として近畿大学農学部滞留する予定である(活動 4-3)。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

洪水-干ばつ対応農法の主要技術として、トウジンビエの耐湿性を強化する栽培技術に関しての基礎的な展開に成功した。現在、投稿論文執筆の是非と追試の必要性を検討中であり、平成 26 年秋の中間評価時までには公開できるレベルまで検討を進めていく予定である。

開発学領域

① 研究のねらい

「イネ-ヒエ混作農法」導入による農民の意識変化・社会経済的インパクト計測方法が確立される。

②研究実施方法

- 2-1 実証と実践試験に参加する農家の社会経済状況や営農形態を調査する。(ベースライン調査)
- 2-2 実証試験参加農家に対し、活動目的に関して事前了解を得るとともに、作物学・水文学領域の活動で得られた知見をワークショップ等を通じ共有する。
- 2-3 実証試験参加農家の研究内容・目的共有の理解の変化に関する評価を実施し、展開における留意点を整理する。
- 2-4 農家圃場の立地を景観生態学的観点から分類する。
- 2-5 新たな作付体系を農民が選択あるいは拒否する判断基準や生産された作物の利用方法、湿地に対する農家の意識変化を明らかにし(農家経済、労働分配調査)、社会経済面の持続性を検討する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

ベースライン調査に関してはUNAM研究者を中心に6つの選挙区を抽出して実施し、単純集計までを終了している(活動2-1)。宇佐見教授とUNAM講師陣との協力で、データ構造の明確化、村落モノグラフ作成の可能性の検討を行った(活動2-1, 2-5)。実証試験参加農家に関して、参加意思の確認等の対面調査を行った(活動2-2)。また、種苗配布の際に実践農家に対する研究内容説明を行うことを徹底し、今後モニタリングを行う準備を行った(活動2-2, 2-5)。また、景観生態学に関しては、湿地の生態環境に関する基礎データの収集と分類等に関するインタビューを開始した(活動2-4)。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

別途国別研修を名古屋大学国際開発科において実施し、UNAM講師に加えて、普及員に対しても農村開発一般、地域資源の利用、混作の意味等について技術移転を行った(活動4-4)。普及員に対しては、帰国後の11月にナミビア大学で新しい農法に関する講習会を開催し、継続してフォローアップを実施している。今年度の雨季における農家への普及においては、彼らが農家との接点となっている例も確認できている。また、宇佐見教授を現地に派遣し、UNAMが主体的に実施しているベースライン調査について整理・助言を行った。さらに、移転した技術を継続的にフォローするため、UNAM講師1名を短期研究員として龍谷大学、名古屋大学に招聘し、調査結果の整理について協議し、またベースライン調査の結果を整理するために使用する統計ソフト(SPSS)に関する指導を行った。3月10日、11日には日本でトレーニングを受けたUNAM講師、および名古屋大学博士課程の院生を中心にナミビア側カウンターパートを対象とした統計処理に関する講習会を開催し、他のカウンターパートとの技術共有を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

ベースライン調査において、UNAM側研究者から、これまで地域の農村の実態に関する資料がまったくないことが報告されたため、直接実証農家・実践農家の存在する村以外も対象としたため収集資料の量が想定したものを上回ったことと、多様な選挙区を対象としたため、実証農家・実践農家の存在する村を必ずしもカバーできなかった。実証農家の存在する村3箇所は確実にデータが収集できるよう調査計画を修正して26年度早々にデータ収集を補完することで対応する。

水文学領域

①研究のねらい

ナミビア北中部に広がる季節性湿地帯の水収支を明らかにするために、人工衛星リモートセンシングで得られた画像データを解析する。この解析により、季節的に発生する表流水の水面面積を同定し、その時系列変動

を追う(活動 3-1)。また、水収支把握に必要な現地観測データ(降水量・蒸発散量)を取得するために、観測機材を輸送・設置し、計測を開始してデータ取得を進める(活動 3-2)。そして、小湿地の水源を明らかにするために、小湿地の中央部に地下水観測井を設けて水位のモニタリングを開始するとともに、地下水の採取を開始する(活動 3-3)。

②研究実施方法

人工衛星リモートセンシングデータとして、可視・近赤外衛星画像(Terra 衛星搭載 ASTER データ)を購入し、画像解析を行う。またデータが公開されている MODIS データ(MOD13:16-day composite data)、マイクロ波センサ(AMSR-E)データ(L3 プロダクト)を利用し、様々な人工衛星リモートセンシングデータを活用する(活動 3-1)。

現地観測データのうち、降水量については転倒マス式雨量計を、蒸発散量についてはボーエン比計測システムを日本で購入し、それぞれを現地に輸送し設置する。転倒マス式雨量計はナミビア大学オゴンゴキャンパスを中心とする季節性湿地帯に広域に設置し、計測を開始してデータ取得を継続する(活動 3-2)。またボーエン比計測システムは、ナミビア大学オゴンゴキャンパス内に作物班が造成した傾斜圃場内に 3 基設置するとともに、傾斜圃場に隣接する自然湿地圃場に 1 基、追加で設置する(活動 3-2)。

小湿地の水源を同定するために、季節性湿地帯の北部、中部、南部において、それぞれ 3 ヶ所の実証農家を他班と共同で設定し、それらの農家が保有する小湿地(オンドンベ)の中央部に地下水観測井を設け、水位のモニタリングを開始する(活動 3-3)。また、地下水の採取を開始する(活動 3-3)。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

ナミビア大学オゴンゴキャンパス周辺の季節性湿地帯における湛水域の季節変化を把握するために、可視・近赤外衛星画像(Terra 衛星搭載 ASTER データ)により画像解析を行った(活動 3-1)。NDWI(正規化水指数)や NDVI(正規化植生指数)による水面の抽出方法を検討した結果、雲被覆によって雨季を中心とする時期の湛水域の経時変化の抽出が非常に難しいことがわかった。加えて、MODIS データ(MOD13:16-day composite data)を用い、多年でコンポジットされた可視・近赤外画像データにより NDWI で水域を判別した。その結果、雨季の初期には季節性湿地帯の南部(エトージャ塩湖北部域)から水域が現れ始め、雨季が進行するにしたがい、ナミビア北部(人口集中地域)に水域がスポット的に生じていく様子が判別された。これらを踏まえ、異なる衛星データを用いてナミビア北部～アンゴラ南部の広域の季節性湿地帯における湛水域の季節変化を把握する試みを行った。具体的には、Aqua 衛星に搭載されているマイクロ波センサ(AMSR-E)のデータ(L3プロダクト)を用いて NDPI(正規化偏波指数)を算出し、Terra 衛星と Aqua 衛星に搭載されている MODIS データ(MOD09GA)から算出した NDWI とのマッチアップ(対応付け)を行って、雲量が多い場合の MODIS の欠測ピクセルを補完し、水域マップを作成した(活動 3-1)。

また、季節性湿地帯の降水量を面的に把握するために、ナミビア大学オゴンゴキャンパスを中心とする東西 180km、南北 60km のエリア内に、計 25 台の転倒マス式雨量計を設置し(平成 24 年 9 月中旬～同年 11 月下旬)、データを継続的に取得した(活動 3-2)。そして、ナミビア大学オゴンゴキャンパス内に作物班が造成した傾斜圃場内に、計 3 基のボーエン比測定システムを設置し(平成 24 年 9 月中旬)、データを継続的に取得することで、ヒエとイネの混作状況が異なる場所での蒸発散量を解析した(活動 3-2)。加えて、傾斜圃場に隣接する自然湿地圃場にボーエン比計測システムを 1 基追加で設置(平成 25 年 9 月中旬)した(活動 3-2)。

小湿地の水源を同定するために、季節性湿地帯の北部、中部、南部においてそれぞれ 3 ヶ所の実証農家を他班と共同で設定し、それらの農家が保有するオンドンベの中央部に地下水観測井を設け(平成 25 年 8 月～9 月、および同年 11 月)、水位のモニタリングを開始した(活動 3-3)。また、地下水の採取を開始し、一部の地下

水試料の水安定同位体分析を行った(活動 3-3)。

以上により、当初の計画を着実に遂行したと言える。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

転倒マス式雨量計とボーエン比計測システムの現地への設置と同様に、小湿地への観測井の設置と地下水位モニタリング装置の設置を、日本側研究者の現地滞在期間中に共同で行った。そして、データ回収方法等の技術移転を行った。現在、カウンターパートが自力で順調に機器等のメンテナンスを行っている。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

混作を展開する小湿地を同定し、その水面面積の時系列(季節)変化を追うために、現地地形図(土地利用図)上で凡例として示されている「pan」の意味をカウンターパートとともに確認し、2010年に撮影された航空写真データを購入して解析を進めた(活動 3-1)。現在、日本側とナミビア側との共同で人工衛星データを解析し、カウンターパート側で土地被覆分類(GIS解析)を進めており、来年度中には小湿地が同定される予定である。また、来年度中には小湿地の水面面積の時系列(季節)変化が明らかになってくるであろう。

総合領域

① 研究のねらい

「イネ-ヒエ混作農法」の試験研究を通じ研究者及び研究協力者等が育成される。

② 研究実施方法 ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

平成 25 年度の作物栽培シーズン(平成 25 年 12 月～平成 26 年 4 月)は、作物の播種/移植期の 1 月初中旬～2月中旬の降雨がほとんどなく、昨年を引き続き干ばつ年の様相を示した。しかし、12 月から 1 月頭まではまとまった降雨があったため、12 月にトウジンビエの播種を行った農家では被害程度が軽度であった。なお、アンゴラ高原からの洪水は 3 月下旬になって研究対象地域にも到来した。季節湿地全域の水環境を考慮するため、北部のオシテヤテモ、中部のオナムディンディ、南部のアフォティを拠点として、それぞれの地域に 3 農家、合計 9 農家圃場を実証モデル試験を展開することとした。これらの農家圃場内の小湿地において、作物班が混作モデル試験を実施し、開発班が農家の行動様式を、水文班が水環境をそれぞれ調査中である(活動 4-1、4-2)。いっぽう農家の自由意志に基づいた稲栽培をモニターする実践農家数は、研究初年度は 30 年来の大干ばつ、次年度も干ばつ年の様相を示したため、70～80 数戸にとどまっている。

④ カウンターパートへの技術移転の状況

ナミビア大学講師の Simon AWALA 氏(近畿大学大学院農学研究科博士後期課程 2 年在学中)に加えて、同 Pamwe NAMHAPO 氏が、同課程に 4 月 5 日付で入学することが確定した。さらに、ナミビア農業省技官の Ashton WANGA 氏(農業省上級技官)は、同研究科博士前期課程への来年度の入学を目指し、7 月より 5 か月間、近畿大学にて研修を実施する。混作農法普及のための基盤形成を目指し、農民参加型普及手法に関する国別研修を本邦において平成 24、25 年度の 2 ヶ年に渡り実施したが、この研修に参加した農業省普及員に対して、ナミビア国においても引き続きワークショップやフィールドデーによる研修と啓発活動を実施中である(活動 4-3)。具体的には、平成 25 年 11 月 12～14 日に研修に参加した普及員を対象としたトレーニングコースを開催し、具体的な作付方法に関するデモンストレーションなどを実施した。

平成 26 年 3 月 7 日に実施したマスコミ説明会には、国営放送や主要誌記者が集まり、テレビ放映、ラジオ放送、新聞への多数の掲載がなされ、新しい栽培技術普及の啓発への大きな足掛かりをつかんだ。今後、国営放送や新聞社と連携して、さまざまな催しを積極的に広報し、ナミビア国への日本の活動に対する理解を広めていく予定である。平成 26 年 3 月 12 日に実施したフィールドデーでは、昨年同様、総勢 529 名の参加者を集めた。

本研究プロジェクトの概要を伝えるだけではなく、イネ栽培の基本技術として、播種、移植方法、収穫期の判定、土壌肥沃度の維持の重要性等について解説するとともに、農業機械の実演を実施した(活動 4-3、4-4)。

JCC ミーティングは、第 3 回を平成 25 年 8 月 28 日に、第 4 回を平成 26 年 3 月 13 日に実施した。各研究グループにおける研究進捗状況や今後の研究計画について議論した。第 2 回国際シンポジウムを首都の Windhoek において平成 26 年 9 月 8～9 日午前まで実施し、9 日午後には第 5 回 JCC 会議を実施することを承認した(活動 4-3、4-4)。

農民参加型ワークショップは、平成 25 年度には、12 月 17 日 (Omagalanga 村, 23 農家参加)、12 月 18 日 (Onamundindi 村, 40 農家参加)に実施した。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

本研究では、イネ/ヒエ混作栽培を農家圃場内の小湿地に導入することを想定している。ところが、この小湿地の耕うん作業には、「小型耕うん機」の組織的な導入が望ましいことが、2ヶ年の経験から判明した。新しく提案する混作農法を社会実装していくためには、ナミビア国の現状を鑑みると、現段階から、各方面に積極的に働きかけていく必要があると判断し、そのための行動を開始した。詳細については、「5. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓」と「6. 特記事項」に記載した。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 1 件、国際 2 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 1 件、国際 2 件)
- ③ 論文詳細情報
 - (1) Suzuki, T., T. Ohta, T. Hiyama, Y. Izumi, O. Mwandemele, and M. Iijima. 2013. Effects of the introduction of rice on evapotranspiration in seasonal wetlands. *Hydrological Processes*, doi:10.1002/hyp.9970.
 - (2) Okazaki, Y. Yamane, K. Izumi, Y. and Iijima, M. 2013. Drought, salinity and flooding tolerance of *Oryza sativa*, *Oryza glaberrima* and their interspecific cultivars. *Journal of Crop Research*. (Accepted)
 - (3) Suzuki, T. Ohta, T. Izumi, Y. Kanyomeka, L. Mwandemele, O. Sakagami, J-I. Yamane, K. Iijima, M. 2013. Role of canopy coverage in water use efficiency of lowland rice in early growth period in semi-arid region. *Plant Prod. Sci.* 16 (1): 12-23.

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、国際 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ③ 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、国際 0 件)

4. プロジェクト実施体制

- (1) 作物学領域 (洪水と干ばつに対応可能な混作農法の検討)

①研究グループサブリーダー名：飯嶋盛雄（近畿大学・教授）

②研究項目

1-1 洪水と干ばつにも対応可能なイネーヒエ混作農法の検討

1-2 イネーヒエ混作農法の確立に必要な耕種法の検討

1-3 節水栽培技術の安定同位体法等による検討

1-4 洪水ー干ばつ等の環境ストレスに対する対応策と土壌肥沃度の維持対策の検討

(2) 開発学領域（持続可能な水資源利用システムの社会・経済的評価）

①研究者グループリーダー名：西川芳昭（龍谷大学・教授）

②研究項目

2-1 実証と実践試験に参加する農家のベースライン調査

2-2 実証試験参加農家の活動目的に関する事前了解、知見の共有

2-3 実証試験参加農家の研究内容・目的共有の理解の変化に関する評価

2-4 農家圃場の立地を景観生態学的観点から分類する

(3) 水文学領域（広域水収支解析および小湿地の水源解析）

①研究グループサブリーダー名：檜山哲哉（総合地球環境学研究所・准教授）

②研究項目

3-1 広域水収支解析

3-2 小湿地の水源解析

以上