

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2014～2019

課題番号：26520304

研究課題名(和文) 安定的な米供給の実現のための灌漑水田・天水低湿地・天水畑地間の最適資源配分の導出

研究課題名(英文) Elucidation of optimum resource allocation among irrigated paddy, rainfed lowland, and rainfed upland rice systems to realize stable rice supply

研究代表者

岡田 謙介 (Okada, Kensuke)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：80391431

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：タンザニア全国における陸稲ネリカの効率的な普及のために、自然環境(気候土壌)からみた国内の適作地の選定が急務である。まず現地調査により代表的な4地域の稲作状況を調査した。その情報によって、生理機構に立脚した汎用型作物生育モデルAPSIM-Oryza2000のパラメータを、圃場試験の結果等から決定し、全国の0.5グリッドメッシュにおいて収量シミュレーションを行いArcGISによって適作地マップを作成した。限られた地点における現場収量との一致がよく、広域にわたって普及の重点化を進めるために役立つことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジアに比べるとサブサハラアフリカのコム生産は広大な国土の限られた点状の地点で行われており、新規地域に新たにイネを導入した場合の潜在収量が事前に予測できない。本研究により日本の2.5倍の国土をもつタンザニアにおいて適作地マップを作成することができ、普及プログラムの重点化への大きな貢献が期待できる。モデルの多地点シミュレーションによるマップは播種時期や施肥など条件を変えた場合にそれぞれの条件に応じて新たに作成することができ適応範囲が広い。

研究成果の概要(英文)：For the efficient diffusion of upland NERICA in Tanzania, better growing areas in the country should be elucidated based on the environmental conditions (climate and soil). First rice cultivation conditions of representative 4 areas in the country was investigated by the field surveys. And based on these information, the parameters of comprehensive crop growth model APSIM-Oryza2000, which is based on the physiological mechanisms, were determined from the data of the field experiments and other information. Then the yield was simulated in each 0.5 degree grid of the map and the suitability map of upland rice cultivation of entire country was developed. The map has good agreement with the yield recorded in the field (although the number of the locations were limited). This research output is useful in prioritizing the NERICA diffusion project in a wide-area of the country.

研究分野：作物学

キーワード：作物モデリング 稲作 タンザニア ネリカ 水資源 APSIM パラメータ決定 モデル妥当性検証

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

イネは集約型農業に適し、多様な気候帯において生産性を上げる可能性をもっている作物である。近年サブサハラアフリカにおいてイネの消費が伸び、かつ生産も増大しつつある。とくにアフリカイネ(*Oryza glaberrima*)とアジアイネ(*Oryza sativa*)の種間交配から作出された「ネリカ」品種群は、その早生性や不良条件耐性などから普及が期待されている。しかしながら稲作地が未だ広大な国土の少数の地点に点在しているサブサハラアフリカの状況においては、稲作のタイプ(灌漑水田、天水低湿地、天水畑地)ごとに、普及していくための適切な環境の分布を見いだしていくことは全国に普及を進めていくために必須の条件である。そのためには異なる稲作のタイプについて、所与の気象土壌環境や異なる栽培管理(播種時期等)のもとにおける収量性を予測していくための、作物生理学の知見に基づいた作物モデルの利用が欠かせないが、サブサハラアフリカにおけるそのような研究の例は数少ない。

タンザニアにおいてイネはトウモロコシについて生産量の多い重要な穀物である。しかもこの近年の20年間に1996年の81万トンから2016年の300万トンへと大幅に増加している。しかしながら都市部で主食穀物の嗜好が米に移っていることに由来する米消費量の急速な伸びを補完するには至っておらず、2009年には115万トンであった需要量と生産量の差が2020年には284万トンにまで拡大すると予測されており、適切な資源配分に配慮した生産性の向上が急務である。

2. 研究の目的

本研究は熱帯乾燥地域の中でも近年稲生産国として着目されているタンザニアを例に、圃場実地調査、モデリングおよび経済分析の各手法を統合することにより、タンザニア全土の各地域における灌漑水田・天水低湿地・天水畑地間の最適資源配分の導出法を開発し、延いては安定的な米供給の実現に資することを目的とするものである。具体的には

- (1)タンザニアにおけるイネ生産の現状とその農家における技術について現地調査によって解明する、
- (2)タンザニアの代表的なイネ品種について作物モデルの生育パラメータの決定およびその妥当性について検討し、予測の精度を高める、
- (3)タンザニアにおいて今後重要となるイネ生態系とそれに用いられる品種に関してタンザニア国における予測収量の地理的分布を明らかにし、最適資源配分について有用な情報を得る、ことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 現地調査

タンザニアで2回の現地調査(2016年12月3日~12月11日(10日間)および2018年10月22日~11月29日(39日間))を実施した。第1回めにはタンザニア北部アルーシャのキリマンジャロイネ技術者訓練センター(KATC)のTANRICEプロジェクトに従事しているJICA長期専門家の協力を得、センター所長も交えてタンザニア全体にわたるネリカ普及計画についてブリーフィングを受けた。また当研究室で開発した作物モデルを用いたタンザニアのネリカ適作地マップのプロトタイプについてセミナーを行った。その後、地域の2カ所の灌漑稲作地、およびタンザニア北東部の天水稲作地を訪問し、稲の生産量、気象条件、農家のネリカに対する考えなどについて農家聞き取り調査を行った。第2回めには大学院生(修士)を派遣し、同国の広範囲にわたる4県(ムパンダ県、ボスケロ県、ウランガ県、ウエテ県)にて農家調査を実施した。各県で4カ村、それぞれの村で4人の農家を対象にし、全体での調査数は64であった。調査手法としては半構造化インタビューを行い、各農家の基本的な社会経済的な状況の他に、ネリカ1やその他の陸稲、その他の作物の収量、栽培上の問題等について聞き取りを行い、その情報を用いて農家のネリカ栽培への意志に影響を及ぼす要因を同定した。

また上記JICA長期専門家との3回に渉る協議ののち、解析に必要なデータについて提供を受け、モデル解析を実施した。すなわちタンザニアにおける同プロジェクトの2013以降5年間にわたるタンザニア全土の各地におけるのべ29回のネリカ栽培研修会におけるのべ1179名の参加者に関して、その農地の収量等の栽培データを入手し用いた。

(2) 圃場実験

プロジェクト1年目の平成26年度には東京大学生態調和農学研究機構(西東京市)の実験圃場において、調査地における実験方法の確定を目的とした予備実験を行った。ここでは作物を植えない状態において複数の灌漑ルールの下での土壌各層の水分および養分の時系列的推移を記



図1. 現地調査を実施した県

録した他、日本の品種を用いた生育実験を通して、天水低湿地および天水畑地における作物生育モデル最適なパラメータ決定の方法について検討した。

平成 27 年度と 28 年度には、同じ西東京市フィールドの畑地圃場においてタンザニアの陸稲として有望視されているネリカ 3 品種 (NERICA 1, 4, 10) を用いて、1 年目には播種時期を 3 回に変えた試験を、2 年めには窒素施用量を 3 段階 (0, 40, 100 kg/ha) に変えた実験を行い、他の文献値を併せ APSIM-ORYZA モデルの生育ステージに影響を与える品種パラメータの決定に供した。

(3) 作物モデルを用いた最適資源配分の検討

作物モデルとしては現在世界でもっとも広く用いられている汎用型作物モデルである APSIM (version 7.8) を用い、その中のイネのモジュールには国際稲研究所等が開発しイネ作物モデルの標準とされている Oryza2000 を用いた。作物の品種パラメータとしてはタンザニアの代表的なネリカである NERICA1 を基本にし、まずフェノロジー (作物の生育ステージの調整) に関するパラメータを上記の西東京市におけるデータと文献値を用いて調整した。モデルの結果をタンザニア全土に展開するためには、同国を緯度経度を各 0.5 度で区切った各グリッドにおいて、土壌データと気象データを入手してシミュレーションを行った。土壌データは International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) の World Inventory of Soil Emission Potentials (WISE) および同センターの Global Gridded Soil Information (SoilGrids) を用いて、深さ 1m までの層別別の土性、水保保持特性、pH、仮比重、浸透係数、全炭素含量等を用いた。また気象データについては、Centre for Environmental Data Analysis (CEDA) のグリッドデータを過去 10 年分、あるいは NASA の Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) の過去 30 年分のデータを用い、日ごとの最高最低気温、降雨量、日射量を用いた。またシミュレーションで用いた播種日は、FAO がタンザニアのイネに関して定めている 9 つの農業生態区分について、専門家の意見をもとに播種可能期間を定めた。播種可能期間においてモデルが自動的に播種日を設定する際の条件としては「5 日間で降水量が 20mm」という JICA 専門家の意見を元にした条件を設定した。

4. 研究成果

(1) タンザニアにおけるイネ生産の現状とその農家における技術

タンザニアにおけるネリカ等陸稲の栽培環境は多岐に渡っており、ムパンダ県やボスケロ県は平坦地が多いがウランガ県やウエテ県では斜面での栽培が多かった。稲作の背景も多様であり、ウエテ県はネリカの普及以前から陸稲が盛んに行われている畑地の多い環境である。一方ムパンダ県では低湿地稲作が盛んに行われており陸稲栽培があまり盛んでない。しかしこれらの土地に共通にしてネリカ導入以前から陸稲あるいは低湿地稲作が定着していた。これは TANRICE がネリカの導入の際に、既存の陸稲栽培の有無を重視したことによる。最終的なグリッドごとの収量を地図化する際には ArcGIS を用い、シミュレーションを行った地点以外へは逆距離加重法を用いて内挿した。

農家にとってのネリカを含めた稲作の比重は全農地面積ベースで 1 割から 1 割 7 分と県によって多少のばらつきが見られた (データ略)。本調査の中でこのイネの比重の差異を決定する明確な要因を見つけることはできなかったが、イネのマーケットへのアクセスや他に育てている作物の種類などが農家における稲作の重要性に大きく関係していると考えられた。ウガンダにおいてはネリカ普及活動の中で精米所へのアクセスが農家のネリカ採用率に大きく関係していることが報告されている (Kijima 2011)。

コメの比重が最も低かったムパンダ県では、トウモロコシ栽培面積の全農地に対する割合が 5 割 1 分と二位のボスケロ県の 2 割 9 分を大きく引き離す結果となった。ムパンダ県が穀物としてはトウモロコシに依存している部分が多く、イネの割合は低いわけであるが、その原因は不明である。イネの比重が 1 割 7 分と一番高くなったのはタンザニアの穀倉地帯であるムベヤ州に位置するボスケロ県で、コメのマーケットアクセスが確立していることから全農地における稲作の割合が高い、すなわち農家によってイネがより多く選択されていると考えられる。

陸稲の栽培の歴史が長く、調査を行った農家の全員が 10 年以上の稲作経験を持つペンバ州のウエテ県では、稲作の占める割合が 1 割 5 分とそれほど高い値を示さなかった。この地域では本土のようとうもろこしが育てられていない一方、バナナやクローバーといった温暖な気候を利用した特殊な作物が歴史的に広い面積で育てられている (KATI 教官、聞き取り)。このような中で農家にとってのイネの占める割合が長い歴史の中ですでに固定しているものと考えられる。

また山間部に位置するウランガ県などでは、ネリカ以外にも Kalimata, Malamata, Mbawambili などといった 3 から 4 種類に渡る陸稲種や天水低湿地の稲を栽培していた。生育しているコメの品種が多い理由としてリスク回避をより確実に行うことが考えられる。山間部に位置するウランガ県では年ごとの気象の変化が大きいため (イロンガ農業省訓練研究所 (MATI) 教官からの聞き取り) 気候に関するリスクが非常に高い。また気候の他にも本調査では 15 人中 12 人の農家

が齧歯動物、稲の病気、虫などによる様々な被害を報告していることから、この地域の農家は常に様々なリスクに向き合い対策を施していると考えられる。

ネリカを採用する時に農家が置き換えた作物は地域によって大きく異なっていた。ボスケロ県とウランガ県では、新規開墾でネリカの土地を準備した農家と他のコメ品種の置き換えによって準備した農家がおよそ半々であった。一方ムパンダ県ではほとんどの農家が開墾、ウエテ県では他のコメ品種との置き換えによってネリカ栽培の土地を確保していた。ボスケロ県とウエテ県において、土地を新規開墾しているかどうかは家族の人数やもともと所有している土地の大きさなどには依存していなかった。ほとんどの農家が開墾によってネリカの土地を確保していたムパンダ県では農家の圃場が平地で非常に広いところに位置しており、開墾できる土地が大きいことがその理由と考えられる。またウエテ県ではもともと陸稲品種が盛んに育てられていたため、JICA の研修の中で伝えられる既存陸稲品種の代替としてのネリカというコンセプトのまま農家は置き換えを行ったものと考えられる。

農家へのインタビュー調査の中で聞き取ったネリカの長所短所に関する意見では、すべての調査地においてネリカの早熟性が長所として挙げられていた。ネリカの早生性には、既存品種がしばしば被害を受ける生育後期の干ばつを避ける利点があることがすでに報告されているが (Sekiya et al. 2013)、その他にも村民がしばしば食糧不足に苦しむ 2 月の時期に食料を供給することができるという利点も農家から報告された。この早生性は地域に関わらず農家がネリカを栽培し続ける最も大きな動機となっていると思われる。

ネリカの他の陸稲と比較した場合のその他の利点としてボスケロ県やウランガ県では NERICA1 を炊いた際の膨張率の高さが挙げられた。この性質については特に子供が多い家庭から食糧不足のときに少ないコメで満腹感を得ることができる点でありがたいという意見が聞かれた。ギニアではパーボイルド加工によってネリカの膨張率が増加し、食味の良さにつながっていると報告されている (南谷, 2010)。しかしその一方でウエテ県などでは NERICA1 の膨張率が低いという意見が頻繁に出た (現地での聞き取り)。これはすでにウエテ県では NERICA1 より高い膨張率を持つ稲の品種が普及しており (Dula 品種、現地での聞き取り)、それと比較して NERICA1 の膨張率が低いという評価につながっているものと考えられる。

ほとんどすべての農民から出た不平として NERICA1 の食味が挙げられた。NERICA1 を炊いたときの香りを高く評価した農家もあったが、ほとんどすべての農民が既存イネ品種と比較した NERICA1 の食味を低く評価したが、これは既往の研究とは異なった結果であった。ボスケロ県の Ngereka 村では例外的にネリカの食味が高く評価されたが、栽培管理や土壌の差異により実際に NERICA1 への味の変化が起きているものと考えられた。

NERICA1 の低い食味の評価と NERICA1 の外見的な特徴 (紫色の印、短状な形) が合わさり商品作物と考えられているにもかかわらず買い手が見つからないという問題を起こしていた。そのため他の品種の収穫袋に少量の NERICA1 を混ぜる事例も一定程度確認された。

これらの現地調査の結果、農家はネリカ自身の収量というよりも他のイネ品種と比べた際のネリカ収量の優位性、生育期間の短さ、調理の際の性質など様々な側面においてネリカの長所を感じていたことが明らかになった。ネリカの早生性は農家の食料安全上重要なポイントであった。

一方で農家からみたネリカの食味や外形という欠点による買い手不足は普及のための致命的な問題である。今後、今のままの NERICA1 でも受け入れる普及地の選定や、食味がよい別のネリカ品種への切り替えなどが求められる。

(2) タンザニアの代表的なイネ品種についての作物モデルの生育パラメータの決定およびその妥当性

西東京市と文献情報を用いて行ったフェノロジー (生育段階) の展開速度に関するパラメータを新たに決定した。その妥当性の結果は、平均二乗誤差 (RMSE) で開花期までの日数で 5.2 日、成熟期までの日数で 6.1 日と許容できる誤差であった。

次に乾物成長および収量に関しては、イネの比葉面積の生育ステージごとの変化を決定するパラメータである ASLA と、相対葉面積成長率の最大値を定義する RGRLMX を調整するのみで十分であって、水ストレスによる生育低減に関するパラメータの調整は行わなかった。

これらのパラメータを用いて KATC の 2011 年の圃場試験における実際の収量とシミュレーション

値の比較を行ったところほぼ 1:1 の線上にあり RMSE は 0.31 t/ha、相対平均二乗誤差 (RRMSE) が 7%、モデルの適合度を表すモデル効率率 (Model Efficiency (ME)) が 0.79 (0.75 以上で適合度非常に良) であった (図 2)。またザンジバル島で実施された 10 地点での圃場実験でのデータを用いた結果では、RMSE、RRMSE、ME がそれぞれ 0.85 t/ha、5.0%、0.67 (0.65 以上で良) であり

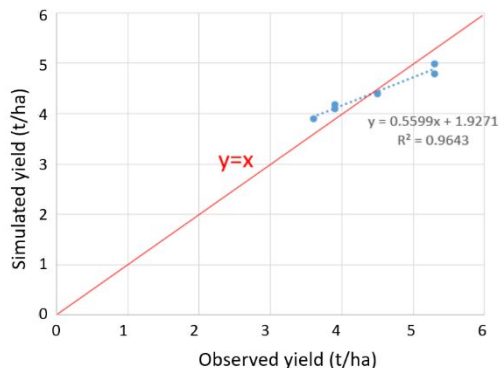


図2. タンザニアKATC圃場内で得られた実測収量と APSIMによるシミュレーションの結果の比較

以降のシナリオ分析に十分利用できるように調整がなされたと考えられた。

(3) タンザニアにおける陸稲ネリカ 1 の予測収量の地理的分布の解明と最適資源配分

過去30年間(1987~2017年)のシミュレーションの結果を地図化した(図3)。西部国境地帯のビクトリア湖から南西に延びる低地および中央部の山岳地帯の南東部、またインド洋のペンバ島で収量の高い地域があったが、中央の高原地帯は収量が低かった。4つの調査地点における30年の収量の中央値と、そこでの聞き取り収量の平均値にはある程度の関連があった。またタンザニアに長期滞在しているTANRICEの専門家の意見でもこの予測収量マップは陸稲ネリカの収量の地域的分布と一致しているとのことであった。またこのマップは過去30年分の実際の予測収量に基づ

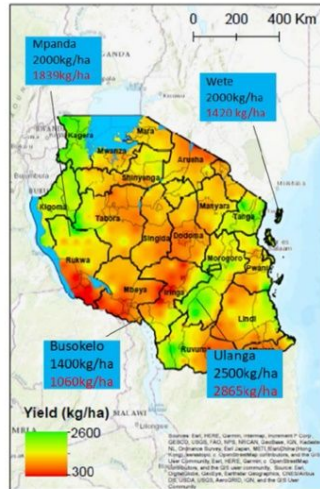


図3. シミュレーションの結果による収量マップと、調査地点における予測収量の中央値(黒字)と聞き取り調査によって得られた平均収量(赤字)

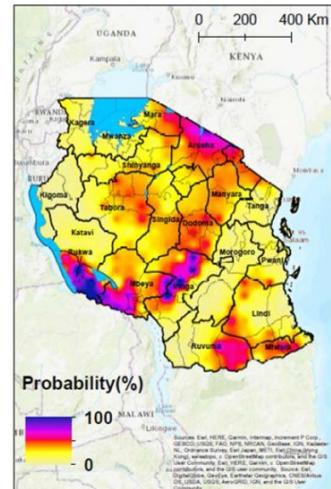


図4. 過去31年間に於いて収量が0.5 t/haを下回ると予測された確率

いているものであるため、収量の確率分布の地図化も容易である。図4では収量が0.5t/haを下回る深刻な不作事態が起こる確率を求めて地図化することができた。

これらのシミュレーションによるマップを用いることにより、新しい陸稲の普及プログラムにおいてどこに優先的に実施するか有用な情報を得られることが明らかとなった。

本研究では当初は異なった稲作体系(陸稲、天水低湿地、灌漑水稲)の間における資源配分を扱う予定であったが、実際にシミュレーションを試みた段階で、とくに天水低湿地では水の利用可能性の推測が非常に難しいことが明らかになったため、降雨量と土壌の性質等で規定される陸稲生態系に焦点を絞った。本研究はまず技術普及の優先順位の決定に有用であるが、また肥料等の生産資源の配分にも将来応用可能な技術である。

引用文献

- Kijima et al. 2011. An inquiry into constraints on a green revolution in Sub-Saharan Africa: the case of NERICA rice in Uganda. *World Development* 39:77-86.
- 南谷貴史 2010. ネリカ普及の現状とその課題. *アフリカ研究*, 2010:1-18.
- Sekiya et al. 2013. Performance of a number of NERICA cultivars in Zanzibar, Tanzania: yield, yield components and grain quality. *Plant Production Science* 16:141-153.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 黒澤健実・佐藤昶・高橋太郎・岡田謙介
2. 発表標題 作物モデルを活用したタンザニアにおけるネリカ品種の栽培適地マップの作成
3. 学会等名 日本作物学会第241回講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

平成28年12月にタンザニアのアルーシャにあるキリマンジャロ農業技術者訓練センター（KATC）において、初年度に開発したプロトタイプ作物モデルを用いたネリカのタンザニア適作値マップについて招待講演を行った。

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----