

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)

テーラーメイド育種と栽培技術開発のための稲作研究プロジェクト

(ケニア)

平成 24 年度実施報告書

代表者：山内 章

名古屋大学 大学院生命農学研究科・教授

<平成 24 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

ケニアの稲作は、干ばつ、高地で起こる冷害、土壌の低肥沃度、いもち病、塩害などによって阻害されている。これらの生物的・非生物的ストレスを克服し、稲作の安定化と生産性向上を実現することは、ケニアの農業における最重要課題のひとつである。近年では、ストレス耐性や作物生産性に関わる様々な形質とそれらに関する量的遺伝子座(QTL:Quantitative Trait Locus)が明らかにされ、有用な QTL をテーラーメイドで導入した品種を開発することが技術的に可能となっている。しかし、実際に圃場で発現するストレス耐性や生産性は、品種のもつ遺伝的要因だけで決まるわけではなく、栽培環境と栽培管理による影響を受けて変化する。そこで本研究では、遺伝子型×栽培環境×栽培管理の相互作用の解析を通して、現地の栽培環境で有効に機能する QTL をテーラーメイドで導入した育種素材および品種の能力を十分に発現させる栽培技術を開発する。

平成 24 年度は、暫定委託研究契約期間であったため、ケニアとの本格的な共同研究の実施に向け、日本側参加研究者 5 名がケニアを訪問し、現地の関係者と協議を行った。その結果、2013 年 1 月 10 日、ケニア農業研究所(KARI: Kenya Agricultural Research Institute)と国際協力機構(JICA: Japan International Cooperation Agency)との間で本プロジェクト実施に係る討議議事録等(R/D DOCUMENTS)が調印された。また、2013 年 3 月 26 日、KARI と名古屋大学との間で共同研究に関する協定書が締結され、平成 25 年度から正式なプロジェクトとして実施されることとなった。

平成 24 年度における研究活動は、本格的な国際共同研究の開始に備え、主に日本国内で実施した。以下、その概要を示した。ケニアにおけるイネ品種特性評価システムの開発に向けて、ネリカ品種およびケニアの主要な水稻品種の耐冷性評価を行い、ケニアで耐冷性評価を行うための基準品種の選定を進めた。ネリカの親系統と日本のイネ品種との交雑後代を用いて、葉鞘下部への着色、葉身無毛性、稈長、至穂日数、稈強度に関する QTL を検出し、ネリカの育種素材としての有用性を検討した。耐旱性回避に関わる有用根系形質に関する QTL 解析を行い、その座乗候補領域を絞り込んだ。低肥条件適応性品種の開発に向けて作出した *Oryza longistaminata* と *Oryza sativa* の交雑後代の遺伝子解析を行い、*Oryza longistaminata* の染色体領域を特定した。先行研究で検出した耐冷性関連 QTL を有する系統の耐冷性が強いことを確認した。既知の耐旱性、耐冷性、いもち病抵抗性、耐塩性、高収性品種と現地適応イネ品種の交雑後代系統の選抜、世代促進、戻し交配および新たな交配を行い、有用育種素材の育成を進めた。また、高速ジェノタイピングに用いる SNP アレイ作成のため、SNP 情報を収集した。ケニアの主要な稲作地帯であるムエア灌漑地区の現地調査を行い、水田によっては土壌の理化学性や栽培管理に問題があることを示した。イネの耐旱性に関わる根系形質の発現は、窒素施肥によって変化することを明らかにし、肥培管理によるイネの耐旱性向上の可能性を示した。これらの成果に基づき、平成 25 年度以降、ケニアとの本格的な国際共同研究を展開していく予定である。

2. 研究グループ別の実施内容

2-1. コメ生産向上のための育種素材と栽培技術の開発

①研究のねらい

遺伝子型×栽培環境×栽培管理の相互作用の解析を通じて、有用 QTL をテーラーメイドで導入した中間母本を作出するとともに、品種の能力を十分に発現させる栽培技術を開発する。

②研究実施方法

既存品種の多収性、低肥条件適応性、耐旱性、耐冷性、耐塩性に関するケニアの栽培条件下における評価、および栽培環境と栽培管理がそれらの機能発現に及ぼす影響の解析を行う。また、ネリカや

ケニアの品種を含む既存品種の育種素材としての有用性を検証するとともに、特定した有用農業形質に関するQTL解析を行う。さらに、既知の多収性、耐旱性、耐冷性、いもち病圃場抵抗性品種と現地適応品種などとの交配により、QTL を導入した準同質遺伝子系統(NILs: near-isogenic line)および組換え自殖系統(RIL: Recombinant inbred lines)を作出し、栽培試験によってQTL 導入効果を明らかにする。作出した育種素材を用いて、遺伝子型×栽培環境×栽培技術の相互作用を解析し、導入した QTL が有効に機能するための条件を明らかにするとともに、品種の能力を十分に発揮させる栽培技術について検討する。現地の栽培環境下で機能する QTL を特定した上で、多収性、耐旱性、耐冷性、いもち病圃場抵抗性に関する QTL を導入した中間母本を育成し、ケニア向けイネ品種開発計画を策定する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

(1)既存品種の特性評価と有用農業形質の特定

ケニアの耐冷性基準品種としての利用可能性を検討するため、ケニアの主要な水稻栽培品種、ネリカ関連系統、既知の耐冷性品種等の耐冷性を愛知県農業総合試験場山間農業研究所の耐冷性検定水田を使って評価し、強から弱までの変異を認めた。これらの品種は、ケニアの耐冷性基準品種として利用できるものと考えられる。

ネリカの育種素材としての有用性を検討するため、ネリカの親系統のひとつである WAB181-18 とコシヒカリの F₂ 集団を用いて、基本的な農業形質に関する QTL 解析を行った。これまでに、葉鞘下部への着色、葉身無毛性、稈長、至穂日数、稈強度などに関する QTL を検出した。

(2)有用遺伝子を集積したケニア向け育種素材の開発

プロジェクトで広範に活用が期待される Basmati 370 および NERICA1 に耐冷性系統である Silewah および LTH、いもち病抵抗性遺伝子 pi21 をもつ戦捷、多収遺伝子をもつ ST6 および ST12 などを交配し F₁ を得た。さらに、一部の組合せでは F₂ および BC₁F₁ 種子を得た。

Affymetrix 社性 44k Rice SNP マイクロアレイを使用し、プロジェクトに使用する品種群の SNP 探索を行った。約 38000 の既知 SNP サイトについて、Basmati370、Silewah、ST6、ST12、Azucena における遺伝子型情報を得た。

日本晴/Kasalath 由来の染色体断片置換系統と日本晴との交雑後代を材料に、根の分枝能力に関わる QTL の座乗候補領域を解析し、第 12 染色体の短腕側に位置する DNA マーカーである G24B と R617 間にその候補領域を制限した。また、耐旱性回避に関わる有用根系形質 QTL をもつ KDML105、T3-7-1、T7-34-4 および N2-63-4 系統とネリカの親系統である WAB56-104 との F₁ 種子や戻し交雑系統を取得した。

先行研究で作出したネリカの親品種である WAB56-104 と強耐冷性の水稻品種はなの舞の交雑後代系統を (BC₁F₂) の耐冷性を評価した。その結果、第 8 染色体および第 10 染色体上の耐冷性関連 QTL を有する系統の耐冷性は、これらの QTL を持たない系統と比べて強いことが確認された。また、先行研究で明らかにした第 8 染色体と第 10 染色体上の耐冷性関連 QTL の相加的効果を検証したが、本年度は水温が例年よりも高かったため、有意な相加的効果は認められなかった。これまでに作出した交雑後代系統の世代促進と選抜を進めるとともに、新たな交配を行った。

先行研究で作出した Basmati370 (ケニアの主力水稻品種) とハバタキ (いもち病圃場抵抗性強、多収) の F₄ 系統群を用いて、生育および収量構成要素に関するデータと DNA マーカーによる遺伝子型調査結果に基づき有望系統を選抜し、世代促進を行った。なお、いもち病が発生しなかったため、いもち病抵抗性に関する評価を行うことはできなかった。

(3) 遺伝子型(G) × 栽培環境(E) × 栽培管理(M)の相互作用の解析

人工的に作出した過湿から乾燥に至るまでの土壌水分勾配条件下において、施肥条件が陸稲ネリカ品種等の耐旱性に関する根系機能の発現に及ぼす影響を調査した。その結果、軽度の土壌乾燥ストレス条件下で発揮される根の分枝能力に関わる発育的可塑性は窒素施肥量によって影響を受け、その程度は品種によって異なることが明らかになった。すなわち、施肥管理によって耐旱性に関する根系機能の発現を向上できることが示された。

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)

平成 24 年度は、ケニア側プロジェクトマネージャーを名古屋大学農学国際教育協力研究センターの外国人研究員として 6 ヶ月間招へいし、共同研究を通して耐冷性評価方法および QTL 解析に関する技術移転を行った。また、ケニアにおいて、耐冷性評価方法に関する技術指導を行った。

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)特になし

2-2. 低肥条件適応育種素材の開発

研究のねらい

ケニア向け低肥条件適応品種の中間母本を作出するとともに、品種の能力を十分に発現させる栽培技術を開発する。

②研究実施方法

アフリカのみに自生する野生イネ *Oryza longistaminata* Chev. et Roehr. の有する旺盛な生育性を遺伝子再編により *Oryza sativa* L. に導入し、低肥条件に適応する育種素材を開発する。*Oryza sativa* L. に導入した *Oryza longistaminata* Chev. et Roehr. の QTL が現地の栽培環境下で機能するかどうかを検証するとともに、低肥適応性とその他農業形質とのトレードオフを検証する。また、遺伝子型 × 栽培環境 × 栽培技術の相互作用を解析することにより導入した QTL が有効に機能するための条件を明らかにし、低肥条件下で品種の能力を十分に発揮させ持続的稲作を可能とする栽培技術について検討する。低肥条件適応性 QTL を導入した中間母本を育成し、ケニア向けイネ品種開発計画を策定する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

Oryza longistaminata と T-65 の交雑後代である LIA 系統における *Oryza longistaminata* の染色体領域を特定した。

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)

平成 24 年度は、暫定契約期間であり、カウンターパートも未定であったため、技術移転に関する活動は特に行わなかった。

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)特になし

2-3. 栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と土壌環境改善技術の検討

①研究のねらい

ムエア灌漑地区におけるイネの栽培環境と栽培管理の実態を解明し、栽培技術に関する課題を抽出するとともに、土壌条件に関する課題を解決するための栽培技術について検討する。

②研究実施方法

ケニアにおける代表的な稲作生態系である公的灌漑水田、灌漑水田(アウトグロワー)が存在するケニア山麓の南側から東側の地域(ムエア灌漑地区)を対象に調査を実施する。対象地域の土壌特性(窒素、リン酸、カリ、土壌有機物等の主要な肥沃度因子の他に、調査データがほとんど無い微量元素や可給態ケイ酸について)を明らかにする。また、栽培環境(水条件、土壌条件等)と栽培管理(栽培品種、作付時期、水管理、肥培管理等)についても調査し、土壌肥沃度因子とイネの生育、収量および収量構成要素との関係解析から、生育阻害要因と生産性律速要因を明らかにするとともに、稲作の安定化と生産性向上を図るための土壌条件に関する課題を抽出する。この課題解決のための肥培管理試験を実験圃場あるいは農家の実圃場で実施し、栽培技術改善方策を提案し、さらに実証試験を行う。稲作の安定化には生産増だけでなくコスト管理も重要であり、長期の生産性維持(地力維持)を考慮した、窒素リン酸の過剰投入の抑制や微量元素施用、有機物管理についても検討する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2012年10月にムエア灌漑スキームの視察と予備調査を行った。現地の水田の状況に関する聴き取りを行うとともに、1992-93年に近藤ら(2001)が調査した地点と同じ、スキーム内4地区の合計11地点から土壌を採取した。土壌サンプルは、日本に持ち帰って分析し、土壌特性を1992-93年の土壌の分析結果(近藤ら、2001)と比較した。その結果、水田によってはpHの低下(窒素肥料による酸化)、可給態Pの蓄積が認められた。概して土壌は肥沃であると考えられるが、可給態Sや、微量元素および可給態Siについても確認が必要である。

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)

平成24年度は、暫定契約期間であり、カウンターパートも未定であったため、技術移転に関する活動は特に行わなかった。

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)

特になし

2-4. 栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と節水栽培技術の検討

①研究のねらい

ムエア灌漑地区におけるイネの栽培環境と栽培管理の実態を解明し、栽培技術に関する課題を抽出するとともに、水条件に関する課題を解決するための栽培技術について検討する。

②研究実施方法

ケニアにおける代表的な稲作生態系である公的灌漑水田が存在するケニア山麓の南側から東側の地域(ムエア灌漑地区)を対象に調査を実施する。灌漑地区には灌漑水が十分に供給される地域と不足する地域があることから水条件の違いによって対象地域を分類し、地域ごとに栽培環境(水条件、土壌条件等)、栽培管理(栽培品種、作付時期、水管理、肥培管理、収穫後の残渣管理等)、イネの生育、収量の実態を明らかにする。また、灌漑水が十分に供給される地域に対しては米収量を減少させずに水消費量を減少させる節水栽培方法を検討する。この節水栽培と現行栽培の水消費量や米収量を比較し、節水栽培の実施による地域全体の米生産量の向上や余剰の灌漑水を利用した水田面積の拡大の可能性を検証する。ところで節水栽培には間断灌漑や非湛水栽培があるが、これらは土壌表面の乾湿を繰り返すことから土壌有機物の分解が促進され、土壌養分が減耗する可能性がある。そこで長期の生産性維持(地力維持)を考慮した肥培管理や有機物管理についても検討する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2012年10月にムエア灌漑スキームの視察と予備調査を行った。ムエア灌漑地区の収量低減要因には乾燥ストレス、一筆内の生育量のばらつき、一筆内の生育速度のばらつき、鳥害、強還元があると考えられた。その原因となる栽培環境は灌漑水の供給状況、地下水位、圃場の均平度、作土深、土壌の保水性、透水性と考えられ、原因となる栽培管理は水管理、圃場準備(耕起・代かき)、栽植密度、防除方法と考えられた。安定生産(持続性)を妨げる要因には過剰な水消費量、水田からの養分の流出、有機物の投入不足があると考えられた。その原因となる栽培環境は田越灌漑での灌漑水の掛け流し、水質、土壌の保水性と考えられ、原因となる栽培管理は水管理、圃場準備(耕起・代かき)、肥培管理、収穫後の残渣管理、堆肥の施用と考えられた。なお、養分の流出については、MIADが2012年9月に実施した水質調査の結果より、用水と比較して排水中の陽イオン濃度が高いことが明らかにされている。

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)

平成24年度は、暫定契約期間であり、カウンターパートも未定であったため、技術移転に関する活動は特に行わなかった。

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)

特になし

2-5. ケニアにおけるイネ育種および品種評価システムの開発

研究のねらい

早ばつ、冷害、土壌の低肥沃度、いもち病、塩害などを克服するケニア向けイネ品種を開発するための育種システムを構築する。

②研究実施方法

ケニア向けイネ品種開発のための交配、育成施設、ならびに種子の保存を行うための施設を整備する。また、既存品種の生育、収量、収量構成要素、形態的特徴、アロマ、耐倒伏性、脱粒性などの農業形質を評価し、品種特性評価データ一覧を作成するとともに、そのための評価マニュアルを作成する。さらに、耐旱性、耐冷性、肥料反応性、低肥条件適応性、いもち病圃場抵抗性をケニアで評価するための評価圃場を整備し、形質ごとの評価基準および評価基準品種を整備する。その上で、交配、品種特性評価、品種選抜、品種登録などを包括するイネ育種に関する手引きを作成し、ケニアにおけるイネ育種システムを確立する。また、イネ品種(遺伝資源)を維持保存するためのシステムを構築する。また、ケニアにおけるイネ栽培上の課題を解決するための技術改善方策を農家レベルで実証するための栽培技術実証試験マニュアルを作成し、実際に農家圃場で栽培技術実証試験の試行を行う。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

先行研究で評価したネリカ品種等の耐冷性に関するデータおよび平成24年度の耐冷性検定結果に基づき、ケニアの耐冷性基準品種の候補となる品種を整理した。

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)

平成24年度は、暫定契約期間であり、カウンターパートも未定であったため、技術移転に関する活動は特に行わなかった。

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)

特になし

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0 件、国際 2 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 2 件)
- ③ 論文詳細情報
 - 1. Niones, J.M., Suralta, R.R., Inukai, Y. and Yamauchi, A. 2012. Field evaluation on functional roles of root plastic responses on dry matter production and grain yield of rice under cycles of transient soil moisture stresses using chromosome segment substitution lines. *Plant and Soil* 359: 107-120.
 - 2. Kitomi, Y., H. Inahashi, H. Takehisa, Y. Sato and Y. Inukai 2012. OsIAA13-mediated auxin signaling is involved in lateral root initiation in rice. *Plant Sci.* 190: 116-122.

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 「名古屋大学」グループ(コメ生産向上のための育種素材と栽培技術の開発)

① 研究者グループリーダー名: 山内章 (名古屋大学・教授)

② 研究項目

- 1-1. 既存品種の特性評価
- 1-2. 栽培環境および栽培管理が既存品種の機能発現に及ぼす影響の解析
- 1-3. 既存品種の有用農業形質の特定
- 1-4. 有用農業形質に関する QTL 解析
- 1-5. 有用 QTL を導入した NIL/RIL の作出(国内のみ)
- 1-6. 有用 QTL 導入効果の解明
- 1-7. 栽培環境および栽培管理が有用 QTL 導入系統の機能発現に及ぼす影響の解析
- 1-8. 有用 QTL が有効に機能するための条件の解明
- 1-9. 品種の能力を十分に発現させる栽培技術の開発
- 1-10. 有用 QTL を導入した中間母本の作出

(2) 「岡山大学」グループ(低肥条件適応育種素材の開発)

① 研究者グループリーダー名: 前川雅彦 (岡山大学・教授)

② 研究項目

- 2-1. 既存品種の低肥条件適応性の評価
- 2-2. 低肥条件に適応する育種素材の開発
- 2-3. 低肥条件適応性に関する QTL 解析(国内のみ)
- 2-4. 低肥条件適応性 QTL 導入効果の解明
- 2-5. 栽培環境および栽培管理が低肥条件適応性 QTL 導入系統の機能発現に及ぼす影響の解析

2-6.低肥条件適応性 QTL が有効に機能するための条件の解明

2-7.品種の能力を十分に発現させる栽培技術の開発

2-8.低肥条件適応性 QTL を導入した中間母本の作出

(3)「島根大学」グループ(栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と土壌環境改善技術の検討)

①研究者グループリーダー名： 増永二之 (島根大学・教授)

②研究項目

3-1. 土壌特性を中心とする栽培環境と栽培管理の実態調査

3-2. 土壌条件に関する栽培技術の課題の抽出

3-3. 栽培技術改善方策の検討

3-4. 栽培技術改善方策の実証

(4)「山形大学」グループ(栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と節水栽培技術の検討)

①研究者グループリーダー名： 佐々木由佳 (山形大学・助教)

②研究項目

4-1. 水条件を中心とする栽培環境と栽培管理の実態調査

4-2. 水条件に関する栽培技術の課題の抽出

4-3. 栽培技術改善方策の検討

4-4. 栽培技術改善方策の実証

(5)「KARI」グループ(ケニアにおけるイネ育種および品種評価システムの開発)

①研究者グループリーダー名： John Kimani (ケニア農業研究所・研究員)

②研究項目

5-1. 品種交配育成システムの整備

5-2. 既存品種の特性評価

5-3. 品種評価システムの構築

5-4. 栽培技術改善方策の実証