

海外への研究協力(2)

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者	常松, 浩史
巻/号	81巻1号
掲載ページ	p. 223-228
発行年月	2006年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



海外への研究協力

— (2) アフリカでの NERICA 開発 —

常松 浩史*

〔キーワード〕：アフリカ，天水稲作，NERICA，耐乾性，深根性

1. はじめに

アフリカに対する支援が再び注目を集めている。2005年7月にイギリス・グレンイーグルスで開催されたサミットでもアフリカ支援は主要な議題となり、日本政府も積極的にアフリカ支援を行っていくことを表明した。そのアフリカでは人口増加，砂漠化および都市への人口集中などによって引き起こされる食料不足や貧困の問題は深刻で、この地域における食料・農業問題の解決はアフリカ支援の最重要課題の一つとされている。

サハラ砂漠以南のサブサハラ，とくに中部・西アフリカ諸国では急激な人口の増加と都市化によって、コメの消費は増加の一途を辿っている。しかし、この地域のコメの生産は需要の伸びに追いついておらず、消費の増加とともに輸入も増加し続けている。そのような中で、アフリカ稲研究センター(WARDA；旧「西アフリカ稲作開発協会」)で育成された NERICA (New Rice for Africa) はアフリカのコメ不足を解消し、貧困対策と食料安全保障に大きく貢献することが期待されている。筆者は WARDA と国際農林水産業研究センター (JIRCAS) の共同研究に関わっている(高木ら 2002)。以下ではアフリカの稲作，とくに天水畑地における稲作および現地での研究の実際を紹介し、今後の展望について考える。

2. 研究協力の経緯

JIRCAS は 1970 年に設立された農林省熱帯農業研究センターを原初として、アジアを中心に熱帯・亜熱帯の開発途上地域における農林水産業発展のための国際共同研究を行ってきた。一方、アフリカでの共同研究の規模や対象とする分野は限定的であった。しかし、増加するアフリカからの

研究支援の要請に応え、アフリカの食料・農業問題に積極的により広い展望をもって組織として取り組む必要性が JIRCAS 内で認識されるに至った。そこで外部の有識者も交えて、基本的食料の増産につながる共同研究として JIRCAS が取り組むべき分野の検討がなされた。アフリカの多様性を反映して対象となる研究分野も多岐に及び、さまざまな研究の方向性が検討された。最終的には、アフリカでコメの消費が急速に伸びていること、日本における研究・技術の蓄積があることから、イネに関わる研究がアフリカにおける総合研究の第一歩として適当であるとの結論に達した。

このような経緯を経て、WARDA との共同研究プロジェクト「西アフリカにおける米増産のための稲種間交雑種の活用に関する研究」が 1998 年 4 月に 5 年間のプロジェクトとして開始された。この中で WARDA の育種部門と社会経済部門に 2 名の研究者が JIRCAS より長期派遣され、育種分野では不良環境耐性の向上、社会経済分野では稲作技術普及における社会経済的問題の解析が行われた。育種分野では天水畑作における乾燥と酸性土壌への耐性向上をめざし、その成果を NERICA 育成に反映させることを目標として共同研究を実施してきた。しかし、2002 年 9 月に WARDA のホスト国であるコートジボアールの内戦の影響を受けて、研究者の長期派遣は中断を余儀なくされた。アフリカでは紛争とそれに伴う政治的不安定は解決すべき問題の一つとしてあげられるが、アフリカでの共同研究が、まさにこの問題に直面する形となった。中断を経て、2004 年からは新たに 5 年間の計画で WARDA との共同研究を更新した。この中では WARDA の育種部門に 1 名の長期派遣とギニアの国立農業研究所 (IRAG) に栽培・生理分野の研究者 1 名の長期派遣を行っている。さらに研究支援要員として WARDA および IRAG にポスドク研究員を 1 名ずつ派遣している。

* アフリカ稲研究センター・独立行政法人国際農林水産業研究センター (Hiroshi Tsunematsu)

WARDAでの研究は2004年度はマリのバマコで、2005年度からはナイジェリアのイバダンで実施し、引き続き耐乾性品種育成に資する研究を行っている。

3. アフリカの稲作とNERICA

サブサハラ地域におけるコメの輸入はこの地域の食料輸入の25%以上(金額ベース)を占め、2003年にはほぼ500万tを輸入している(FAO Statistical Database; <http://apps.fao.org>)。これは約11億米ドルに相当し、増え続けるコメの輸入は、この地域の経済発展の障害となるだけでなく、食料の安全保障のうえでも問題となっており、地域内でのコメの生産向上が強く求められている。

アフリカにおける稲作適地はギニア湾沿岸の湿潤および半湿潤地帯であり、稲作総面積の6割以上が西アフリカにある。西アフリカにおける稲栽培生態系は天水畑地、天水低湿地、灌漑水田、マングローブスワンプ、深水地域に分類される。ここでは約2,000万人の小規模農家が稲作に従事しているとされる。このような環境の中でWARDAは天水稲作(天水畑地と天水低湿地)に適した品種の育成に力を注いできた。畑地と低湿地を比較すれば、栽培総面積に占める割合はほぼ同じであるが、低湿地の方が収量は高く、その潜在的可能性も高い(表1)。アジアでの緑の革命の経験から、西アフリカでの稲作も天水畑地から天水低湿地あるいは灌漑水田へと移行していくことが望ましい。しかし、これらの地域では低湿地を忌避する習慣があることや、水田の経験に乏しいことから、低湿地や灌漑水田への移行には今しばらく時間がかかると考えられる。一方、畑地では焼畑による稲作が伝統的に行われている。ここで稲作に従事する者の多くは女性であり、稲作に関

与する全農民の約7割を占める。これらの理由から、西アフリカの天水畑地での生産性の向上が必要とされている。

天水畑地での陸稲作は天候に左右されることが多く、リスクが大きいため肥料や農薬などを投入することはほとんどない。このような栽培条件下では、雑草との競合、干ばつ、いもち病、酸性土壌、肥沃土の低い土壌などが収量制限要因となる。このような問題の克服のためにアフリカ稲(*Oryza glaberrima*)が有用な遺伝資源として考えられた(Jonesら1997; 飛田2000)。アフリカ稲は穂に二次枝梗がほとんどなく、倒伏性や脱粒性も高いため、収量は低いが、アフリカでの長い栽培の歴史を通してアフリカに特異的な病害虫や問題土壌に対する適応性を持つと考えられている。これに対し、アジア稲(*O. sativa*)は収量性は優れるものの、アフリカの収量制限要因に必ずしも適応しているわけではない。

そこでアジア稲の収量性とアフリカ稲のストレス耐性を併せもつ品種という構想の下にNERICAが開発された。この開発には日本も大きく関与し、政府からの研究資金の提供という財政的支援および東京大学・国際協力事業団(JICA; 現「国際協力機構」)・JIRCASからの日本人研究者の派遣という人的貢献があった。

その結果、それまでは難しいとされてきたアジア稲とアフリカ稲の種間雑種を得ることに成功した。当初、種間雑種が得られたのはアジア稲に日本型(ジャワ型)を用いた時に限られていた。日本型は西アフリカにおいて天水畑地に広く適応していたことから、焦点を陸稲品種開発に絞り、有望系統の育成が精力的に展開されることとなった。このような技術的な側面に加え、陸稲生産には関与する小規模農家が多く、改良品種がもたらすインパクトは大きいという側面も陸稲品種開発を後押しする要因となった。現在では種間雑種の得られる組合せも増え、アジア稲にインド型を用いて、天水低湿地や灌漑水田を対象としたNERICAの開発も積極的に行われている。

NERICA育成の過程では農民を展示圃場に招いて品種選抜を行う農民参加型品種選抜(PVS: Participatory Varietal Selection)が積極的に行われた。このPVSの成果も踏まえ、WARDAで

表1 西アフリカにおける
各栽培生態系の稲作面積および収量

栽培生態系	総作付面積に占める割合(%)	収量 (t/ha)	
		現状	潜在的可能性
湿潤・半湿潤地帯			
天水畑地	40	1.0	1.5 - 4.5
天水低湿地	38	1.4	2.5 - 5.0
灌漑水田	5	2.8	5.0 - 7.0

表2 WARDAが普及を推奨する NERICA

品種名	系統番号	交配組合せ
NERICA1	WAB 450-I-B-P-38-HB	WAB 56-104 / CG 14
NERICA2	WAB 450-11-1-P31-1-HB	同上
NERICA3	WAB 450-I-B-P-28-HB	同上
NERICA4	WAB 450-1-B-P91-HB	同上
NERICA5	WAB 450-11-1-1-P31-HB	同上
NERICA6	WAB 450-I-B-P-160-HB	同上
NERICA7	WAB 450-1-B-P-20-HB	同上
NERICA8	WAB 450-1-BL1-136-HB	同上
NERICA9	WAB 450-B-136-HB	同上
NERICA10	WAB 450-11-1-1-P41-HB	同上
NERICA11	WAB 450-16-2-BL2-DV1	同上
NERICA12	WAB 880-1-38-20-17-P1-HB	WAB 56-50 / CG 14
NERICA13	WAB 880-1-38-20-28-P1-HB	同上
NERICA14	WAB 880-32-1-2-P1-HB	同上
NERICA15	WAB 881-10-37-18-3-P1-HB	CG 14 / WAB 181-18
NERICA16	WAB 881-10-37-18-9-P1-HB	同上
NERICA17	WAB 881-10-37-18-13-P1-HB	同上
NERICA18	WAB 881-10-37-18-12-P3-HB	同上

はとくに推奨する7系統について NERICA1 から NERICA7までの番号を与えた (WARDA 2000). 現在ではさらに11系統を加え、合計18系統に NERICAの番号を付与し、普及を推奨している (表2). これらの NERICAは低投入の小規模農家でも従来の品種と比較して収量の増加が見込めるとされている (WARDA 1997).

4. 耐乾性品種の選抜

本プロジェクトでは今後開発される NERICAのさらなる不良環境耐性の向上を目標としている. コートジボアールを本拠としていた時には耐乾性と酸性土壌耐性を対象に研究を行っていた. 酸性土壌耐性のスクリーニングはコートジボアールの西部のマンに位置する試験地を利用していた. しかし、2002年の内戦以降は同試験地が使用不能となったため、現在は天水畑作における耐乾性に集中して研究を実施している.

これまでに育成された NERICAの大きな特徴として、生育期間が短いことがあげられる. 伝統的な在来品種が播種から収穫まで120日から140日かかるのに対し、NERICAは90日から110日で収穫に至る. これにより NERICAは干ばつを回避する可能性が高まった. このように NERICAは乾燥ストレスという点でも従来の品種に比べて陸稲栽培環境への適応性を備えているが、今後はさらに干ばつに対する耐性の向上が求めら

表3 耐乾性「強」と評価された品種

品種名	原産国
Azucena	フィリピン
Short Grain	タイ
LAC23	リベリア
Kinandang Patong	フィリピン
Ma Hae	タイ
Black Gora	インド
Trembese	インドネシア

れている.

そこで、対象となる現地の環境においてイネの耐乾性の変異を理解するために、幅広い遺伝資源を用いて生育初期の耐乾性評価試験を行った. 用いた材料は、国際稲研究所 (IRRI) が保有する遺伝資源の中でイネの変異を代表すると考えられ

る品種と茨城県農業総合センター生物工学研究所で深根性と評価された品種 (いずれもアジア稲) の合計260品種、WARDAが保有するアフリカ稲86系統と109系統の NERICAとその親系統の合計455品種・系統である. 試験はコートジボアール・ブアケで雨期に雨を避けるため天井を透明ビニールで覆った網室で実施した. 各品種は40cmの長さに条播し、条間は12cmとした. 処理区として乾燥区と対照区を設け、播種後14日間は両処理区とも同じく灌水を行った. 乾燥区では播種後15日目から灌水を停止し、対照区では引き続き灌水を行った. 灌水停止後45日目 (播種後60日目) に各品種の乾燥に対する反応をIRRIの標準評価法 (IRRI 1996) に従って評価した.

乾燥区では品種により乾燥に対する反応はさまざまであった. 乾燥に弱い品種の地上部は完全に乾いて枯死していた. 供試した品種の多くはこのタイプであった. また、地上部の緑が濃くなり、葉身が針のように巻く品種も観察された. 乾燥に強い品種は対照区と比べると草丈は低く、生育は劣るものの、葉身の乾燥と巻きは観察されなかった. 評価の結果、7品種を乾燥耐性「強」品種として選抜した (表3). 選ばれた品種はすべてアジア稲であった. 「Azucena」はこれまでの研究でも耐乾性品種とされており、今回の結果はこれを追認するものであった. 供試した NERICAの中には乾燥耐性「強」と評価された系統はなく、

NERICAには耐乾性向上の余地があることが示唆された。

現在、耐乾性品種と感受性品種の交配を行って、マッピング集団を育成中である。今後はDNAマーカーを用いて耐乾性に関与する遺伝子をマッピングし、マーカー選抜の可能性を検討する。同時に耐乾性品種の生理学的特徴も分析し、耐乾性品種がどのような要因で耐性を獲得しているのかを明らかにする。耐乾性品種とこれらの情報を育種プログラムで活用し、耐乾性を備えた品種の育成に貢献する予定である。

5. 耐乾性の理解に向けて

植物の耐乾性にはさまざまな要因が複雑に関与しており、その解明は容易ではない。イネにおいても耐乾性に関わる多くの研究がなされてきたが、その成果が育種プログラムで活用され、耐性品種の育成に貢献した例はほとんどない。現在までの栽培・生理学的な研究から耐乾性との関連が示唆されている形質は、地下部では深根性、根量など、地上部では気孔開度や巻葉の程度などと植物体全体にわたる。育種家は圃場での観察を通して耐乾性の選抜を行ってきた。この方法は耐乾性を全体として捕らえるには適しているが、耐乾性に関わる個別の形質を選抜しているわけではない。また実際のストレス耐性の向上という意味でも従来の方法は頭打ち状態にあると考えられる。そこで耐乾性をそれに関わる形質に分解し、それぞれの形質を最適化し、その積み上げによって耐乾性を向上させるということが必要だと考えた。この方法は従来の選抜方法を補完するものであり、各形質の最適化の過程において耐乾性に関わる新たな知見が得られることも期待される。この実現には関連形質の詳細な遺伝学的情報のためのQTL解析、さらに各形質の最適化と積み上げにはDNAマーカーによる間接選抜が必要となる。

このアプローチの最初の形質として深根性に注目している。これまでの研究から深根性(深く太い冠根)は耐乾性の獲得に重要な形質であることが示唆されているにもかかわらず(O'Tool 1982, Fukai and Cooper 1995)、実際の育種において積極的に選抜されているとは言い難い。これは深根性が地下部の形質で、実際の圃場での選抜には多

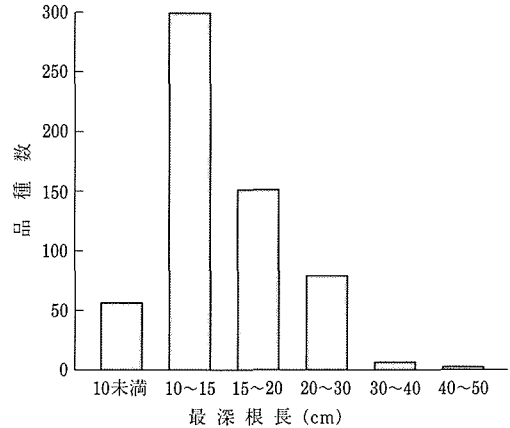


図1 最深根長の頻度分布

大な労働力と時間を必要とし、現実的ではないためである。そこでDNAマーカーによる深根性の間接選抜が可能になれば、それが耐乾性の育種にもたらす恩恵は非常に大きいと考えられる。

そこでマリ・バマコの陸稲試験畑で多様な遺伝資源を用いて深根性の評価を行った。用いた材料は耐乾性品種の選抜に用いたIRRIおよび茨城県農業総合センター生物工学研究所から分譲を受けたアジア稲、WARDAの保有するアフリカ稲に加え、農業生物資源研究所の保有するアジア稲遺伝資源の代表的な278品種の合計588品種であった。これらをWARDA陸稲慣行法に従って各品種24株(1株当たり5粒播種)を栽培した。供試株それぞれの出穂日を記録し、出穂後14日目に深根性の評価を行った。最後まで出穂しなかった2品種については評価から除外した。深根性の評価にはエンジン式コアサンプラー(大起理化学工業)を用いた。各品種、生育の中庸な3個体を地表面で切り取り、植物体の中心直下のコアを打ち抜いた。取り出した土壌サンプルを水洗して最も長い根長を測定した。なお、コアは直径70mmで、地表面下60cmまでのサンプリングが可能である。

その結果、各品種の平均の最深根長は6.3cmから41.3cmであった(図1)。深根性の目安とされる根長30cm以上の品種は6品種のみであり、20cm未満の品種が全体の86%を占めた。さらに各品種3株の平均で、ばらつきの大きい品種もあ

った。コアサンプル法は塹壕法などよりもサンプリングに必要とされる時間は短い。しかし本スクリーニングでは、ピーク時には1日当たり60株以上のサンプリング、水洗、根長計測を行わなければならないと考えられた。そこで得られた最深根長の結果から、上位100品種を選抜し、二次スクリーニングを行うこととした。選抜した100品種のうち、93品種はアジア稲、7品種はアフリカ稲であり、最も短い品種で平均根長は16.6cmであった。現在、ナイジェリア・イバダンの陸稲試験畑で各品種33株、4反復を栽培し、反復当たり5株(各品種合計20株)のサンプリングを行っている。これらの結果から、陸稲雨期作における深根性品種を同定する予定である。

6. 問題点と今後の展開

これまでの研究はコートジボアールの内戦の影響を受け続けている。WARDAはコートジボアール・ブアケからの退避後、研究部をマリのバマコへと移した。さらに現在ではベニンのコトヌーへと移転している。それに伴い試験地もブアケ、バマコと移動を余儀なくされた。WARDAはコートジボアールの状況が落ち着けば、ブアケに戻ることを表明している。しかし、いつブアケに帰還することができるのかはまったく不透明である。この影響を避けるために、2005年度からはナイジェリアのイバダンにあるWARDAナイジェリア支所を研究の本拠とした。今後は同一の試験地での反復試験が必要とされる。

耐乾性品種の選抜では乾燥ストレスに強い品種と弱い品種には明確な差が観察された。しかし、設備の制約と、より多くの材料を供試するために、密植条件でかつ無反復とせざるを得なかった。今後は乾期に実際の試験畑での確認試験が必要である。また、選抜された品種がどのような要因で耐乾性を示したのかという栽培・生理学的なアプローチも重要である。同じ耐乾性品種といっても作用機作が異なれば、それらを組み合わせることにより、より高い耐乾性が得られることが期待される。さらに、最も収量への影響があるのは出穂期の乾燥ストレスである。出穂期の異なる多くの遺伝資源に対して適切な乾燥ストレスを与え

るのは容易ではないが、今後乾期作でのスクリーニングを行う必要がある。

イネの変異の多くをカバーしていると思われる遺伝資源を用いた評価では、多くの品種は深根性ではないと判断された。また、根の伸長は土壌の影響を受けやすいことも知られている。そこで、一次スクリーニングから上位100品種に絞り、反復を増やし、試験地を変えることで異なる土壌でも安定して深根性を示す品種を選抜しようとしている。中部・西アフリカの天水畑での稲作に適応可能な深根性品種を同定後、浅根性品種と交配して深根性に関与する遺伝子をマッピングする。選抜した深根性品種と耐乾性の関係についても環境条件を考慮しながら検討する必要がある。さらに、現地圃場で多くの品種を供試するためにコアサンプリング法を用いて深根性の評価を行っているが、この方法では株直下の直径70mmに存在する根系しか観察できない。用いる品種を絞り込んだうえで、塹壕法により全体の根系を観察する必要がある。現在、深根性は雨期作の陸稲試験畑で調査している。これは各品種の基準データとなるが、乾燥ストレス下での深根性を評価しているわけではない。今後は乾燥ストレスと根の伸長反応について調べる必要がある。

耐乾性に関わる形質に注目するアプローチでは地下部の深根性に続き、気孔開度(蒸散)について現地圃場でのスクリーニングを開始する。深い土壌層に根を伸長させることにより乾燥ストレス下での水吸収を確保し、地上部植物体の水ポテンシャルを高く維持することは一つの有効な戦略であると考えられている(Yoshida and Hasegawa 1982)。気孔開度が小さければ、短期的な乾燥ストレス下では蒸散の抑制につながり、耐乾性に有利な形質と考えられる。その一方で、蒸散の抑制は光合成速度の低下という負の側面ももつ。深根性をベースとして現地の栽培環境に適した気孔反応について検討することは、イネの耐乾性に関して非常に重要であると考えられる。

これまでの多くの研究や経験が示しているように、耐乾性とは複雑な形質で、その改善は容易ではない。研究の対象としている現地の湿潤および半湿潤地帯では、雨期の間に小乾期をはさむ二峰型の降雨パターンが多い。さらに、この小乾期の

到来時期が年次によって変動する。このため生育期間のあらゆる場面で植物体は干ばつにさらされる可能性がある。このように対応すべき課題は大きい。この課題に取り組むためには、今まで以上に遺伝・育種と栽培・生理の両分野が緊密に連携することが重要である。WARDA内でも耐乾性の重要性が認識され、ロックフェラー財団の支援を受けて、「アフリカの小規模農家のための天水稲作における耐乾性の改善」と題したプロジェクトが開始された。このようにWARDA内はもちろん、国内外の研究者と情報を共有しながら、アフリカの小規模陸稲農家のための実用的な品種の育成に貢献していきたい。

引用文献

- FAO Statistical Database (<http://apps.fao.org>)
- Fukai, S. and M. Cooper 1995. Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice. *Field Crops Res.* 40:67 – 86.
- IRRI 1996. Standard evaluation system for rice, IRRI, Manila, Philippines. 37 – 38.
- Jones, M. P., M. Dingkuhn, G. K. Aluko and M. Semon. 1997. Interspecific *Oryza sativa* L. × *O. glaberrima* Steud progenies in upland rice improvement. *Euphytica* 94:237 – 246.
- O'Toole, J. C. 1982. Adaptation of rice to drought-prone environments. In *Drought resistance in crops with emphasis on rice*. IRRI, Manila, Philippines. 195 – 213.
- 高木洋子・常松浩史・岩永勝 2002. 西アフリカにおける陸稲品種開発の最近の動向 – NERICAの開発と普及 – . *国際農林業協力* 25(1 – 2):12 – 19.
- 飛田哲 2000. 西アフリカにおける稲の育種研究について. *国際農林業協力* 23(3):11 – 34.
- WARDA 1997. Something new out of Africa. Annual report 1996, WARDA, Bouaké, Côte d'Ivoire. 13 – 20.
- WARDA 2000. New rice for Africa, with a little help from our friends. Annual report 1999, WARDA, Bouaké, Côte d'Ivoire. 9 – 15.
- Yoshida, S. and S. Hasegawa 1982. The rice root system: its development and function. In *Drought resistance in crops with emphasis on rice*. IRRI, Manila, Philippines. 97 – 114.