

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19405046

研究課題名（和文）サブ・サハラ・アフリカに適した「低投入環境保全型グリーンレボリューション」の検討

研究課題名（英文）Low-Input-Environmental-Friendly Green Revolution for Sub-Saharan Africa

研究代表者 菊池 眞夫 (KIKUCHI MASAO)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授

研究者番号：10241944

研究成果の概要（和文）：サブサハラにおける「低投入環境保全型」農業モデルを提唱するため、ウガンダにおいて農家調査、栽培試験、パピルス湿地開田試験、関連2次資料収集を行った。これら基礎データの分析により、陸稲作・水稲作の普及により稲作生産を飛躍的に拡大するポテンシャルは極めて大きく、サブサハラにおいて、環境に負荷を与えることなく「緑の革命」を達成する条件は整っており、それを達成することが農村の貧困解消にも貢献することが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Aiming at establishing a low-input and environmental-friendly agricultural model for Sub-Saharan Africa, we conducted in Uganda farm surveys, crop cultivation experiments, lowland-conversion-trials of papyrus swamp and secondary data collection on related matters. Analyses based on the basic data thus collected made it clear that the potentials are very large to increase rice production through the diffusion of upland as well as lowland rice cultivation, that necessary conditions ready in Sub-Saharan Africa to attain “green revolution” without giving any adverse impact on environment, and that the “green revolution” contribute to reducing rural poverty.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	2,700,000	810,000	3,510,000
20年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
21年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	11,100,000	3,330,000	14,430,000

研究分野：熱帯農学

科研費の分科・細目：農学・境界農学

キーワード：環境浄化、緑の革命、ネリカ、ウガンダ、パピルス、湿地、水稲、陸稲

1. 研究開始当初の背景

日本をはじめとする先進国が支援するネリカ米の開発普及は、サブサハラに緑の革命をもたらす可能性を持つものとして注目されている。熱帯アジア各国に「緑の革命」が起こったのは1970年代である。イネの収量が飛躍的に増加し、多くの国で米の自給率が向上したが、同時に化学肥料・農薬の過剰投与を引き起こし、1990年代に入って環境汚染、病害虫の抵抗性増加、食品安全性などの問題を顕在化させた。現在のアフリカでは70年代の熱帯アジアと同様、大都市が形成され、食習慣の急激な変化が生じており、今後、稲作や野菜栽培に対する、化学肥料・農薬の過剰投与が問題となることが懸念される。サブサハラの中でも高地にあり、水資源が豊富で、比較的気候条件が良いウガンダでは、現在精力的に稲作普及や灌漑整備が行われているが、次のステップである園芸作物栽培の集約化も遠くない将来に起こると思われる。その際、熱環境の悪化と、それによる水資源の劣化がおこることは明白である。

サブサハラにおいて「緑の革命」が成功する条件が整いつつあることを栽培学的・社会経済的側面から実証すると同時に、その結果として生じる環境負荷の実態と将来予測を定量的に調査・評価し、当該地域での持続的農業活動のあるべき姿を明らかにするための基礎的資料を得ることは、食料生産の確保、農村における貧困解消、環境保全の総ての面から必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、ウガンダにおける主食作物及び野菜栽培の構造と特色を社会経済的、農学的、環境科学的調査及び文献調査から明らかにし、作物体系、地形と水文環境、水利用形態、経営類型の観点から、幾つかのタイプに分類する。それぞれのタイプを代表するような圃場を抽出して、チッソ等の動態を明らかにする。また、同時に栽培暦や収量調査、農家経済調査の結果と、各地域の土壌特性や水文環境から、集約的園芸作物栽培が拡大した場合の環境負荷の推定を行い、経済的にも持続性のある適正な栽培・肥培管理のモデルを策定し、サブサハラにおける「低投入環境保全型」農業モデルを提唱する。ウガンダには湿地帯が残され、その保全に努力しており、湿地の農地開発を厳しく制限しているが、湿地保全と両立する「低投入環境保全型」農業形態の提唱を目指す。

3. 研究の方法

(1) パピルス湿地を水田にした場合の環境負荷の実態

首都カンパラの近郊、ナムロンゲにある国立作物資源研究所敷地に接したKatabana川（川幅約215 m）東岸において河川の自然増水と減水に依存する天水田を造成した。施肥区と無施肥区を3反復設け、水田から川側と周辺部にパピルスを手際から伐採したパピルス還元区を設けた。水田内および周辺域で、定期的に水質（濁度、pH、EC、NO₃、NH₄、NO₂）を調査するとともに、パピルス還元区でのパピルスの再生量をモニタリングした。栽培試験、モニタリングは2008年の2期作目から3作目について実施した。

(2) 斜面圃場における土壌含水率が穀物の生育に及ぼす影響

国立作物資源研究所内の勾配約10%の斜面圃場において最も低い地点から最高地点に向かって74mまでを栽培範囲とし、4種の穀物（ネリカ4、メイズ、ソルガム、ミレット）を並列に栽培した。1区4mとし、6区2反復設け、区間は10mの間隔をとり、断続的に栽培した。播種は2009年9月7日、収穫は2010年1月13日。栽植密度はメイズとソルガムは30cm×80cm、ミレットは40cm×10cm、ネリカは30cm×12.5cmとした。11月3日から1週間毎に稈長と分けつ数を、収穫期に各作物5個体をランダムに選出し、稈長、穂長、風乾重、粒重、粒数、穂数を調査した。また10月28日から各区土壌の重量含水率を地下10cmと20cmの2地点につき5日おきに12回測定した。

(3) 農家のネリカ採用要因分析

ウガンダ北部3件において100戸の農家を無作為抽出し、ネリカ採用の有無、農家属性について質問表に基づく面接調査を行い、得られたデータにCox proportional hazards modelを適用し、要因分析を行った。

(4) 斜面圃場における最適作付体系の推定

ウガンダにおいて普遍的に存在する斜面圃場について、地下水位からの標高5m未満と5m以上に分け、ネリカ、メイズ、ミレットを作付可能な作物として、線形計画法により最適作付体系を推定した。基礎データは、ネリカの収量反応関数については上記(2)の栽培実験データ、生産費についてはウガンダ北部3県175戸の農家に2008-09年に実施した経営調査、メイズとミレットの収量反応関数及び生産費については同国東部の40戸の農家に2009年に実施した経営調査より得た。

雨量についてはウガンダ気象庁の過去50年間の連日雨量データを用いた。

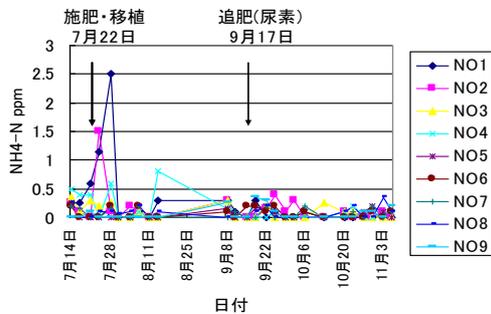
(5) 水稲作灌漑発展の可能性

世界銀行、アフリカ開発銀行等国際援助機関出資の大規模灌漑プロジェクト報告より得られたデータ、ウガンダにおけるJICAによる小規模灌漑プロジェクトのデータ、及び上記(1)の研究より得られたパピルス湿地開田のデータを用い、水稲作を対象とした灌漑開発、開田プロジェクトの費用分析を行った。

4. 研究成果

(1) パピルス湿地を水田にした場合の環境負荷の実態

①水田水の濃度の推移：3作を通じてN03-Nはほとんど検出されず、NH₄-Nが検出されたが低濃度であった。第1作目におけるアンモニア水の濃度の推移を図に示す。施肥直後、施肥区(N01)、施肥区下部のパピルス還元区



でやや高い値を示したが、その後はすべて0.5 ppm以下であった。施肥尿素がアンモニアとして周囲にやや拡散するが、施肥量が小さく、また水田水による希釈効果もあり、濃度は高くないと考えられる。パピルス湿地を流れる河川水(N09)も常に0.5 ppm以下であった。

②パピルス再生量：開墾時の地上部乾燥重は平均32.4 ton/haと大きく、根株重も25.3 ton/haと大きい。伐採直後から急速に再伸長し、2ヶ月で150 cmに、地上部重は伐採7ヶ月で開墾時の約71%に達し、パピルスの再生力が極めて高いことを示した。また、無施肥区下部に比べると施肥区下部で再生量が大きく、施肥養分が周辺部に拡散し生長が促進されたものと考えられる。自然還元区に比べ

開墾時		2008年7月				
サンプリング位置	上部	中部	下部	平均		
地上部重 ton/ha	30.5	38.6	28.0	32.4		
根株重 ton/ha	24.3	27.4	24.2	25.3		
茎数 /ha	146,667	160,000	84,444	130,370		
茎長 cm	390	423	451	421		
茎重 g/本	146	168	244	822		
サンプリング面積: 1.5 m x 1.5 m						
伐採7ヶ月後		2009年2月11日				
サンプリング位置	施肥区下部	無施肥区下部	自然還元区上部	自然還元区中部	自然還元区下部	平均
地上部重 ton/ha	38.5	17.7	13.8	18.8	26.5	23.1
茎数 /ha	463,333	360,000	240,000	383,333	480,000	385,333
茎長 cm	236	204	226	220	235	224
茎重 g/本	53	30	37	34	35	38
サンプリング面積: 1 m x 1 m, 3反復の平均, 2009年2月11日						

作期	処理区	一株穂数	m ² 当たり穂数	一穂粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (ton/ha)
2008年2期作 (1作目)	施肥区	6.3	140	69	61	28.7	1.8
	無施肥区	6.1	135	67	52	28.3	1.3
2008年1期作 (2作目)	施肥区	5.3	141	104	84	29.2	3.1
	無施肥区	6.1	161	88	79	28.3	2.6
2009年2期作 (3作目)	施肥区	6.5	173	98	85	30.6	4.5
	無施肥区	5.1	137	84	83	30.1	2.9

元肥: N, P₂O₅, K₂O の順で30, 30, 30 kg/ha, 追肥: 20 N kg/ha
品種: NERICA4, 移植密度: 1作目 30 cm x 15 cm, 2作目と3作目 30 cm x 12.5 cm

でも、再生量が減少することではなく、開田は周辺部のパピルスの生長を妨げていないと判断される。

③収量の推移：1作目から3作目にかけて次第に収量が高くなる傾向があり、また施肥効果も認められた。但し、川岸から離れた施肥区3では、パピルス残さが厚く堆積するとともに、水深が常に深い傾向があったため、常に低収であった。また、その根は黒色の細根が異常に発達し、根への障害発生が示唆された。すなわち、パピルス湿地で開田して比較的安定した収量を得られるのは、川岸のごく狭い領域に限られるものと考えられる。以上のことから、パピルス湿地を開田したときに、周囲のパピルスへの影響はほとんどなく、施肥区周辺部では逆に生長が促進される場合があることが分かった。また、川岸での水田開発は可能であるものの、川岸から離れると収量が低下しやすく、215 mの川幅に対して、開田可能幅は10 m程度である。従って、パピルス湿地を開田するとしても限定的であり、大部分のパピルス植生は開発の対象とならず、保全されると考えられる。

(2) 斜面圃場における土壌含水率が穀物の生育に及ぼす影響

ネリカ4は総ての形質で有意差がなかったが、斜面の中間に位置するC区、D区の1穂稔実粒数、1株粒重、稔実歩合、千粒重、風乾重、単収が低い値を示した。メイズは1株粒重と単収で有意差があった。1株粒重はC区が最も高く、高位置のE区、F区で有意に低かった。単収は最低位置のA区で有意に高く、高位置ほど低くなる傾向がみられた。ソルガムは1穂稔実粒数、1株粒重、単収でA区が有意に高く、E区が有意に低かった。土壌含水率は地下10cmと同20cmともにA区が有意に高く、B区が有意に低かった。また地下20cmではE、F区がB区より有意に高かった。即ち最低位置で土壌含水率が最も高く、その他の5区は高位置にあるほど高くなる傾向がみられた。以上より各作物の収量は、ネリカ4は最低位置のA区のみで、メイズとソルガムは比較的高位置のD区まで十分な収量が得られることが分かった。また、ネリカ4が高位置で稔実歩合や稔実粒数が低下しなかった要因はメイズ及びソルガムより土壌含水率の影響を受けやすい作物であるためであると考えられる。

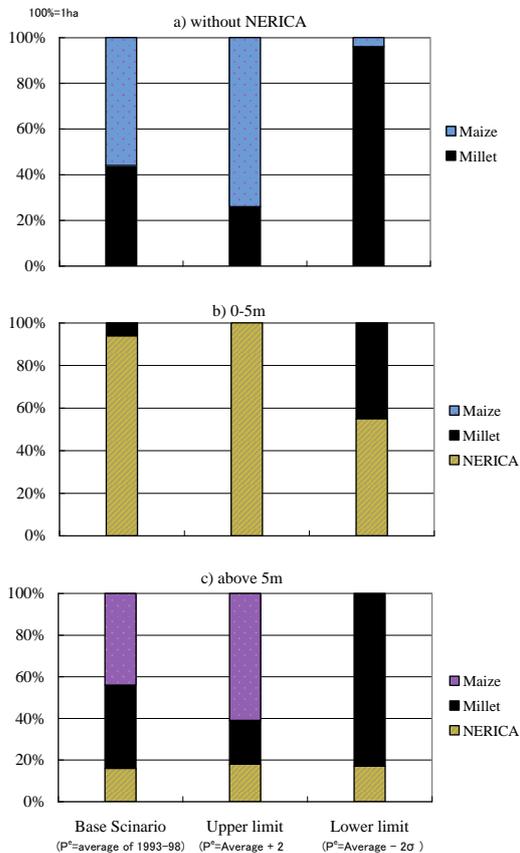
(3) 農家のネリカ採用要因分析

ウガンダにおけるネリカの普及は急速で

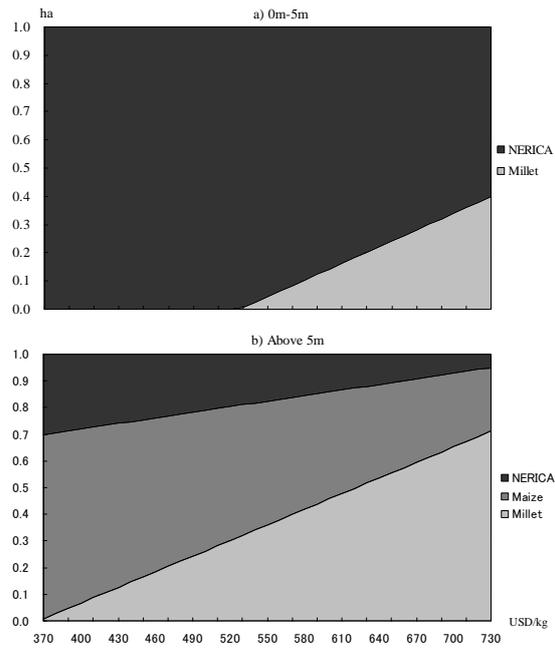
あるが、多くの採用農家が採用後の早い段階でネリカ栽培を放棄する傾向が見出された。農家によるネリカ栽培放棄を規定している要因が、早魃の危険性の高さ、精米所への距離にあることが確認され、また、農民組合への参加がネリカ栽培の続行に貢献していることが見出された。これらの結果は、サブサハラにおいてネリカを普及させるためには、天候変動に対して安定的収量を得られる品種の開発が重要であり、またプリミティブなものであっても何らかの灌漑がなされること、米市場を発展させること、農民組合を育

Estimation results of the hazard/ survival functions

Variables	Cox proportional hazard models ^{b)}			
	Exact partial	Exact partial	Efron	Breslow
	(full)	(selected)	(selected)	(selected)
	Coef. (Std. err.)	Coef. (Std. err.)	Coef. (Std. err.)	Coef. (Std. err.)
Scale variables:				
Age	0.035 (0.024)	0.045 (0.020)**		0.029 (0.014)**
Education	0.172 (0.079)**	0.152 (0.062)**	0.103 (0.045)**	0.103 (0.047)**
No. of Family labor/ha	0.248 (0.212)			
Non farm income	-0.714 (0.600)			
Amount of livestock	0.501 (0.437)		0.543 (0.227)**	
Total farm area	0.142 (0.388)			
Area of NERICA	-0.581 (2.831)			
Area of fallow land	-0.407 (0.407)			
Distance to miller	0.174 (0.457)***	0.152 (0.038)***	0.118 (0.404)***	0.107 (0.028)***
Dummy variables:				
Female ratio	-0.217 (0.737)			
Farmers' group member	-4.315 (0.988)***	-4.262 (0.874)***	-3.398 (0.623)***	-2.855 (0.618)***
Cultivation of lowland rice	0.664 (0.767)			
Experience of drought	1.565 (0.551)***	1.630 (0.499)**	1.452 (0.227)***	1.156 (0.385)***
Experience of flood	1.225 (1.167)			
Adopted in 2005	0.250 (1.048)			
Adopted in 2006	1.235 (0.801)**	1.610 (0.455)***	1.272 (0.365)***	1.080 (0.350)***
Adopted in 2007	-0.672 (0.883)			
Constant				
Log likelihood	-63.55	-68.25	-141.66	-151.94
R ²	0.566	0.507	0.445	0.359



Optimal cropland use by scenario



Optimum cropping area with different millet price

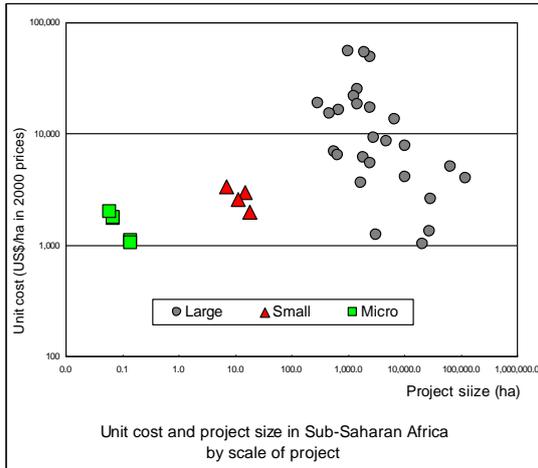
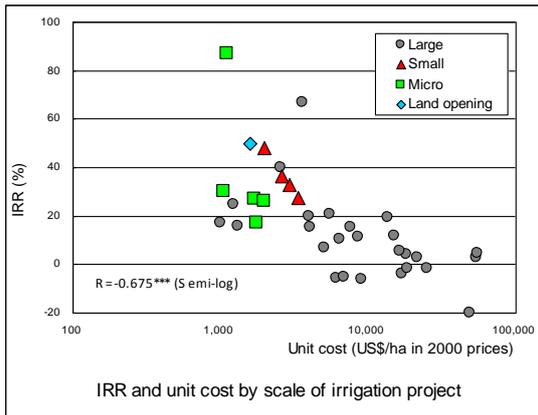
成することが重要であることを示している。さらに、ネリカは老人世帯、寡婦世帯、教育水準の低い農家により採用される傾向があり、その普及が農村における弱者の所得向上に貢献することが明らかになった。

(4) 斜面圃場における最適作付体系の推定

陸稲ネリカの導入が、ウガンダに広範に存在する斜面圃場の最適作付体系をどのように変更するか、線形計画法を用いて分析した結果、ネリカ導入以前は、圃場の位置にかかわらず、メイズ、ミレットが作付けられるが、導入後は、斜面底部ではネリカの作付率が90%以上となること、斜面高部ではネリカの作付率は、総ての穀物価格の同率での高下と関係なく、20%弱で一定となることが明らかとなった。また、穀物間の相対価格の変化する場合、ミレット価格の低下は斜面底部におけるネリカの優越性を高めること、斜面高部においてはメイズとミレットの作付率を柔軟に調節する必要があることが示された。これらの結果は、ウガンダにおけるネリカによる稲増産の潜在力が極めて大きいこと、またネリカ普及を推進するに当たって、圃場の位置によって最適作物が変化することを考慮した普及指導を行うことが不可欠であることを示唆している。

(5) 水稲作灌漑発展の可能性

灌漑プロジェクトとのパフォーマンスを内的報酬率 (IRR) で比較すると、大規模灌漑プロジェクトに比べて、小規模灌漑プロジェクト、パピルス湿地の開田を含む極小規模灌漑プロジェクトがより高いパフォーマンスを示す傾向が見出された。同時に、それぞれ



Cost structure of irrigation projects by scale of project

Project scale	No.	Unit overhead cost (per ha)						Unit construction cost (per ha) ⁹⁾	Unit total cost (per ha)		
		High-value overhead costs ⁴⁾		Training, research, etc. ⁵⁾		Sub-total					
		US\$ in 2000 prices	(%)	US\$ in 2000 prices	(%)	US\$ in 2000 prices	(%)				
Large projects⁹⁾:											
1,000,000 ha and above	3	22	12	2	1	24	13	151	87	175	100
100,000 - 1,000,000 ha	35	79	14	19	3	99	17	481	83	580	100
10,000 - 100,000 ha	48	477	15	59	2	536	17	2,712	83	3,248	100
1,000 - 10,000 ha	24	1,421	18	397	5	1,818	24	5,898	76	7,716	100
100 - 1,000 ha	4	5,788	38	2,205	14	7,993	52	7,385	48	15,378	100
Max/min			267		1,145		339		49		88
Small projects⁹⁾:											
10 - 100 ha	4	1,216	47	317	12	1,533	59	1,067	41	2,600	100
Micro projects⁹⁾:											
Below 10 ha	5	1,325	85			1,325	85	237	15	1,563	100

の規模の内部では強い規模の経済性が存在することが明らかとなった。これは、計画、設計、施工管理に必要なコンサルタントなど、灌漑プロジェクトに不可欠な機会費用の高い投入からなる諸経費が固定費としての性格を強く持っていることによっている。国際コンサルタント等の機会費用の高い人材に依存する国際援助機関の支援による大規模灌漑プロジェクトと国内あるいは地元資源を活用した小規模・極小規模灌漑プロジェクトには諸経費の額に大きな違いが存在し、それがプロジェクト規模間における著しい規模の不経済を引き起こしている要因であり、結果として小規模・極小規模灌漑プロジェクトのパフォーマンスを相対的に高めている。

小規模・極小規模プロジェクトは、大規模灌漑プロジェクトと比較して、水源の安定性等の上で劣ることが多いが、そのようなリスクを考慮しても、小規模・極小規模灌漑プロジェクトの大規模プロジェクトに対する優位性は変わらないことが示された。以上の結果は、最も望ましい灌漑開発の形態は、出来るだけ多くの小規模な灌漑システムの開発をプロジェクト・コンポーネントとして包含する、出来るだけ大規模な灌漑プロジェクトとして実施するものであり、機会費用の低い地場資源を有効に活用するものであることを示している。サブサハラにおける小規模・極小規模灌漑システム開発の余地は大きく、また、パピルス湿地の水田へ転換の余地も決して小さくない。サブサハラ・アフリカにおける稲作の発展には、陸稲ネリカの普及に加え、灌漑開発に基づく水稲作発展においても大きな潜在力を持つことが明らかにされた。

Yield, cropping intensity, risk and internal rate of returns of minor projects in Uganda

Type of project	Water source	Yield (t/ha)		Cropping intensity		Risk	IRR (%)		
		Before	After	Before	After		No risk	With risk	
Small projects:									
Palisa	Conversion of rainfed paddy	Unstable: regional swamp	1.5	5.8	1.3	1.6	1/3	48	29
Sironko	Land opening and irrigation	Stable: river with flood risk	-	5.8	0.0	1.4	1/5	33	24
Bugiri	Conversion of rainfed paddy	Unstable: regional swamp	1.6	5.7	1.2	1.7	1/3	36	21
Kumi	Land opening (97%) and irrigation	Unstable: regional swamp	1.5	5.8	0.0	1.4	1/3	27	15
Micro projects:									
Manafwa	Conversion of rainfed paddy	Stable: year-round river	2.2	5.2	2.0	2.0	1/4	87	63
Bukedia	Conversion of rainfed paddy	Stable: year-round river	2.3	3.5	2.0	2.0	1/4	30	19
Mayuge	Conversion of rainfed paddy	Unstable: seasonal river	2.3	4.1	2.0	2.0	1/3	27	13
Mbale	Conversion of rainfed paddy	Stable: year-round pond	2.6	4.0	2.0	2.0	1/4	17	8
Budaka	Land opening and irrigation	Unstable: seasonal pond	-	4.1	0.0	1.0	1/2	26	3
Land opening	Land opening in papyrus swamp	Unstable: deep swamp	-	2.6	0.0	2.0	1/3	50	30

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(1) 雑誌論文 (計3件)

① H. Fujiie, A. Maruyama, M. Fujiie, M. Takagaki, M. Kikuchi, Determinants of NERICA Adoption in Uganda Applying a Duration Analysis, *Tropical Agriculture and Development*, 査読付き 54(1):17-24, 2010.

② 藤家齊・丸山敦史・藤家雅子・高垣美智子・菊池眞夫, ネリカ普及の現状と要因ーウガン

ダを中心として一、食と緑の科学, 査読付き
64: 1-8, 2010.

③H. Fujiie, A. Maruyama, N. Kurauchi, M. Takagaki, M. Kikuchi, Potential of NERICA production in Uganda : Based on the simulation results of crop and optimization, Tropical Agriculture and Development, 査読付き 54(2): 印刷中, 2010.

(2) 学会発表 (計 6 件)

①伊東雅・倉内伸幸・高垣美智子・南雲不二男・菊池真夫・坪井達史・藤家斉、ウガンダの斜面圃場における土壌水分と地下水位が 4 種の穀物の生育に及ぼす影響、熱帯農業研究、2(別 1):1-2、2009.

②小松孝治・奥山洋大・高垣美智子・菊池真夫、ウガンダ国ドホ灌漑地区における水稻栽培の実態と問題点について、熱帯農業研究 2(別 2):1-2、2009.

③渡邊祥子、高垣美智子、藤家雅子、丸山敦史、菊池真夫、ウガンダ国における稲作の現状と発展性 — 東部ブタレジャ県ドホ灌漑地区を例にとって —、熱帯農業研究、3(別 1): 23-24, 2010.

④藤家斉、丸山敦史、藤家雅子、高垣美智子、菊池真夫、ウガンダにおける NERICA 採用の要因分析、熱帯農業研究、3(別 1):93-94, 2010.

⑤藤家斉、丸山敦史、藤家雅子、倉内伸幸、高垣美智子、菊池真夫、ウガンダにおける NERICA 生産の潜在力—作付最適化シミュレーションによる分析—、熱帯農業研究、3(別 1):95-96, 2010.

⑥藤家斉、丸山敦史、藤家雅子、南雲不二男、高垣美智子、菊池真夫、サブサハラアフリカにおける灌漑発展の可能性—ウガンダにおける小規模灌漑プロジェクトを中心に—、熱帯農業研究、3(別 1):97-98, 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池 真夫 (KIKUCHI MASAO)

千葉大学・園芸学研究科・教授

研究者番号：10241944

(2) 研究分担者

高垣 美智子 (TAKAGAKI MICHIKO)

千葉大学・園芸学研究科・教授

研究者番号：00206715

倉内 伸幸 (KURAUCHI NOBUYUKI)

日本大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：00256835

南雲 不二男 (NAGUMO FUJIO)

国際農林水産業研究センター・熱帯・島嶼
研究拠点・研究員

研究者番号：20399372

(3) 連携研究者

丸山 敦史 (MARUYAMA ATSUSHI)

千葉大学・園芸学研究科・准教授

研究者番号：90292672