

論文内容の要旨

氏名	おぼるむ Obalum, Sunday Ewele さんてい えうえれ			
学位の種類	博士 (農学)			
学位記番号	農第 186 号			
学位授与の日付	平成 25 年 3 月 22 日			
学位授与の要件	学位規程第 5 条該当			
学位論文題目	Soil properties and sustainable management of Sawah-based rice farming in West Africa (西アフリカの水田農業の持続可能な水田管理と土壌特性)			
論文審査委員 (主査)	教授	若	月	利 之
(副主査)	教授	八	丁	信 正
(副主査)	教授	松	野	裕

西アフリカでは土壌侵食等の環境破壊が広がり農業生産性を低下させている。これらの土壌侵食はこの地域の現在の農業生産性への脅威であるとともに、未来の脅威でもある。本研究は、低地を主たるターゲットとして、Sawah (水田) 生態工学技術は、その多面的機能により持続的である故に、上述の脅威に対処する方法として推奨することを提案したい。Sawah (水田) は畔で囲んで区画化し、代掻きと均平化を行い、小規模の灌漑と排水等の水利施設を有する良好な水管理ができるイネ (*Oryza sativa* L.) の圃場を意味する。この Sawah という低地の稲作システムは農民に低コストの土壌や水や養分の管理技術を与え、高い生産性を達成させることにより、農民に経済力を与えることになる。しかしながら、農民達は最適な結果を得るためには、低地の土壌の立地特性や水文の状態より適切な場所を選択し、適切な Sawah システムをデザインし、費用対効果の高い Sawah の開田技能、さらに水管理を中心とする水田管理技術と水田稲作技術等を取捨しなければならぬ。

ナイジェリアの中央部のニジェール州の 4 箇所の村より Sawah として管理された圃場を選択し、それぞれの土壌を比較した。調査地ごとに斜面位置、水田の履歴、農地管理方法を調査した。土性は主に sandy loam であったが、4 つの村の一つである Ejeti 村サイトのみ clay loam だった。シルトと粘土の比を母材の風化の指標として使い、4 ヶ所の母材を評価したところ、4 ヶ所共に母材は若く風化ポテンシャルが低いことが解った。土壌有機物は 8-22 g/kg の範囲にあり、最も高いのは Ejeti サイトであった。また、団粒の安定性、孔隙率、孔隙の分布、容積重、飽和透水性から、これらの土壌の代掻き後の、構造的、水物理的な特性を比べた。この結果は clay loam 質土壌であった Ejeti サイトで最も良好な特性を示した。粘土の含有量が増えると、粘土の分散性や全孔隙量や小孔隙量が増え、容積重が減少した。土壌有機物は土壌団粒安定性と負の相関関係であったが全孔隙量とは正の相関関係であった。土壌化学性では、調査土壌は弱酸性-強酸性 (pH water 4.5-5.3) であった。全窒素量 (0.42-0.98 g/kg) は全体に低かったが、可給態リン酸量 (11.5-26.0 mg/kg) は中程度であった。全交換性陽イオンと交換酸度の量はそれぞれ、2.04-4.62 cmolc/kg と 1.1-2.7 cmolc/kg であった。有効陽イオン交換容量 (ECEC) は定法の陽イオン交換容量 (CEC) より低かった。この結果、ECEC を基準とした塩基飽和度は 60.1% で定法の CEC を基準した場合は 35.9% であった。これらの土壌肥沃度項目において Ejeti サイトは最も良い値であった。シルトと粘土と土壌有機物は CEC と正の相関関係があり、内陸小低地の土壌肥沃度を管理する上で重要である。

ガーナの南部、クマシ付近の BiemsoNo.1 村の内陸小低地において、低地の微地形による土壌の水がかりの違いが、水田土壌の物理性に与える違いを評価するため、Sawah サイトを選択して調査した。Sawah フィールドにおいて 3 つの微地形 (河川沿いの自然堤防的部分 river levee の水田、アップランドに繋がるやや比高の高い低地 elevated area、両者に挟まれる後背湿地的な低地 depressed area の 3 つ) を選択した。川の流れ勾配に沿って、それぞれの微地形部分の上流部、中流部、下流部の 3 つの位置から土壌をサンプリングした。サンプリングした土壌より土性、容積重、全孔隙量、水分量を測定した。土壌の大部分は粘土であった。土性は river levee の斜面位置間では同じであった。全体的に、river levee では elevated area や depressed area に比べてシルトの含有量が低かった。容積重、全孔隙量、土壌水分量は depressed area のみ、川の流れ勾配の位置により変化し、下流部 > 中流部 > 上流部の順であった。川の上、中、下流の位置に関係なく、3 つの微地形による土壌

特性は異なっており、depressed>river levee>elevatedであった。砂はシルトと容積重と負の相関があり、シルトと容積重は水田土壌への水がかりの程度により変化した。シルト含量はあまり高くなかったが、水田の水がかりの良い Depression 部分に有為が高かった ($R^2=0.80$)。水がかりの程度の影響を受ける土壌の容積重と土壌水分は $R^2=0.9$ の強い相関関係を示した。今回の土壌理化学性の項目において、川の上、中、下流という位置に関わりなく微地形は、水田土壌の理化学性への影響が大きかった。調査地の内陸小低地の高いシルト含有量と低い容積重の土壌は Depression 部分に見られ、この部分は Sawah 開田に好適である。

ガーナ南部の Kumasi 付近の別の粘土質の内陸小低地において、Sawah 水田稲作の継続による効果を調べる為に、Sawah の継続期間の異なる調査地 (Sawah 10 年目、Sawah 初年、Sawah でない稲作地) を選択し灌水栽培した時と、していない時で調査を行った。Sawah 10 年目のサイトは Sawah でないサイトに比べて土壌中の養分が増加した。土壌の全孔隙量は灌水下で Sawah 10 年目>Sawah 初年>Sawah でない稲作地の順に Sawah の継続により向上した。容積重の値はこの逆の順となった。Sawah でない稲作地は、近郊の休閑地より上記の土壌理化学性の値が悪く、持続性が低かった。これらの値は時間とともに悪化し、Sawah 初年のサイトと有意に異なっていた。土壌の水ポテンシャルの 0~300kPa の値は代掻きと灌水に重要な項目であった。2001~2009 年において、Sawah 10 年目のサイトは Sawah でないサイトに比べて持続的に平均 5 倍のコメの収量があった。2007~2009 年の平均収量は Sawah 10 年目サイトで 5.80Mg/ha、Sawah 初年サイトで 4.80Mg/ha、Sawah でないサイトで 1.10Mg/ha であった。2007 年では Sawah 10 年目サイトから Sawah 初年サイトの収量を引いた値が Sawah でないサイトの収量に勝っていたが、2008/2009 年ではそれが逆になった。これらの結果は Sawah (水田) によるコメ生産を継続する農業的利点を示しており、代掻きが土壌の水分状態を改善し、畦が水管理に有益であることを示す。

ガーナにおいて、Sawah システムは伝統的な稲作システムより高い生産性があり、それは代掻きによる効果である事は観察されたが、代掻きの明確な効果は明らかではない。そこで、6つの程度の異なる代掻き (1回、2回、3回、4回の代掻き、4回の代掻きと均平化、代掻きなし) による粗生産性への効果の違いを 2009~2010 年の作付けシーズン (8月から12月) に、ナイジェリアにおいて実施した。調査地は全て平地であり、sandy loam(Akaze サイト)と loam(Adani, Ejeti サイト)で実施した。調査地は畦を作成して区画し、その後、耕耘機で代掻きをした。1回の代掻きの効果は認められたが、代掻き1回と4回には差は認められず、代掻きの効果は3つの調査地で同じであった。苗の移植後10日目の容積重は代掻きありの区がなしの区に比べて、Akaze で 22.4%、Adani で 15.8%、Ejeti で 31.7%減少した。容積重と飽和含水量は移植後 40~120 日では代掻きの有無間で同じであった。Ejeti のみで、代掻き区のイネは代掻き無しの区に比べ、地上部が高く分げつ数も多かった。代掻きの有無によるコメの収量の違いは年間を通じて土壌が湿潤である Akaze と Adani で無かったが (Akaze が 3.71Mg/ha、Adani が 6.42Mg/ha) 1回の代掻き区のコメの収量が双方とも最も高い値を示した。Ejeti では代掻き区が 4.36Mg/ha で代掻き無し区が 1.81Mg/ha となり代掻きの効果が見られた。これらの結果より年間を通じて湿潤でない地域、ギニヤサバンナ帯にある Ejeti 村のように、乾季が明確な地域では特に代掻きが重要であり、1回の代掻きで十分であることが解った。

西アフリカの低地土壌の大部分は乾季の間に硬度が顕著に高まる。しかし、この現象の農学的意義とアフリカにおけるこの現象に対処する方策としての水田システムの効用についてはこれまでほとんど研究されていない。2010年と2011年に、乾燥に伴う低地土壌の硬化現象とその影響をモデル実験により再現した。また、水田による水管理による対処法の効果について、近畿大学奈良キャンパスの温室におけるポット試験により検討した。2010年に使用した土壌の土性は砂質壤土で炭素含量は 9.07 g kg^{-1} で、西アフリカの低地土壌に良く似ていた。2011年に使用した砂質粘土質壤土の炭素含量は 33.93 g kg^{-1} で日本の平均的な土壌に近かった。乾燥処理により硬化した土壌(DHS)と湿状態に保ち未固化土壌(AMS)の両土壌とも木製の棒で手作業により代掻きしたのち、ジャポニカ品種の日本晴れの21日苗を移植した。DHSとAMSとも以下の3段階の水管理状態で管理した。即ち、最適な水管理(WR-I)、不適切な水管理(WR-III)、そして中程度レベルの水管理 (WR-II)である。

イネは西アフリカの土地を再現する為、無施肥で実施した。土壌の容積重は2時間代掻きを行ったポットで DHS と AMS 共に減少した。2011年の試験では西アフリカと比べて有機物の多い土壌であったため、コメの収穫期に、容積重と土壌硬度の値は $AMS > DHS$ となり $WR-I < WR-II, WR-III$ となり、乾燥による硬化の影響より乾土効果により収量が増加した。植物の地上部バイオマスは2010年では水管理に影響を受け $WR-I > WR-II > WR-III$ 、2011年では土壌の乾土効果により $DHS > AMS$ となった。分げつ数は2010年では土壌硬度が高くなると減少し、2011年では逆であった。最大分げつ数は2010年のイネの成熟期で $WR-I, WR-II > WR-III$ であった。コメの収量とワラと根の重量は2010年では $AMS > DHS$ であったが2011年は逆であった。これらの結果より、土壌炭素は Sawah システムにおいて低地土壌の硬化に大きな影響がある事が示唆された。炭素の少ない土壌ではコメの収量を減少させないために灌水栽培が重要であるが、有機炭素の豊富な土壌ではコメ収量向上には間断灌溉等の水管理が有用であると思われる。

論文審査結果の要旨

熱帯アジアやラテンアメリカで 1970 年代に実現した緑の革命は 40 年以上経過した現在、サブサハラアフリカで実現していない。一方、30 年前に持続可能な食糧増産を実現したアジアは、今や世界経済の成長センターとなった。アフリカの緑の革命実現は、アフリカのみならず国際社会の重要な課題であると同時に、広大な未開拓の土地（とりわけ低湿地）を有するアフリカは、将来の食糧基地になり得る可能性もあり、アジア後を展望すれば未来の地球社会の希望ともなる。全体で 2000 万 ha、今後の技術革新によっては 5000 万 ha 規模の灌漑水田ポテンシャルが推定される。その半分以上は農民レベルでの水田開発が可能な内陸小低地や数百ドル程度の簡易なポンプで 1ha 規模の灌漑が可能な地下水位数 m 程度の氾濫原が広範かつ無数に分布する。今後 10 年程度は、そのような低湿地を第一のターゲットとして、農民の自力による灌漑水田開発に適用し、同時に幅広い人材養成が重要である。

本研究ではまずガーナとナイジェリアの種々の内陸小低地の土壌特性を水田開発の持続性という視点で評価し、粘土や有機物に加えて、シルト画分の重要性も指摘した。ついでガーナのクマシ近郊の内陸小低地を選び、内陸小低地の微地形の差による土壌の水がかりの違いが、水田土壌の物理性に与える違いを評価して、微地形による土壌特性は顕著に異なっており、水田適地の選定のポイントとなることを明らかにした。さらに、ガーナ南部の Kumasi 付近の別の粘土質の内陸小低地において、Sawah 水田稲作の継続による効果を調べる為に、Sawah の継続期間の異なる調査地（Sawah 10 年目、Sawah 初年、Sawah でない稲作地）を選択し、湛水栽培した時と、していない時で調査を行った。この結果は Sawah（水田）によるコメ生産を継続する農業的利点を示しており、代掻きが土壌の水分状態を改善し、畦が水管理に有益であることを示した。西アフリカの低地土壌の大部分は乾季の間に硬度が顕著に高まる。しかし、この現象の農学的意義とアフリカにおけるこの現象に対処する方策としての水田システムの効用についてはこれまでほとんど研究されていない。そこで、代掻きの効果を明らかにするモデル実験を行った。これらの結果よりアフリカの大部分の低地のように、乾季が明確な地域では特に代掻きが重要であり、1 回の代掻きで十分であることが解った。これらの結果より、土壌炭素は Sawah システムにおいて低地土壌の硬化に大きな影響がある事が示唆された。炭素の少ない西アフリカのような土壌では乾季による土壌の硬化がコメの収量を減少させないために水田による湛水栽培が極めて有益であるが、有機炭素の豊富な土壌ではコメ収量向上には間断灌漑等の水管理が有用であることを示した。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。なお、審査あたっては、論文に関する専攻内審査および公聴会など所定の手続きを経たうえ、平成 25 年 2 月 8 日、農学研究科教授会において、論文の価値ならびに博士の学位を授与される学力が十分であると認められた。

氏名	朝井俊宣			
学位の種類	博士(農学)			
学位記番号	農第 187 号			
学位授与の日付	平成 25 年 3 月 22 日			
学位授与の要件	学位規程第 5 条該当			
学位論文題目	Taxonomic revision of <i>Oryzias latipes</i> complex, "Medaka" in Far-East Asia (Teleostei: Adrianichthyidae) (極東アジアに分布するメダカ種群の分類学的研究)			
論文審査委員 (主査)	教授	細谷和	海	
(副主査)	教授	櫻谷保	之	
(副主査)	教授	小林徹		
(副査)	准教授	北川忠	生	