

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究領域「生物資源」

研究課題名「ブルキナファソ産リン鉱石を用いた施肥栽培促進モデル構築」

採択年度：平成 28 年度/研究期間：5 年/相手国名：ブルキナファソ

平成 30 年度実施報告書

国際共同研究期間*1

平成 29 年 5 月 28 日から令和 4 年 5 月 27 日

JST 側研究期間*2

平成 29 年 6 月 1 日から令和 4 年 3 月 31 日まで
(正式契約移行日 平成 29 年 4 月 1 日)

*1 R/D に基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者：南雲不二男

国際農林水産業研究センター・生産環境畜産領域長

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

| 研究題目・活動 | 28年度 (10ヶ月) | 29年度 | 30年度 | 令1年度 | 2年度 | 3年度 (12ヶ月) |
|--|----------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0. ベースライン調査 | | ←→ | | | | |
| 1. 在来リン鉱石を利用した地域 適合型複合肥料の開発 1-1 リン鉱石可溶化 1-2 複合肥料化 1-3 アフリカ在来リン鉱石イン ベントリ | ←→ | リン鉱石可溶化法の最適化 NPK複合肥料試作 | アフリカ在来リン鉱石の収集 | 複合肥料製造方法の提案 | リン鉱石インベントリの構築 | ▽ |
| 2. 主要作物への施肥効果の評価 と施肥技術の改善と普及 2-1 天水栽培施肥効果 2-2 施肥技術改善 2-3 施肥栽培普及評価 | | 複合肥料の施肥効果の実証 | 複合肥料を活用した施肥法の確立 | 技術マニュアル | ベースラインデータの取得 | 施肥栽培の収益性評価 |
| 3. リン鉱石の直接利用技術の開 発 3-1 天水稲作直接施用 3-2 リン鉱石利用 QTL 3-3 リン鉱石富化堆肥 3-4 リン鉱石適作物 3-5 アゾラ利用 3-6 直接利用技術マニュアル | | リン鉱石を最大化する 施用法の提案 | イネのリン鉱石利用に 関与する QTL の解析 | リン鉱石施用効果を 最大化する品種の提案 | リン鉱石富化堆肥の 作成と施肥効果の検証 | リン鉱石直接施用に 適した作物の選定 |
| | | リン鉱石を活用した アゾラ増殖 | アゾラ由来有機 NP 肥料の 施肥効果の実証 | 直接施用技術マニ ュアルの策定 | | |
| 4. 持続的作物生産に向けたリン 鉱石の総合的利用法の提案 4-1 リン利用効率 4-2 フードバリューチェーン 4-3 地域経済インパクト | | モデル適用可能性の 検証 | 流通の現況把握 | リン利用効率を最大 化する施肥法の提案 | 需要拡大への提言 | 社会経済的影響予測 |

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

変更なし

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

平成 30 年 5 月 29 日に関係者を参集し、第 1 回技術調整会議 (TCC)、平成 30 年 11 月 2 日に第 2 回 TCC を開催した (首都ワガドゥグ、環境農業研究所本部 : INERA)。また、研究題目すべての調査・研究を開始した。これらの会議を通じて、JIRCAS と INERA の各担当者間の意思疎通が活発化しているという共通理解が得られた。さらに交流を活発化するために、参画者全員のメーリングリストを作成した。加えて、情報発信のための Web site を現在構築中である。一方で、INERA 内部の意思疎通が不十分である、という発言があった。特に、プロジェクトマネージャーが多忙のためである。その後、INERA も本問題を重要視し、マネージャーを変更し新マネージャーが着任した。現地 JICA の新マネージャーに対する評価は高く、メールなどの応答も素早いことから、今後より緊密な連携を取っていきたい。

懸案事項であったプロジェクトの政府登録については、所轄の高等教育・科学研究・技術革新省においては裁可されており、省が一括して実施するプロジェクトの評価会議対象リストに含まれている。一方、財務省においては書類の不足が指摘されており、INERA 側で書類を準備中である。その手続きをバックアップするため、INERA-JICA-JIRCAS で小チームを作り、7 月中の再提出に向けて書類の準備中である。一方、R/D に記載されている合同調整委員会 (JCC) をプロジェクトとして開催するかについて昨年来懸案事項であったが、JICA 事務所は所轄の高等教育・科学研究・技術革新省が開催する評価会議に代えるという方針を示したことから、プロジェクトとしては、JCC を開催しないことになった。そのため、6 月 11 日に開催予定のワークショップにおいて、JCC 参画メンバーも招聘することとした。

前年度において、C/P 研究者を計 3 名短期招聘し、試験計画の検討と各種実習を実施した。日本人の人材育成については、特別研究員 4 名を雇用し現地での試験を開始した。また、東京大学学生が研究題目 4-1 に関して、INERA カンボワンゼ支所において、4 ヶ月間実験を行った。

一方で、国内、および現地での研究活動は順調に進捗している。各研究題目の進捗状況については下記に記述しているとおりである。

(2) 研究題目 0 : ベースライン調査

JIRCAS 研究グループ (リーダー : 小林慎太郎)

研究題目 0 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

ベースライン調査として農家調査を実施し、開発する肥料のユーザーと想定される農家の現状把握を試みた。調査は、カウンターパートの協力が得やすい INERA 支所の周辺で実施することとし、ブルキナファソの標準的な農業環境と考えられる中西部地方にあるサリア支所を選択した。

予備調査から、行政機関にも各農家にも、家族や農業の規模や状態に関する資料は保管されておらず、全ての情報を聞き取りや計測で収集する必要があることが判明した。例えば、世帯人数を確認する場合でも、長男以外の男子も分家せず、結婚後も親と同居するケースが多いことや、一夫多妻の家族形態が農村では一般的であることから、世帯人数の特定には 1 世帯あたり 1~2 時間を要する。農地を調査する場合でも、家屋周辺のみならず比較的広範囲に分布する全ての農地区画の計測には、1 世帯あたり 1~2 日を要する。このように調査に多くの時間を要することから、調査対象の世帯数を増やすため調査の進行を早

めれば、収集されるデータの精度が低下することが予想された。そこでサンプルサイズよりも個々のデータの精度を優先し、調査対象農家を 20 世帯とした。傾斜や土壌、水資源という観点から様々なタイプの農地を網羅すると考えられる 10km×20km ほどの小流域を調査対象に選び、そこのある農家 2,300 世帯を衛星画像でリスト化した後、無作為抽出で 20 世帯を抽出した。調査対象となった世帯の訪問には、各村の村落開発委員会 (Conseils Villageoises du Développement, CVD) 幹部に同行してもらい、調査への同意を得ることができた。

世帯人数は平均で 28.3 人、うち過半の 15.8 人が出稼ぎのため別居していた。出稼ぎ先はコートジボワールが最も多く、次いでワガドゥグなどの国内都市、そして少数ながらガーナなどもあった。出稼ぎに出ているのは若者が中心で、家に残る農業の担い手は中高年が中心であった。出稼ぎに出た家族は 1~2 年に 1 回の頻度で乾期に帰国する。その際、プランテーションなどでの労働で得たお金を持ち帰り、実家の増築、携帯電話の購入、バイクの購入などを援助する、というケースが多く見られた。

利用する農地区画は多く、世帯あたりの平均で 11.9 であった。それらは家屋の周辺に多いが、離れた場所で土地を借りたり取得する例も見られた。1 区画の面積は平均で 0.35ha であった。20 世帯の調査対象農家のうち 15 世帯では、利用する農地を「家族の畑」と「個人の畑」に分けており、妻や一定年齢以上の子が「個人の畑」を割り当てられていた。「個人の畑」では個人が全てを自分の意志で決めることができ、収穫物も自分のものにできる。ラッカセイやササゲなど、換金性の高い作物が多く栽培されている。一方「家族の畑」については、世帯主やその子が協議の上、作物や栽培カレンダーの決定を行い、収穫物は主に家族の食料としている。そのため作物は穀物が中心で、白ソルガム、ミレット、ササゲ (在来種) の混作や、ササゲ (改良種) の単作が一般的である。これらの収穫物は、家族の食料として保管するが、豊作年には換金する。

肥料の利用に関しては、15 世帯が化学肥料を利用していた。しかしその利用量はわずかであり、施肥された区画は平均 11.9 区画のうち 1~2 区画に止まった。聞き取りの結果、農家は肥料の効果をよく理解し、また実感もしているが、値段が高く、全区画に施肥できる量の購入はできないとのことである。

今後はこのベースライン調査で得たデータを活用し、開発肥料の経済効果を推計する。

(3) 研究題目 1 : 「在来リン鉱石を利用した地域適合型複合肥料の開発」

JIRCAS 研究グループ (リーダー : 中村智史)

太平洋セメント研究グループ (リーダー : 今井敏夫)

1-1. 在来リン鉱石を活用した可溶性リン酸肥料製造技術の開発 (リン鉱石可溶化)

1-1.1. 焼成リン肥の製造法の検討

炭酸 K、Ca、Mg 添加焼成リン酸肥料(CB-kca)の焼成温度低減に向けて、炭酸 Mg 添加量を 8 水準に設定し、焼成試験を試みた。炭酸 Mg 添加量は現行の CB-kca(T1)における MgO/P₂O₅ モル比を基準として、MgO/P₂O₅ モル比が 1.01, 1.99, 2.99, 4.00, 5.00 の 5 水準となるように調整したもの(T2-T6)に加え、CBkca 作成に必要な炭酸 Ca を現地で得られるドロマイトを使用した処理(T7)、さらにドロマイトに含まれる石英を除去する想定で、炭酸 Ca および炭酸 Mg を添加することで Ca-Mg-P モル比を T7 と同様に調整した処理 (T8) を作成した(表 1-1)。

表1-1 Mg 添加量の異なる試料における P2O5 に対する各配合元素のモル比

| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|-----------------|--------|------|------|------|------|-------|------|----------|
| | CB kca | Mg1 | Mg2 | Mg3 | Mg4 | Mg5 | Do想定 | Dolomite |
| K2O/P2O5= | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| SiO2/P2O5= | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 2.75 | 5.22 |
| CaO/P2O5= | 5.99 | 5.99 | 5.99 | 5.99 | 5.99 | 5.99 | 5.99 | 6.00 |
| MgO/P2O5= | 1.26 | 1.01 | 1.99 | 2.99 | 4.00 | 5.00 | 3.29 | 3.28 |
| (CaO+MgO)/P2O5= | 7.25 | 7.01 | 7.98 | 8.99 | 9.99 | 11.00 | 9.29 | 9.28 |
| MgO/(CaO+MgO)= | 0.17 | 0.14 | 0.25 | 0.33 | 0.40 | 0.45 | 0.35 | 0.35 |

結果として炭酸 Mg 添加量の増加は焼成温度の低減につながらず、いずれの配合比においても、ク溶性リン酸量が最高値を示すには、焼成温度として 1050℃を要することが明らかとなった。また、T1:CB-kca を超える可溶性を示す処理はなく、炭酸 Mg 添加による焼成リン肥の改善は困難と判断した。さらにドロマイト添加区(T8)では、他の処理区に比べてク溶性が著しく低く、ドロマイトが含む多量の石英が反応を阻害しているものと考えられた。

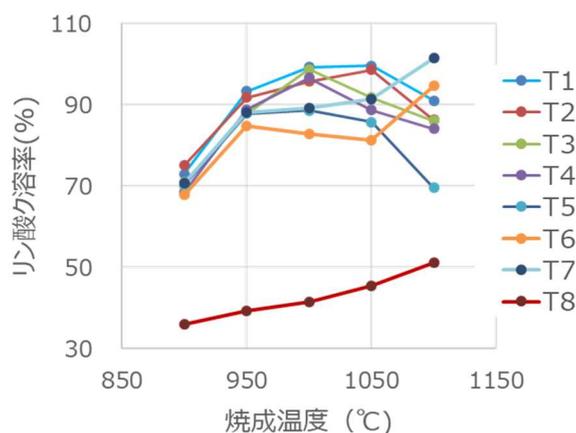


図 1-1 Mg 添加量とク溶性改善に必要な焼成温度の関係

また、室内回転電気炉を用い、炭酸カリウムのみで成分調整した焼成改質肥料 (CB-k) を作製し、H29 年度に内熱式ロータリーキルンで作製した焼成改質肥料 CB-kca と併せて、ブルキナファソ国内での栽培試験に供した。この際、CB-k の焼成温度は、CB-kca よりも 50℃程度低減できるものの、液相生成量が多く炉内付着が顕著となり、長期連続運転に課題のあることが示唆された。

Uターンキルンの外観



試験実施場所：(株) 太平洋コンサルタント西日本技術部
試験実施期間：2018年12月10日～13日 2019年2月18日～23日

図 1-2 現地導入予定の外熱式 U ターンキルン

さらに、ブルキナファソ国現地での連続試験製造に用いるテストキルン（外熱式 U ターンキルン）を、日本国内で設計・製作し、実負荷運転を実施するとともに、滞留時間（保持時間）が焼成反応に及ぼす影響を把握することで、最適運転条件を絞りこんだ。

本結果を受けて、当該機器はブルキナファソにおいても運用可能であると判断し、2019年5月中にブルキナファソに向けて発送し、2019年度内に INERA カンボワンセ支所に設置する予定である。また設置後、改めて運用試験を実施するとともに、2020年度の施肥試験に使用する焼成リン肥料の作成に向けた調整を行う予定である。

1-1-2. 部分的酸化リン鉱石(PAPR)

A: 部分的酸化リン鉱石の製造用攪拌装置の設置

SATREPS ブルキナファソプロジェクトの国産肥料開発課題の一つとして、圃場試験に使用するための部分的酸化リン鉱石（PAPR）を大量に製造する必要がある。そこで、1回当たり 10 kg 以上の製造が可能な攪拌装置一式を日本で購入し、JIRCAS 内の実験室で製造試験を行った。その後、現地で製造を行うために、この攪拌装置一式を2月下旬にブルキナファソへ輸出した。出張者が現地入り後、プロジェクトで建設している肥料製造用の建物がまだ建設中であったため、攪拌装置一式を INERA カンボワンセ支所の課題担当者である Dr. Jacques Sawadogo の実験室に設置した。設置後、CP のテクニシャンとともに肥料製造試験を行った。今回、製造に使用した硫酸は、現地ワガドゥグの資材店にて購入した。この際、産業用の硫酸が入手可能とのこと、硫酸価格は当初予定していた額よりも大部安く購入することができた。この価格を元に、PAPR の製造に必要なコスト(原料費のみ)を計算すると、12,000FCFA/50kg (PAPR75 : 計算上リン鉱石中のリン酸を 100%可溶化するために必要な硫酸量の 75%を使用して製造した PAPR のこと。来年度の圃場試験用に使用する予定。)で製造することができる。



図 1-3 無加圧攪拌装置の実験室での設置状況(カンボワンセ支所)

B: 試作 PAPR を用いた pH 環境の異なる土壤環境での施肥効果の検証

当該課題では、アルカリ資材添加後の焼成および酸添加（主に硫酸）の2つの方法により、リン鉱石中の難溶性リン酸（フッ化アパタイト）を可溶化し、可溶性（水溶性およびク溶性）リン酸肥料の製造試験を行ってきた。これらの試作リン酸肥料の大きな違いは、可溶性リン酸割合やカリウムや硫黄等の共存イオンの他に、焼成リン肥では pH10 以上、PAPR では pH1-2 と大きく異なる。そのため、これらの新規リン酸肥料の施肥効果は、土壤 pH の差異に伴って変化することが考えられる。

既存研究の結果から、PAPR については、酸性土壤に好ましいが、強酸性土壤での施肥効果は低い

とされている一方、焼成リン肥での異なる pH 土壌を用いた施肥試験については不明である。現在までに、市販の赤玉土やブルキナファソ土壌を用いて、ポット試験を行い、施肥効果のあるリン酸肥料の選定を行ってきたが、pH 条件の異なる土壌での施肥効果の検証は行っていない。異なる土壌条件での施肥効果を検証した結果は、今年度に整理するブルキナファソの作物生産環境（気象、土壌等）と GIS を用いて地図上で重ね合わせることにより、作物ごとの施肥量や最適リン酸肥料などの作物栽培管理条件を考察することが可能となる。さらに、プロジェクトの最終目標として、ブルキナファソ以外のアフリカ諸国への肥料普及の可能性についても言及するため、様々な土壌での施肥試験を行う必要がある。

ブルキナファソにおいても土壌条件の差異が施肥効果に及ぼす影響を明らかにするため、ブルキナファソ各地で収集した土壌を用いたポット試験を実施する予定にしているが、ブルキナファソの政情不安により、性質の異なる土壌を集めることが困難である。さらに、ブルキナファソの耕地土壌は主として Lixisol や Plinthosol 等に分類される酸性～中性域の土壌であるため、pH の変動と各種肥料の施肥効果を十分に評価することが困難であり、当該試験では主として、粒径の差異に注目して試験を実施することとしている。このように現地試験では土壌 pH の影響を十分に評価することが困難であるため、性質の異なる土壌がすでに整備された JIRCAS 熱帯・島嶼研究拠点の枠圃場を利用し、ブルキナファソ産リン鉱石を用いて製造した新規リン酸肥料の施肥効果と土壌諸性質との関係を明らかにすることを目的とした。なお、国際農林水産業研究センター熱帯・島嶼研究拠点にある枠圃場には、異なる 4 種の土壌があり、それぞれ pH(H₂O)が 5.5~8.0 の範囲を示す。試験区は、全部で 5 処理区を設定し、それぞれ、異なるリン酸肥料を添加し、リン酸肥料の施肥効果の検証を行う。処理区 1 はリン酸無施肥区、処理区 2 は市販の重過リン酸石灰区、処理区 3 は市販の過リン酸石灰区、処理区 4 は試作焼成リン肥料区 (CBkca)、処理区 5 は部分的酸性化リン鉱石肥料区 (PAPR100) とした。それぞれの処理区を、国頭マーヅ (pH(H₂O)5.5) の赤色土および黄色土、島尻マーヅ (pH(H₂O)6.4) およびジャーガル (pH(H₂O)8.0) の 4 種の枠圃場に設定し、全部で 13 枠圃場を使用した(赤色土 3 枠、黄色土 3 枠、暗赤色土 3 枠および灰色台地土 4 枠)。この際、過去の栽培履歴の影響から現在の土壌肥沃度が同一土壌枠内で異なることに加え、各処理区の反復を増やすため、1 枠内に 5 処理区を設置し、それぞれ処理区間は波板で仕切りを作った (全部で 65 処理区)。

各処理区内の NPK の施肥量は、8 kg N・8 kg P₂O₅・8 kg K₂O(10a)に設定し、リン酸肥料は上記記載の肥料、窒素およびカリウム肥料は、尿素と塩化カリウムを使用し、全処理区に同量施肥をした。各肥料はそれぞれの処理区内に表面散布し、散布後軽く表面を混和した。

試験作物は、陸稲 (ネリカ 4) を使用し、1 穴 3 粒を播種、1 ヶ月後に 1 穴 1 個体に間引きを行い、各処理区内に 14 個体を栽培した (株間 16cm、畝間 20cm)。この際、赤色土、黄色土および暗赤色土での生育が悪かったため、補植を行った。試験期間は、2018 年 10 月中旬から 2019 年 2 月初旬の約 3 ヶ月を栽培期間とした。

土壌試料の採取は、栽培前、栽培期間中および栽培後の 3 回行い、各枠圃場内の 4 ヶ所から連結式のコアサンプラー (100cc コア 4 個:0-20cm) の上部 0-10cm を用いて採取し、5cm ごとに分割後、深度別サンプルごとに 2 ヶ所の土壌を混合し、1 つの処理区につき、0-5cm, 5-10cm の各深さサンプルを 1 つずつとした。陸稲試料は、試験終了後、各処理区内の中央部から陸稲 14 個体の地上部を刈り取

り、実験室に持ち帰った後、草丈および茎数の測定および地上部乾重量（70℃3日間）を測定した。現在、収量データの解析および土壌試料の前処理を行っている。

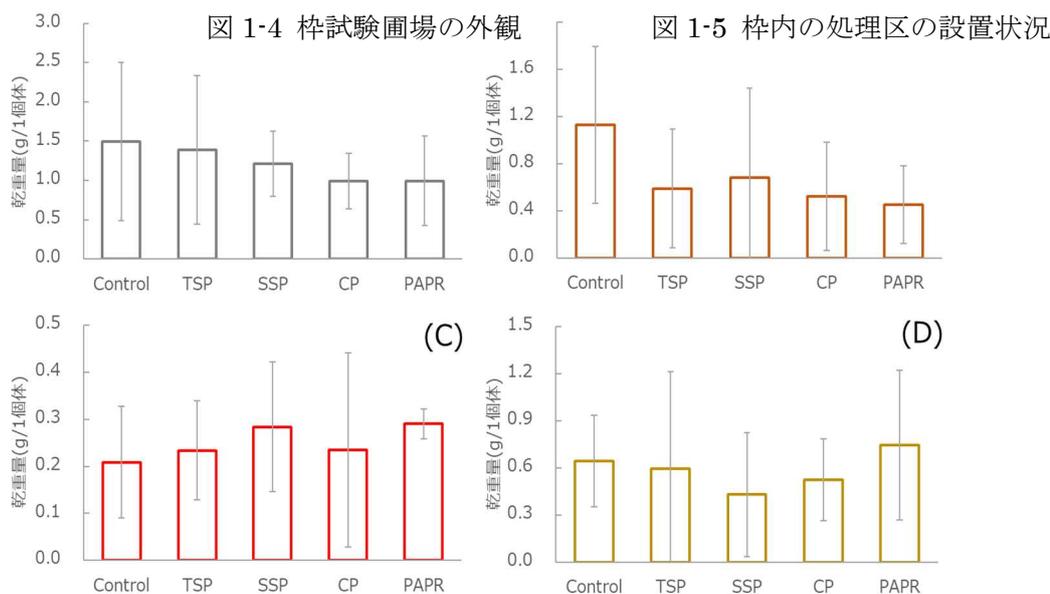


図 1-6 各土壌における異なるリン酸肥料を施用した際の陸稲の乾重量(1 個体当たり)
(A) ジャーガル, (B)島尻マージ, (C)国頭マージ(赤), (D)国頭マージ(黄)
(エラーバーは標準偏差を示す。)

1-2. 可溶化リン酸肥料を用いた地域適合型複合肥料の開発 (複合肥料化)

1-2-1. NPK 複合肥料の作成にむけたブルキナファソ作物生産環境情報の類型化

ブルキナファソにおける多様な作物生産環境に対応する NPK 複合肥料の作成に向けて、GIS ツールによる解析が可能な土壌情報(Soil Atlas of Africa (ESDAC)、Africa Soil Profiles Database (ISRIC)、soil phosphorus retention potential (ISRIC))、気象情報(気温・降水量(WorldClim)、乾燥度指数・潜在蒸発散量(CGAIR-CSI))、地形情報などに加え、JIRCAS で実施中の流域管理プロで作成している土地利用図などの地理空間情報の整備を進めた。

また、NPK 複合肥料の混合割合について、INERA 推奨施肥量(Fish Technic)(地理区間情報はなし)を始め、Fertilizer Use Optimization in Sub-Saharan Africa (OFRA)、Fertilizer Recommendations for major food crops map in West Africa (ISRIC)などの地理空間情報を収集した。

課題 2 からの要望により、2019 年度の圃場試験で使用する NPK 複合肥料の混合割合は、ブルキナファソの推奨施肥として使用されている NPK 比率が 14-23-14 で製造することとした。

1-2-2. NPK 複合肥料の製造

2019 年度圃場試験用の NPK 複合肥料製造に向けて、NPK 肥料それぞれの粉末を Bulk Blending で混合した際の肥料特性について調べた。作成した肥料は、①～④焼成リン(CBkca)と PAPR100 の混合（それぞれの混合比率を変えたもの）、⑤～⑦PAPR50, 75, 100 と Urea および KCl の混合（最終的な NPK 比を同じに揃えたもの）、⑧～⑩焼成リン (CBk および CBkca) と Urea または硫酸アンモニウムの混合、とし、温度 30℃・湿度 70-74%下で 1 日静置後の水分吸収量（吸湿性）を調べた。結果、PAPR については、単体での吸湿性の傾向と同様、PAPR50, 75, 100 の順に吸湿性が高くなった。一方、焼成リン肥料については、Urea、硫酸アンモニウムとの混合品ともに、CBkca と比べて CBk で吸湿性が高くなった。

1-3 アフリカ在来リン鉱石インベントリ

インベントリ構築に向けて、リン鉱石資源を有する地域のリストアップを行い、JIRCAS 関係者が現在活動している地域について、JIRCAS 研究者によるリン鉱石収集を実施した。その結果、ブルキナファソ、マリ、ニジェール、セネガル、トーゴ、モザンビーク、タンザニア、ジンバブエ、ザンビアの 9 か国のリン鉱石が収集された。現在、XRF ならびに XRD による解析中である。

さらに、より多くのリン鉱床保有国の協力を得るため、短期招聘により来日した Dr. Jacques Sawadogo 氏と次年度のリン鉱石関連情報の収集に向けた具体的方策を検討した。日本側研究代表機関による第 3 国への出張および試料採取、またその輸送には、とくに予算措置の点で規定上困難であり、INERA を主体として試料ならびに情報の収集を進めることで合意した。具体的な業務内容は第三国研究者への試料収集依頼、ならびに試料採取および輸出入手続きに必要な会計業務を依頼した。INERA に収集された各国のリン鉱石は一部を日本に持ち帰り、XRD、XRF などの鉱物解析ならびに水溶性、ク溶性リン酸量などの肥料特性の分析を実施する予定である。

また、収集したリン鉱石の中から、カドミウムを始めとする重金属含量の高い試料を選択し、焼成法による重金属除去効果を検証する。2019 年度は、対象となるリン鉱石を利用した CBKCa 肥料を作成し、得られた CBKCa 肥料に含まれるカドミウムなどの重金属含量を、原料に含まれる重金属含量と比較し、その低減効果を検証する。

① 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

研究題目 1 の INERA 側担当研究者として Dr. Jacques Sawadogo を 2018 年 12 月に日本に短期で招聘し、焼成および部分的酸性化による肥料製造方法についての研修を実施した。また、当該招聘期間中に肥料特性を明らかにするための化学分析手法などを指導した。

2019 年 3 月には、INERA カンボワンセ支所に、部分的酸性化リン鉱石を作成するための、無加圧攪拌装置を搬入し、その使用法などについて指導した。現在、当該機器を用いて、ブルキナファソ現地における PAPR 製造を実施している。

② 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし

③ 研究題目 1 の研究のねらい (参考)

【題目 1-1】

降雨条件が不安定なブルキナファソでは、硫酸根を含む速効性の水溶性肥料は、肥焼けや土壤酸性化のリスクがあるが、焼成リン肥は、主として緩効性のクエン酸可溶性を主とする生理的アルカリ性肥料であり、それらのリスクを軽減できる可能性がある。そこで、焼成リン肥製造の可能性について、硫酸による可溶化(過リン酸石灰)を比較対照として、クエン酸可溶性及び水溶性リン酸含量、ならびに製造コストを指標とする最適加工条件を導出する。また、同国における重油価格や将来的な環境負荷を鑑み、太陽光発電導入の実現性を検討し、持続的な肥料工場の提案と実証を目指す。経済的持続性は費用便益の試算から検討し、乾燥地帯における太陽光エネルギーの産業利用の一つのモデル事例の可能性を示す。

【題目 1-2】

また、焼成処理に炭酸カリウム添加が有効であることが示されており、カリウム添加の焼成物には肥料の主要三成分のうち、リンとカリが含まれる。焼成リン肥に含まれるリン、カリ、カルシウム、ケイ素等の成分に加えチッ素、硫黄等を添加し、現地土壌条件を考慮した最適な配合比をもつ地域適合型複合肥料(チッ素、リン酸、カリを主成分とする NPK 複合肥料)を提案する。なお、その複合肥料に配合するチッ素肥料は、西アフリカ産の天然ガスを原料として製造されるチッ素肥料等、より安価な肥料原料を検討する。

【題目 1-3】

ブルキナファソ国以外にも、アフリカ各国には多様な低品位リン鉱石が未利用のまま分布している。これらのアフリカ在来リン鉱石の化学組成や可溶性、その他の特性をインベントリ情報として構築し、アフリカ在来低品位リン鉱石の適正な加工方法を提案する。また、低品位リン鉱石の利用にあたっては、カドミウムやヒ素などの重金属含量が高い事例が散見され、こうした重金属類除去技術の開発は、耕地土壌におけるカドミウム集積が問題となっている EU 各国を中心に世界的に喫緊の課題となっている。これまでに経済的に実施可能な重金属除去技術は提案されていないが、焼成によるリン鉱石可溶化の過程で重金属類を同時に除去できる可能性が高い。そこで、低品位リン鉱石の利用にあたってカドミウム等の有害重金属について、焼成による除去技術を検討する。

⑤研究題目 1 の研究実施方法 (参考)

【題目 1-1】

- a) ブルキナファソから輸入したリン鉱石粉を原料として、アルカリ金属元素の炭酸塩を一定の比率で配合し、800°C~1200 °C の温度条件で実験的に焼成し、得られた焼成物の pH、全リン酸量、水溶性リン酸量、2%クエン酸可溶性リン酸量を定量する。さらに現地にテストキルンを設置し、現地で焼成物を試製するとともに、得られた分析結果と現地における各種資材購入価格から、最も安価にリン鉱石を溶解出来る焼成条件を検討する(ク溶性 100%を目標)。
- b) ブルキナファソ産低品位リン鉱石を原料として、硫酸添加によるリン鉱石可溶化法を検討する。

特に酸添加量を最小化する部分的酸性化リン鉱石(PAPR)の製造法について、酸添加量と可溶性の関係性を明らかにし、さらにポット試験などで作物生育におよぼす影響を検討する。得られた分析結果と現地における各種資材購入価格から、最も安価にリン鉱石を溶解出来る処理条件を検討する。

- c) 得られた焼成物の pH や潮解性等の物理的性状の問題点について、最適な調整法を検討する。
- d) 現地において、太陽光発電を利用してテストキルンを稼働させ、その稼働状況をモニタリングするとともに、ブルキナファソの気象条件における現実的な発電可能容量を検討する。また、肥料工場稼働における太陽光発電利用のコスト上ならびに技術的な可能性を検討する。
- e) 需要を保証するためのリン酸肥料工場規模とその建設費、資機材整備費、太陽光発電関連経費を試算し、さらに、それらを反映する肥料生産費および可能販売価格を試算する。

【題目 1-2】

- a) ブルキナファソの作物生産環境について、土壌条件、気象条件、栽培作物を変数として類型化し、当該地域において要求される肥料性質の絞り込みを行う。
- b) 窒素成分含有量やリン鉱石焼成物の水溶性/ク溶性比率、さらに pH や潮解性等の物質的特性など、当該地域で要求される肥料品質を満たす、配合比率やリン鉱石可溶化法などの肥料調製技術を検討する。なお、調査地域における最適肥料品質に調整するため、課題 2-1 と連携して実施する。
- c) 西アフリカで窒素肥料を生産しているプラントに関して情報収集を実施し、西アフリカ産天然ガス由来窒素肥料の利用可能性を検討する。

【題目 1-3】

- a) サブサハラアフリカ(SSA)におけるリン鉱石の分布、賦存量とともに、各地域で産出するリン鉱石の溶解特性、元素組成(XRF および ICP による分析結果)、鉱物組成(XRD による分析結果)をデータベースとして構築する
- b) 得られたデータベースを活用し、重金属含量の高い低品位リン鉱石を選定し、選定されたリン鉱石を対象として焼成技術を適用し、焼成による重金属除去効果を検証する。
- c) 上記活動によって得られたデータベースの各国研究者による共有を図るため、Web を利用したプラットフォームを構築する。

(4) 研究題目 2：「主要作物への施肥効果の評価と施肥技術の改善と普及」

JIRCAS 研究グループ (リーダー：南雲不二男)

① 研究題目 2 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

2-1 (a) 畑作物における天水栽培施肥効果の評価

本課題では自給作物であるソルガムについて、試作したリン酸単肥及び NPK 複合肥料の施肥効果の評価するため、気候・土壌の異なる INERA の 3 支所 (サリア、コアレ、ファラコバ)において圃場試験を行った。サリア支所及びコアレ支所は半乾燥地域 (年間降水量 600~900 mm)に属し、ファラコバ支所は乾燥半湿潤地域 (年間降水量 900~1500 mm)に属する。サリア支所における年間平均降水量は約 760 mm、ファラコバ支所では約 1005 mm であった。処理区は窒素及びカリウムのみを施肥した対照区、

【平成 30 年度実施報告書】【190531】

重過リン酸石灰施用区 (TSP 区)、過リン酸石灰施用区 (SSP 区)、焼成リン肥料施用区 (2 種類の CB 区)、部分的酸性化肥料施用区 (3 種類の PAPR 区) の計 8 処理を設けた。CB として、炭酸カリウムを添加し焼成した CBK、及び炭酸カルシウムと炭酸マグネシウムを添加することで炭酸カリウムの添加量を抑えた CBKca を用いた。PAPR として、リン酸可溶性の異なる PAPR50、PAPR75、PAPR100 を用いた。各肥料の特徴を図 2-1 に示した。2 種類の CB ではその大部分がク溶性リン酸画分であるのに対し、PAPR では硫酸添加量の増加に伴い水溶性リン酸画分の割合が上昇し、PAPR100 では約 50% が水溶性リン酸画分であった (図 2-1)。

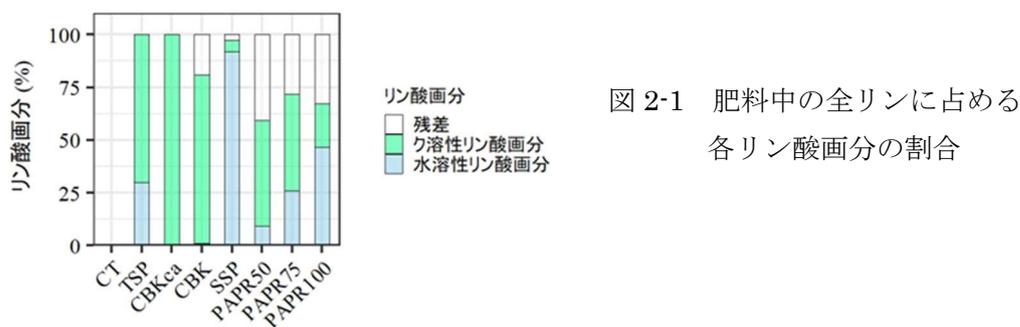


図 2-1 肥料中の全リンに占める各リン酸画分の割合

試験では乱塊法を用い、反復を 5-6 とした。施肥量は INERA の推奨量に従い、N、P、K をそれぞれ 37 kg N ha^{-1} 、 $23 \text{ Kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 、 $14 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ とした。図 2-2 にソルガムの収量を示した。TSP 及び SSP の施用により収量が増加したが、その傾向はサイトによって異なった (図 2-2a)。コアレ支所では TSP と SSP のいずれの処理区も CT 区との間に有意差は認められなかったが、サリア支所では SSP 区のみ CT 区に対して有意に収量が増加、ファラコバ支所では TSP 区と SSP 区のいずれも CT 区に比べて有意に収量が増加した。CBKca 区と CBK 区の収量はすべてのサイトにおいて TSP 区との間に有意差がなかったことから、CB は TSP の代替として有効であることが示された (図 2-2b)。また、PAPR75 区及び PAPR100 区の収量はすべてのサイトにおいて SSP 区との間に有意差がなかったことから、PAPR は SSP の代替として有効であることが示された (図 2-2c)。

2019 年度からの試験で使用する複合肥料については、CB では CBKca より CBK の成績が良く、また PAPR では PAPR75 と PAPR100 で同様の成績であったが、コスト面や加工のしやすさから、CBK 及び PAPR75 で作成することに決定した。

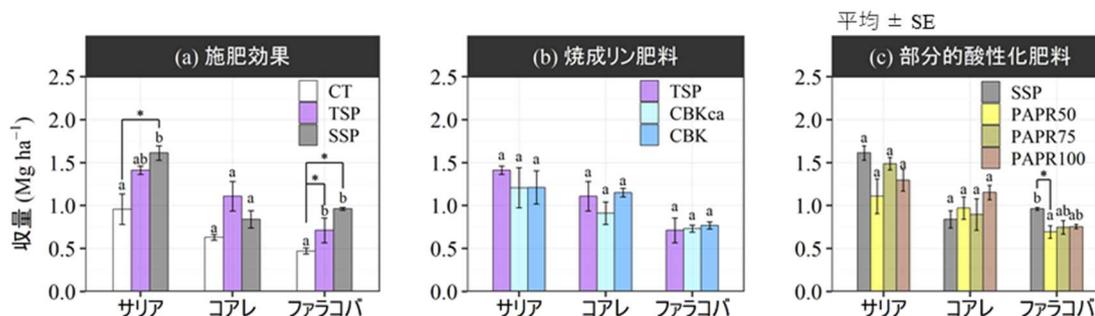


図 2-2 3 支所におけるソルガムの収量の比較

異なるアルファベットは 5%水準で有意に異なることを示す。*: $p < 0.05$ 。

収量の規定要因を特定するため、水溶性リン酸画分、ク溶性リン酸画分、水溶性硫黄の投入量を説明変数として Stepwise 法を用いて重回帰分析を行った (表 2-1)。その結果、すべてのサイトにおいて、水溶性硫黄は選択されなかった。半乾燥地域であるサリア支所では水溶性リン酸画分が、乾燥半湿潤地域であるファラコバ支所では水溶性リン酸画分とク溶性リン酸画分の両者が収量に寄与しており、気候条件によって有効なリン酸画分が異なることが示された。

表 2-1 3 支所における収量を規定する要因

| サイト | 重回帰式 | R ² | p-value |
|-------|--|----------------|---------|
| サリア | 収量 = 0.031水溶性リン酸画分** + 0.01ク溶性リン酸画分 + 0.96 | 0.76 | < 0.05 |
| コアレ | 収量 = 0.011ク溶性リン酸画分 + 0.84 | 0.13 | 0.21 |
| ファラコバ | 収量 = 0.020水溶性リン酸画分** + 0.011ク溶性リン酸画分* + 0.50 | 0.81 | < 0.01 |

*: p < 0.05, **: p < 0.01

CBK 区と PAPER75 区の SSP に対する相対収量は、半乾燥地域であるサリア支所ではそれぞれ 75 ± 30% 及び 92 ± 15%、乾燥半湿潤地域であるファラコバ支所ではそれぞれ 80 ± 9% 及び 78 ± 18% であった (図 2-3)。以上の結果より、半乾燥地域では水溶性リン酸画分を主体とする PAPER75 が、乾燥半湿潤地域では CBK と PAPER75 がともに有効であることが示された。

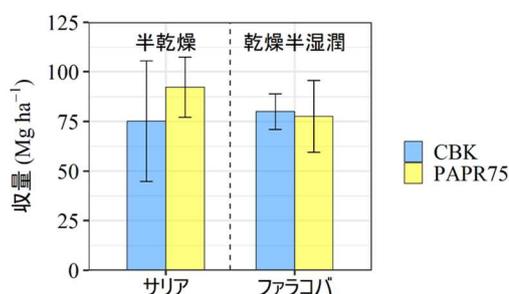


図 2-3 サリア支所、ファラコバ支所における試作リン酸単肥区の SSP 区に対する相対収量

2-1 (b) 天水稲作における施肥効果の評価

題目 1 で提案されたリン酸肥料の天水稲作への施肥効果を INERA-Saria 近辺の Nassoulou、Poa、Ramongo の各村に位置する 4 ヶ所の農家の圃場で検証した。4 つの提案されたリン酸肥料 (CBk、CBkca、PAPER 75、および PAPER 100) を供試し天水条件下で栽培を行い、モミ収量を既存リン酸肥料施肥の場合と比較した。すなわち、重過りん酸石灰 (TSP) を用いて CBk および CBkca と比較し、そして過りん酸石灰 (SSP) を PAPER 75 および PAPER 100 と比較した。その結果は、収量に対する CB と PAPER の有効性が、試験地、土壌、および水の状態の変動のために試験地によって異なることを示した (図 2-4)。すべてのサイトの土壌中の初期 P は 0.7 ~ 3.6 mg P kg⁻¹ の範囲であり、P 欠乏 (すなわち、Bray 1 抽出法で 10 mg kg⁻¹ 未満) として分類することができ、作物の要求を満たすための土壌 P 補給の必要性を示唆している。施肥試験の結果、モミ収量に対する P 施肥の影響が NAS-D と Ramongo で観察さ

れたが、得られる穀物のレベルは異なっていた。すなわち、モミ収量は、Ramongo の収量（すなわち、 $2\sim 4\text{ t ha}^{-1}$ ）よりも NAS-D の方が高かった（ $4\sim 8\text{ t ha}^{-1}$ ）。土壌の肥沃度が増すとイネの収量が増加することはよく知られており、両サイト間の初期土壌肥沃度のレベルの違いが穀物収量の生産に影響を与えた可能性がある。NAS-D では、初期の土壌肥沃度は、Ramongo を含む他の場所よりも、総窒素および炭素含有量、C/N 比、交換可能なカルシウム、マグネシウム、ナトリウム、および陽イオン交換容量（CEC）が高かった。さらに、NAS-D と Ramongo の間の異なる水分状態も穀物収量に影響を及ぼしたはずである。Ramongo、Poa、NAS-M と異なり、NAS-D は季節河川近傍の低湿地に位置し、農民が乾季でも地下水を使用して作物が栽培できる。こうした高水分条件は、肥料の可溶化と分散による P 肥料の有効性に関係すると考えられる。低湿地の水田土壌における P の利用可能性は、畑地の土壌よりも高いことが実証されている。また、一般に、洪水の後、水溶性 P の濃度は増加することが報告されている。すなわち、土壌中、および添加 P の利用可能性は、水はけの良い土壌よりも湛水しやすい土壌の方が高い。また、試験期間中の観察では、NAS-D において湛水が他の場所よりも早く始まり、P を効果的に利用することができたと考えられる。

試作した CBk、PAPR75、および PAPR100 の間でモミ収量に有意差がなかったことは、提案された肥料の肥効は同等または効果的であることを示唆している。一方、NAS-M および Poa から得られた P 施肥処理のモミ収量は類似していた（すなわち、 $3.5\sim 4.5\text{ t ha}^{-1}$ ）。得られた収量レベルは NAS-D のものより低かったが、Ramongo より高かった。NAS-M および Poa では、収量に対する P 施肥効果は観察されず、収量と P 肥料の有効性に影響する他の要因があると考えられた。NAS-M と Poa の初期土壌肥沃度レベルは、NAS-D の最高レベルと Ramongo の最低レベルと比較して中程度であり、一方、湛水状況は Ramongo と同程度であったと思われる。今後、提案されている P 肥料の施肥効果の検証を継続し、さまざまな場所、土壌および水条件下でそれらの有効性を制御する要因を明らかにすることが必要である。

Effectiveness of CBs and PAPRs on grain yield

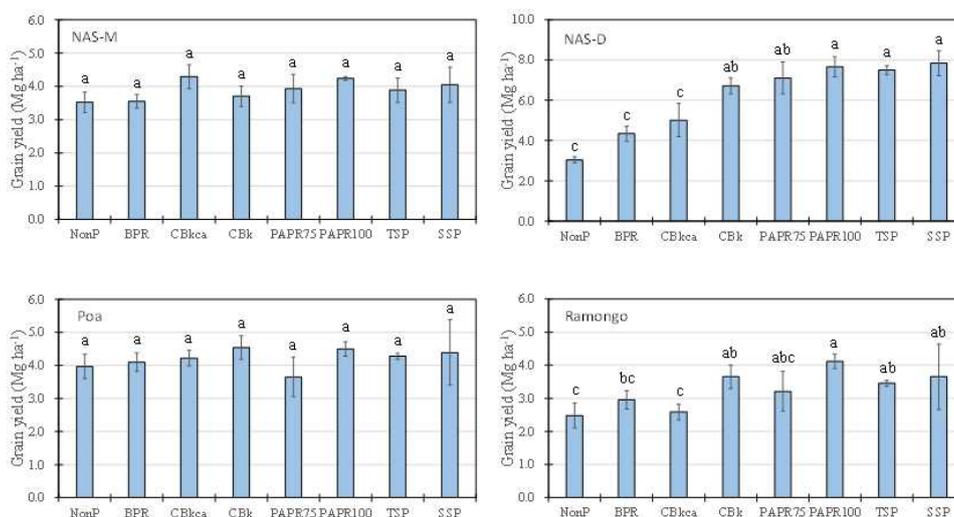


図 2-4 各種リン酸施肥がモミ収量に及ぼす影響

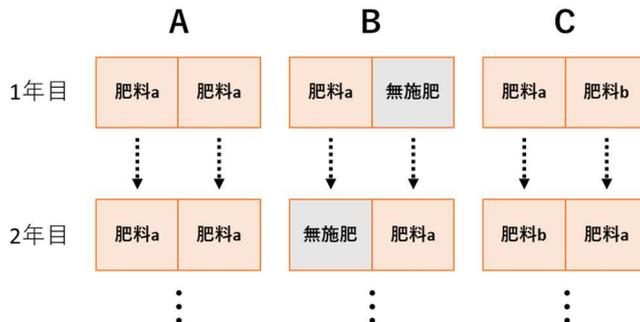
2-2(a) 試作複合肥料を用いた施肥技術の改善（施肥技術改善）

サリア支所の土壌型が異なる 3 圃場において、ソルガムを対象として令和 1 年度より複合肥料を活用した最適な施肥法を明らかにするため試験を実施予定である。平成 30 年度は、この試験準備として上記 3 圃場でソルガムの無施肥栽培を行い、土壌の均質化を実施した。

一方、天水稲作については、サリア支所近郊のナソロ集落で、季節河川近傍の低湿地から畑地に至るトランセクトを設け、栽培期間中の湛水状況と土壌肥沃度が異なる 4 サイトで試作リン肥料を用いた施肥栽培試験を実施することを決定し、その試験計画を策定した。

2-3 施肥栽培普及評価

試作複合肥料を用いた施肥栽培の普及可能性を評価するため、サリア近郊におけるソルガムの農家ほ場試験を計画しており、同試験の参加候補を選定するための農家調査を行った。ソルガムの栽培農家 20 戸に聞き取りを行い、主に試験参加の意向、データ収集のための記帳能力、ほ場の立地を確認した。その結果、20 戸中 16 戸が試験参加の意向を有し、データ記帳が可能で、さらに展示効果の期待できる人通りの多いほ場を試験に用いることが可能であることが判明した。これらの農家を試験参加者の候補とする予定である。また、試作複合肥料を用いた施肥栽培の比較対照となる慣行施肥について聞き取りした。その結果、20 戸中 10 戸が堆肥と市販複合肥料、7 戸が堆肥のみ、1 戸が市販複合肥料のみ、2 戸が畜糞のみ、を施用していること、いずれの肥料も用意できる量が限られているため、自宅周辺のほ場に集中的に施用されていること、下図のように A) 同じ肥料を毎年施用 (7 戸)、B) 施用するほ場と施用しないほ場を毎年入れ替える (7 戸)、C) ほ場ごとに施用する肥料の種類を毎年入れ替える (3 戸)、の 3 つの施用パターンが存在すること、が分かった。



【調査農家 20 戸の慣行施肥：3 パターン】

肥料流通の実態を把握するための情報収集の一環として、肥料の小売価格の調査を実施した。これまでの情報収集の過程で、肥料価格は一部地域の農業普及員により、統計の基礎データとしてモニターされていることを確認しているが、公式統計には収録されていない。肥料価格とその形成要因の把握は、農家による肥料の購入可能性を検討したり、流通機構の課題を検討する場面において、重要な基礎データとなる。治安の状況が比較的良い南部地域 (図 2-5) で収集した 2018 年の肥料小売価格は、図 2-6 のような分布であった。価格決定要因を統計的に検証したところ、関税支払いの有無、輸入業者が集積するボボジュラッソからの距離、そしてガーナ国境からの距離が有意な説明変数となった。これにより、流通業者の営業秘密に関わる調査を回避しつつ、肥料流通コストの構成を把握することができた。

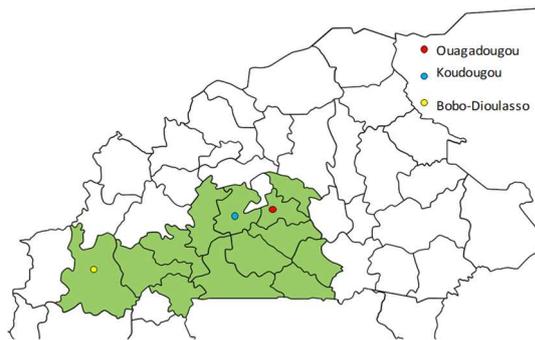


図 2-5 肥料価格調査対象地域

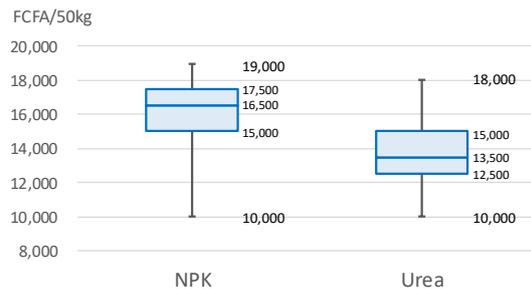


図 2-6 肥料価格の分布

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

題目 2 の主要なカウンターパート 2 名を日本に招聘し、リン酸の分析方法、気象観測装置と土壤水分計の使用法、作物生育モデルの概要、作物生育モデル校正のための生育調査方法について技術移転を行った。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開特になし。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

ブルキナファソ産リン鉱石を用いた肥料の同国主要作物に対する施肥効果を評価し、さらに施肥技術の改善をした上で、施肥栽培の普及とソルガム需要拡大に向けた方策を提案する。

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

研究題目 1 で試作されたリン酸肥料（単肥及び複合肥料）の肥効を、圃場試験により実証、評価する。さらに、ソルガムと水稻を対象に試作されたリン酸複合肥料がより効果を発揮できるような施肥技術の改善を圃場試験により図る。加えて、試作されたリン酸複合肥料の普及可能性について、農家経営面と国・地域レベルでの肥料流通の面から評価して、普及のための方策を模索する。

(5) 研究題目 3：「リン鉱石の直接利用技術の開発」

JIRCAS 研究グループ（リーダー：中村智史）

① 研究題目 3 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

前年度に現地試験計画を C/P と入念に調整したことが奏功し、本年度は各実施課題ともに順調に推移した。

3-1 水稲作におけるリン鉱石の直接施用効果の解明と施肥技術の改善（水稲直接施用）

これまでにリン鉱石直接施用においては、播種 2 週間前までに施用することで、その施用効果が高めることが可能であることを示してきた。前年度は、既報で示されている天水稲作におけるリン鉱石直接施用の残効影響を考慮し、残効影響下における施用時期を検証した。試験地は 7 地点設定したが、降雨時期のずれなどにより、施肥が出来なかった地点があり、6 地点の試験とした。

その結果、6 地点の平均 RAE はコメ収量で

67.5%、地上部乾物収量で 79.7%と昨年の平均値（23%）を大きく上回った。一方で、2017 年度試験において示された“播種時期の 2 週間前に施肥する事で収量が増加する”との傾向は、残効影響下にある 2018 年度試験では確認されず、施肥時期の変更はイネ収量に影響を及ぼさないという結果になった。

PR-2W 以外の 3 処理で RAE が向上した理由は、残効の影響によるものと考えられる。これまでに実施したリン鉱石直接施用試験においても同様の結果であり、前年に施用したリン鉱石の残存画分が、イネ生育初期のリン要求量が一定程度満たされることにより作物生育が向上したものと考えられる。また、PR-2W で前年と同程度の RAE である理由については、こうした残存画分によるリン供給量が、生育初期に必要なごく少量を補う効果があるのみで、生育全体を維持するには不足していることに起因すると考える。つまり、初度施用の場合、PR-2W において初期に溶出する極微量のリン酸が初期生育を維持することで、結果として他の処理区に比較して収量を高めるものの、残効影響下では、この初期溶出分の効果が残効によってマスクされ、2 年目の施用効果では相加効果として発現しないのではないかと考えている。なお、残効影響下でリン無施用とした場合、その収量はリンを 2 年間無施用とした区と同程度の収量となることが示されている。このことは、リン鉱石の継続施用においては、2 年目以降、播種と同時期にリン鉱石を施用することが可能であることを示し、施用時期をずらすことによる労働資源の増加を防ぐものといえる。

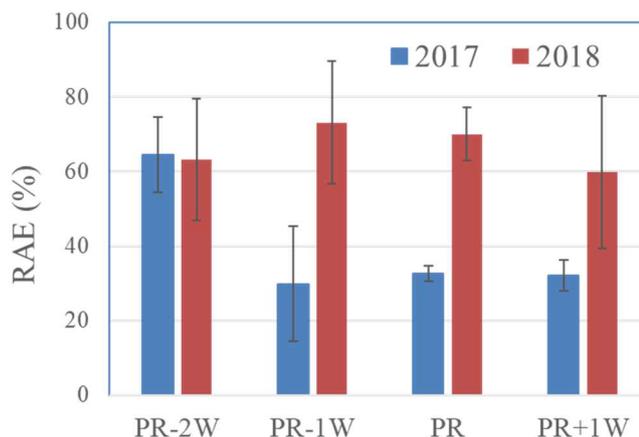


図 3-1 リン鉱石施用時期の影響における初度施用と残効影響の比較
エラーバーは標準誤差(n=6)

また、INERA が主体となって、リン鉱石施用量と TSP の施用量を 15、30、60、135、270kg P₂O₅ ha⁻¹ にそれぞれ設定し、調査地におけるリン鉱石(PR)および重過リン酸石灰(TSP)の施肥反応を検証した。調査地は前述のリン鉱石直接施用試験地から 3 地点を選択し、各地点において 3 反復で実施した。その結果、調査地におけるリン酸施用は、PR 施用、TSP 施用ともに 135kgP₂O₅ ha⁻¹ の施用区で収量が最大となった。しかしながら、30 kgP₂O₅ ha⁻¹ 以上の施用量では有意な収量増加は認められず、135 kgP₂O₅ ha⁻¹ までは収量が増加する可能性はあるものの、施肥リン酸量に対するイネ増収効果の関係から、実際の施用量としては、30

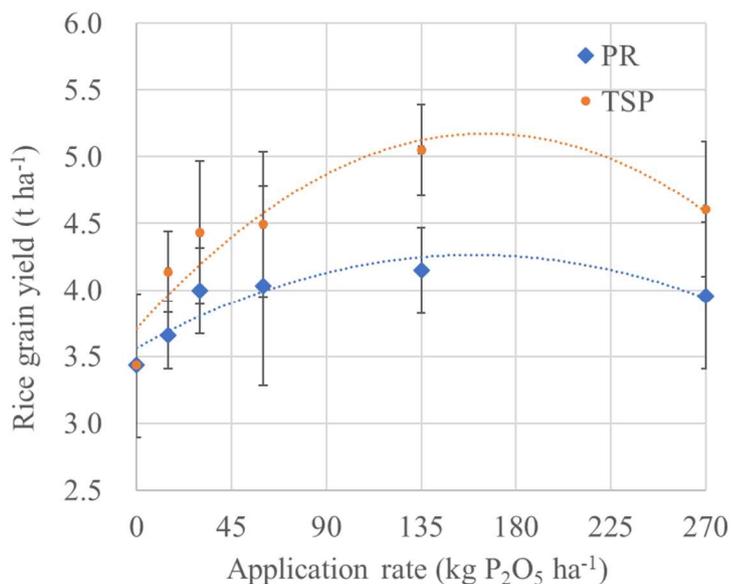


図 3-2 PR および TSP 施用量とイネ収量の関係
エラーバーは標準誤差(n=3)

3-2 リン鉱石施用効果を最大化するイネ QTL の解析 (リン鉱石利用 QTL)

水稲作におけるリン鉱石直接施用効果の解明と施肥技術の改善にむけて、ゲノムワイド相関解析 (GWAS) による水稲作におけるブルキナファソ産リン鉱石の直接施用効果に関与する QTL 解析と、リン鉱石直接施用効果の高いイネ育種素材の選抜を行った。リン鉱石直接施用効果に関与する QTL を同定するため、INERA サリア支所付近のリン酸欠乏土壌の天水田農家圃場 (Sisene 村) において、IRRI から導入したインド型イネ (*O. sativa ssp. indica, aus,*) 275 系統を用いて 3 処理区 (NK 区, PR 区, TSP 区) の異なった施肥量で播種し栽培試験を行った。播種後 50 日と登熟期の生育調査の結果を用いてゲノムワイド相関解析(GWAS)を行った結果、いくつかの形質から有望な QTL が検出された。その中で最も興味深い QTL として、登熟期の穂重比率 (PR 区/NK 区) から 8 番染色体に検出された (図 3-3A)。この QTL は、PR 区および NK 区それぞれの穂重のデータからは検出されなかったことから、リン鉱石直接効効果に関連する形質であることが示唆された。さらなる GWAS 解析の結果から、この QTL は *Aus* 集団特異的であることが分かった(図 3-3B)。

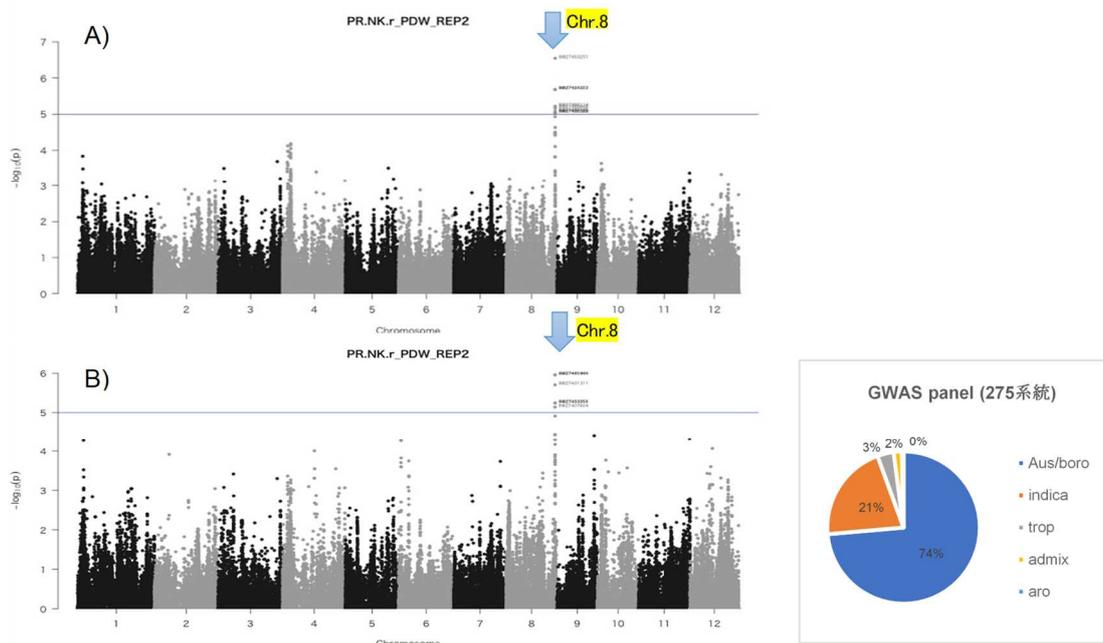


図 3-3 登熟期の穂重比率 (PR 試験区/NK 試験区)を用いたゲノムワイド相関解析 (GWAS)

A) GWAS panel 275 系統を用いた解析結果 B) *Aus/Boro* 集団(203 系統)を用いた解析結果

また、今回の栽培試験から、リン鉱石直接施用効果が高いイネ育種素材が選抜された(図 3-4)。PR 試験区で穂重の高い 14 系統を比較したところ、RAE では平均値で 84%, PR/NK 値では平均で 99%の増加が確認された(図 3-4)。これら有望系統のうち複数の系統で、2017 年と 2018 年の 2 ヶ年で同様の結果を得ており、これら有望系統を育種素材として既に日本に導入し、現地普及品種である FKR19 との交配集団の作製を開始した。また、選抜された有望系統に関して本年度リン鉱石直接施用効果の再現性が確認されれば、有望系統のブルキナファソでの普及および適応性を確認するため、次年度以降ブルキナファソの複数地点での栽培試験に供試する。

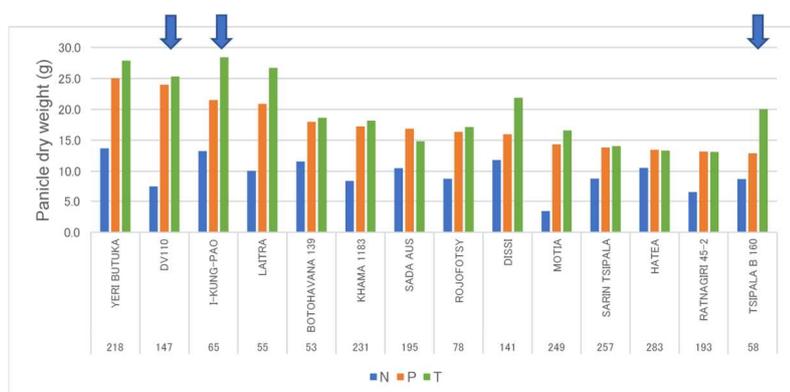


図 3-4 3 処理区 (NK,PR,TSP 区) における登熟期の穂重の比較 (矢印は、2017 年と 2018 年の 2 ヶ年で PR 区において高い収量性を示す有望系統)

【平成 30 年度実施報告書】【190531】

3-3 リン鉱石富化堆肥におけるリン鉱石の可溶化メカニズムの解明と施肥効果の評価（リン鉱石富化堆肥）

2018年3月から9月までの6ヶ月間、INERAカンボワンセ支所において、ソルガムを主原料とした堆肥を3反復で作成した。堆肥はソルガムのみ(Comp)、ソルガム+リン鉱石(P-Comp)、ソルガム+リン鉱石+ソルガム圃場の土壌(P-Comp Soil)で構成される3処理とした。堆肥試料は、定期的に観察および攪拌され、堆肥化開始後1.5ヶ月、2ヶ月、6ヶ月の時点で、コンポジット試料を採取した。各試料からDNAを抽出するとともに、堆肥滲出液（堆肥から滲出する黒色液体）を攪拌ろ過により採取した。DNA試料、堆肥滲出液ならびに乾燥堆肥試料について、分子生物学的、酵素、化学分析に供試するため日本に持ち帰り、分析を実施した。

化学分析の結果、堆肥化期間中の有機物分解に伴う全Nの増加が示された。BPRと根圏土壌を添加した堆肥(P-Comp Soil)は、2ヶ月から6ヶ月までの間にわずかに高い全N量を示した。これは、この処理におけるより良好な分解を示している。同様にP-Comp Soilでは、全P含量も6ヶ月間の間、比較的高い値を示すとともに時間経過とともに増加した。この増加は、変化のなかった有機態Pではなく無機態Pの増加を反映している（データ略）。しかし、BPRのみの処理(P-Comp)では全P量には差異が認められなかった。

リン溶解菌を含む全細菌量では、P-Com-Soilは1.5ヶ月および2ヶ月目において、他に比較して高い菌数を示した。P-Compは、Compと比較して1.5ヶ月目では同等の細菌量だったが、2ヶ月目には、その数は有意に高くなった。興味深いことに、すべての堆肥の種類において、全細菌数は堆肥の成熟段階（6ヶ月）で減少した。2ヶ月目のP-compおよびP-Comp-Soilにおける全細菌量の大幅な増加は、好熱菌の繁殖が多い時期に対応している可能性があり、温度が低下すると減少すると考えられる。リン酸可溶化細菌および真菌の定量化ならびに異なる酵素および有機酸の決定は、現在分析中であるが、BPR富化堆肥のP可溶化に影響する要因に関する基礎的知見を得ることが出来ると考えられる。

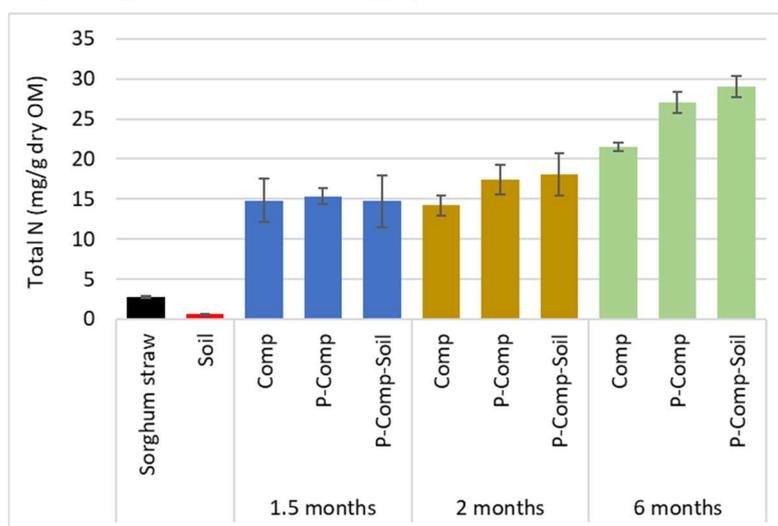


図 3-5 各処理区における全 N 量の変化

エラーバーは標準偏差(n=3)

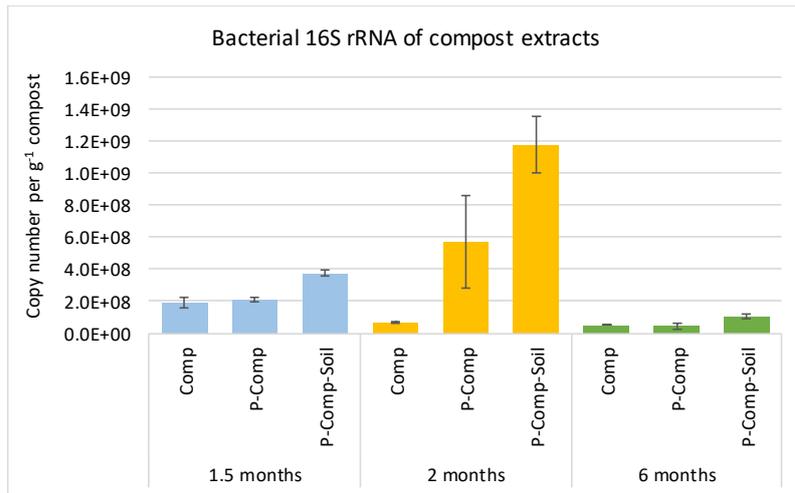


図 3-6 各処理区における全細菌量の変化

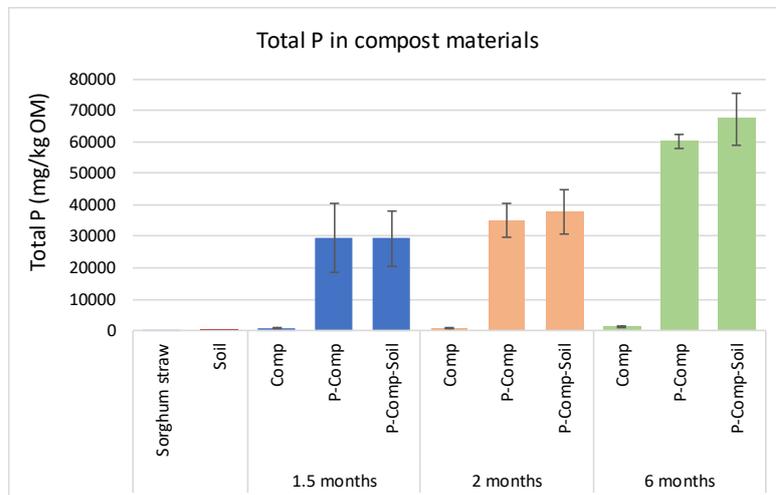


図 3-7 各処理区における全リン量の変化

3-4 リン鉱石の直接施用が有効な作物の探索(リン鉱石適合作物)

3-4-1 リン鉱石直接施用に適したマメ科作物

ブルキナファソ国内で入手可能なマメ科作物（ササゲ、ラッカセイ、バンバラマメ、インゲンマメ、ダイズ、リョクトウ、テパリービーン）7種10系統を対象とした予備試験を行った。INERA サリア支所内の試験圃場にて対照区（無施用）、リン鉱石粉施用区（PR）、ならびに重過磷酸石灰施用区（TSP）を設定し、地上部生育および子実収量を調査した。その結果、PR 区においてササゲ、ラッカセイ、リョクトウ、ダイズで対照区よりも地上部生育量が増加し、このうちラッカセイは TSP 区と同等の生育を示した。また、ラッカセイとリョクトウについては対照区に対して 23-27%の子実収量増加がみられた。一方、インゲンやテパリービーンはサリア支所の環境では降雨の不足により生育不適と判断された。今年度の結果を受け、次年度の本試験では供試材料を5種（各1系統）に絞る、土壌タイプと施肥効果の相互作用を検討する、施肥時期の変更を行う、植物体のリン利用率を調査する等、試験設計の改良

を行う。

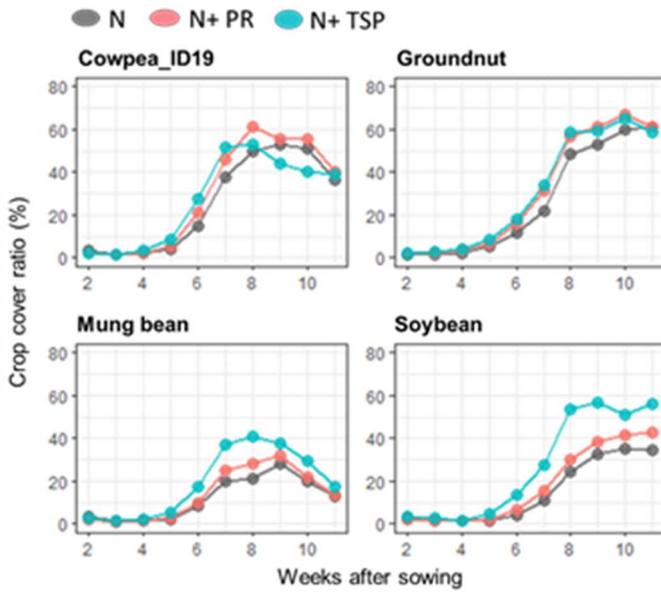


図 3-8 リン鉱石粉施用による地上部生育量の増加

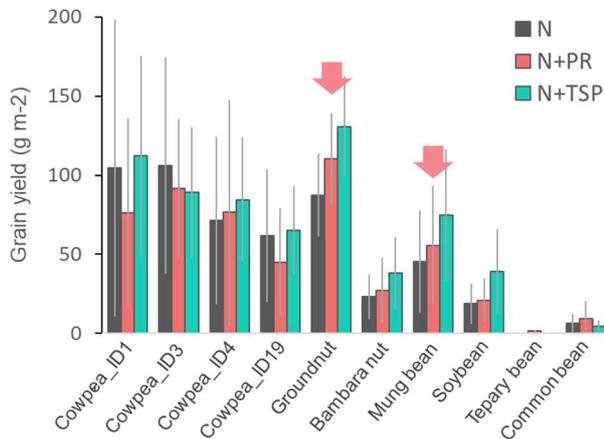


図 3-9 各処理区における子実収量の比較

3-4-2 樹木作物に対するリン鉱石直接施用効果

樹木作物について、シアーバターノキ(*Vitellaria paradoxa*)、ヒロハフサマメノキ(*Parkia biglobosa*)、ワサビノキ(*Moringa oleifera*)、および柑橘(*Citrus* sp.)の植栽木に対しリン鉱石直接施用効果の有無を検証する試験を継続している。苗畑における育苗レベルの試験では、現地採取の粘土、砂および堆肥を 3:4:3 の割合で混合した 1 ポットあたり 12kg の培地に対しリン鉱石粉末を 0%, 5%, 10%, 15% の割合で施用した。野外植栽試験地では、12kg の現地土壌に対し 0%, 0.4%, 0.8%, 1.6% の割合でリン鉱石粉末を施用し 4 樹種の定植に用いた。現在までに、各 120 本の苗木に対し異なる 3 種の施用量を設定した育苗レベルおよび野外環境において比較試験を 2018 年 3 月から開始し、定期的な個体サイズの計測観察を行った。毎月の平均樹高(苗長)および平均直径の計測結果から、2019 年 5 月時点ではいずれの樹種も各処理区間に有意な差は見られなかった。

3-5 アズラを活用した有機質 NP 肥料の製造法の開発と施肥効果の評価(アズラ利用)

前年度に開始した INERA ファラコバ支所において実施したビーカーによる小規模アズラ栽培試験

を継続した。当該試験において、アゾラ増殖におよぼすリン酸濃度、気温、湿度、光強度、培養液 pH、培養液 EC、酸化還元ポテンシャルの影響を中心に検討した。

試験では、培養液のリン濃度を、0, 5, 10, 20, 50 mgPL⁻¹ の 5 水準に設定した。培養液は無窒素培地でカリウム濃度は 30 ppm 塩化カリウム(60% K₂O)から、それぞれのリン濃度は重過りん酸石灰(TSP; 45% P₂O₅)から作成した。その結果、アゾラ増殖におけるリン濃度の影響は、雨季後期(10月-11月)と乾季前期で差異が生じることが示された。雨期後期に実施した試験では、培養 28 日目のアゾラ新鮮重は 10P=50P>20P>0P>5P の順となった。一方、乾季前期に実施した試験では、培養 52 日目のアゾラ新鮮重は、10P>20P>5P>0P>50P となった。

この結果から 10~20ppm 程度の濃度領域において、他の濃度領域と比較してアゾラの増殖が進んだと考える。しかしながら、両実験間のリン濃度に対するアゾラ増殖の反応性は変動が大きい。

植物の倍加時間 (DT) では、平均 DT (0~28DAT における DT の平均) は、雨季後期の実験における 0~50ppm の濃度領域において 13~20 日の範囲であった。

最小 DT (最も倍化速度が高い) は 0ppm の処理区であり、10P、20、5P、および 50P の順に DT が大きくなった。乾季前期の試験においては、平均 DT は 8 から 75 日の範囲を示した。現時点では、アゾラの成長を制御する要因はまだ明らかではないと考えており、当該試験を継続する予定である。

加えて、4月から5月の有機肥料としてのアゾラの施肥効果の検証のため大量のバイオマスを収集するために、セメント製の池に2~3kgの牛糞を施用して、アゾラ植物をセメント池(25~30cmの水深で約2m×4m)に繁殖させることを試みた。池の水質および環境要因のパラメータを観測し、Azolla バイオマス生産の平均 (n=6) 倍増時間 (2倍量になるのに必要な期間) は、約7日であることが示された。なお当該試験期間中の水の pH は 6.7~7.2、水温は 30~34°C、EC は

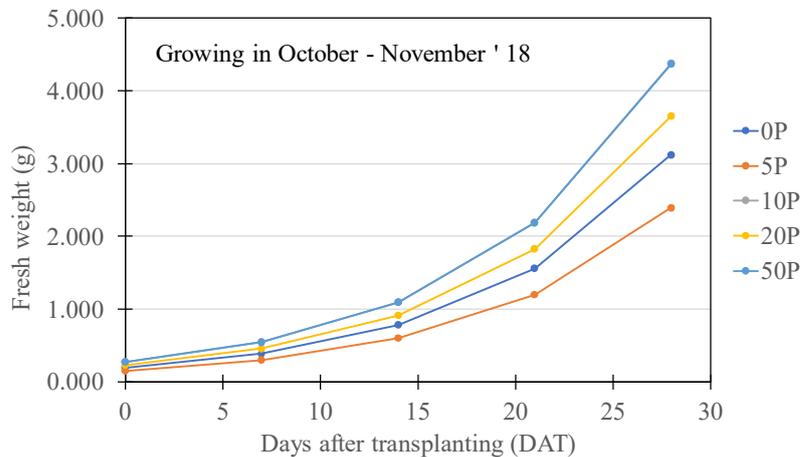


図 3-10 雨季後期においてリン濃度がアゾラ生長速度におよぼす影響

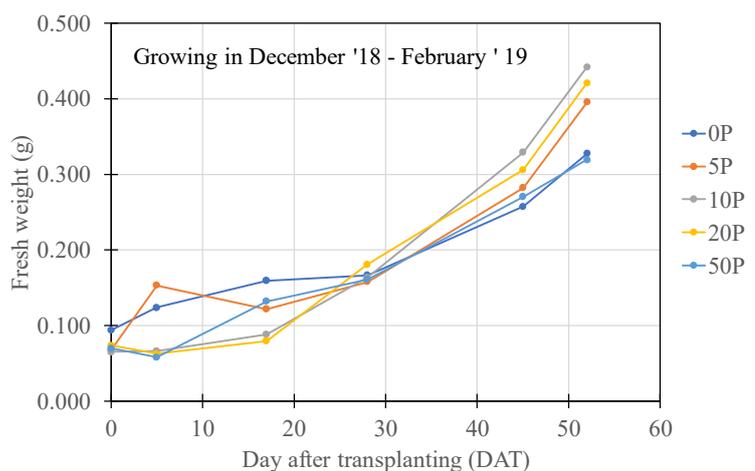


図 3-11 乾季においてリン濃度がアゾラ生長速度におよぼす影響

0.38~0.44 mS/cm、酸化還元電位は 240~277mV、光強度は 23000~67000 ルクス、気温は 37~47°C、および湿度は 26~38%だった。本試験で得られた Azolla は、乾燥後、N と P の含有量を分析し、ポット試験に使用する予定である。本試験により、次期ポット試験に必要な量の Azolla 植物が、池で十分に生産できることを確認できた。さらに、Azolla は年間を通して定期的に培養業務が維持されており、以後の小規模および大規模での試験に向けた再増殖の原料として利用される。



図 3-12 日陰で乾燥中のアゾラ試料



図 3-13 コンクリート製池で増速中のアゾラ

② 研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

課題 3-1、3-2 では、天水稲作におけるリン鉱石施用効果の最大化を目指して活動しており、一部の有望な技術、系統が示されつつある。こうした進捗を背景として、現地 C/P を 2019 年度に日本に短期招聘し、施肥技術、遺伝子評価による優良品種の選抜方法などを研修し、これらを組み合わせるための試験計画の策定などを実施予定である。また、天水稲作におけるリン鉱石直接施用に有効なイネ系統の選抜を実施している INERA ファラコバ支所では、より高精度の選抜を実施するため、網室および給水設備を設置した。課題 3-3 のリン鉱石富化堆肥試験では、日本側研究者が出張にあわせて、現地 C/P に対し、DNA 抽出などの分析法を指導した。

③ 研究題目 3 当初計画では想定されていなかった新たな展開

課題 3-1 リン鉱石直接施用試験において、リン鉱石の施用時期が収量に影響を及ぼすことが示唆されたことを踏まえて、現地 C/P において、実際の最適施用量を示すことで、より稲作農家におけるリン鉱石施用が推奨できるとの認識が強まった。そこで、当初計画になかった天水稲作農家圃場における最適リン酸施用量の検討を実施することになった。

④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

【題目 3-1】

リン鉱石粉は、工業的に加工したリン肥料に比べてはるかに安価であり、直接施用が効果的な場合には積極的な利用を検討すべきである。これまでに、水田におけるリン鉱石粉の施肥が、一定程度有効であることをガーナ、ブルキナファソにおける圃場試験で明らかにされてきた。それらの成果をもとに、水田においてより高い効果が得られる施肥時期、施肥量などの施肥方法を開発する。

【題目 3-2】

一方、リン鉱石直接施用におけるイネのリン鉱石可溶性・吸収メカニズムは明らかになっていない。そこで、イネのリン鉱石直接施用効果を明らかにするために、様々なイネ系統を用いたゲノムワイド相関解析(GWAS)や量的形質遺伝子座位(QTL)の解析によりリン鉱石の溶解・吸収に関与する遺伝子座の同定を行う。得られた結果を活用し、直接施用法とリン鉱石直接施用に適したイネ品種の組み合わせにより、リン鉱石施用効果の最大化を図る。

【題目 3-3】

直接施用に不適とされる低品位リン鉱石の利用方法として、リン鉱石を堆肥化過程に付加し、リン鉱石の溶解を促すことでその施肥効果を高める手法は広く研究されている。ブルキナファソにおいても、堆肥を製造する際にリン鉱石を添加することを奨励しているが、堆肥化過程におけるリン可溶性のメカニズムとその施肥効果については十分解明されていない。このリン鉱石溶解メカニズムの解明は、効率的で施肥効果の高いリン鉱石富化堆肥の作成法の開発に寄与できると考えられる。そこで、リン鉱石富化堆肥における効率的な堆肥化法を提案するとともに、リン鉱石の可溶性メカニズムを検討し、さらに得られたリン鉱石富化堆肥の当該地域における主要作物に対する施肥効果を評価する。

【題目 3-4】

マメ科作物は難溶性リンを溶解・吸収するとされ、リン鉱石直接施用が有効である可能性が示されている。また、マメ科作物のチッ素固定能による土壌肥沃度向上も同時に期待でき、マメ科作物の間作や輪作、あるいはカバークロップ導入などによる作付け体系の改善を通じ、輸入するチッ素施肥量を節減できる可能性が高い。そこで、同国で栽培される多様なマメ科作物の中から、リン鉱石直接施用効果の高い作物を選定する。

【題目 3-5】

アゾラ（オオアカウキクサ）は、ランソウとの共生による空中窒素固定が生じることが知られており、緑肥として利用される。リン鉱石を含むリン酸資源の施用によりその増殖は促進されることが示されている。このことから、リン鉱石を利用したアゾラ増殖によって、アゾラ由来の安価な有機質 NP 肥料としての利用が可能であると考えられる。ブルキナファソにおいても、水稲作におけるアゾラ(*Azolla pinnata*)の利用可能性が検討されている。そこで、リン鉱石を活用して小規模農家でも実施可能なアゾラの増殖法を開発し、有機質 NP 肥料としての肥効を評価する。

【題目 3-6】

上述の研究項目【3-1】～【3-5】に加え、植林や農業場面で様々な利用法を探索し、FAO や IFDC 等のリン鉱石直接利用に関する文献との整合性を検討しつつ、リン鉱石の直接利用技術のマニュアル

を作成する。

⑤ 研究題目 3 の研究実施方法（参考）

【題目 3-1】

- a) 環境条件の異なる 6~10 地点の農家圃場を選定し、水稻作におけるリン鉱石直接施用効果を重過リン酸石灰(TSP)などの水溶性リン酸肥料との比較により検証する。特に、施肥量や施肥時期、施肥深度などの施肥方法の影響を検討する。
- b) リン鉱石直接施用効果の残効発現程度など効果の経年変化について、農家圃場においてリン鉱石施用試験を実施し検討する。

【題目 3-2】

- a) 様々なイネ系統を用いて、リン鉱石直接施用効果の表現型調査を行う。GWAS および QTL 解析により、リン鉱石直接施用効果に関与する QTL を同定し、その QTL を持ったイネ準同質遺伝子系統(NIL)を作成し、リン鉱石直接施用効果を確認する。
- b) リン鉱石施用効果の高いイネ品種と最適施肥法を組み合わせ、リン鉱石直接施用効果が最大化する栽培法を確立する。

【題目 3-3】

- a) ブルキナファソ産リン鉱石富化堆肥製造における最適条件を検討する。堆肥製造に際してリン鉱石配合割合の水準を設定し、堆肥原料および堆肥化期間中の有効有機酸 (HPLC)、ホスファターゼ、ホスホナターゼ、フィターゼ、シデロフォアの量 (培養法) を比較することにより、効率的なリン酸塩富化堆肥製造方法を提案する。
- b) リン鉱石富化堆肥の製造過程における生物資材添加の有効性を検証する。リン鉱石の可溶化に有効な生物学的材料としてソルガム茎葉および根圏土壌を添加して堆肥化を実施する。処理は、堆肥のみ (リン鉱石添加なし)、リン鉱石富化堆肥、および微生物源としてソルガム畑から採取された根圏土壌を加えたリン鉱石富化堆肥とし、堆肥の温度と酸素レベルは定期的に記録される。また 2 週間ごとに、サブサンプルを収集して、pH および堆肥の重量の変化を測定する。堆肥サンプルは、物理化学的、酵素的および分子分析のために 2 カ月および 4 カ月後に採取する。堆肥中の微生物の存在量および組成は、qPCR 次世代シーケンサーによって決定する。
- c) ブルキナファソにおけるリン鉱石富化堆肥の施肥効果を検証する。対象作物はソルガム、ササゲ、およびイネとし、堆肥化を経ないリン鉱石や TSP 等との比較から、その施用効果を検討する。また堆肥化にかかる各種コストを算出し、農家経営におけるリン鉱石富化堆肥製造の影響について検討する。

【題目 3-4】

- a) INERA サリア支所において、各種マメ科作物 (ササゲ、ラッカセイ、バンバラビーン、キマメ など) へのリン鉱石直接施用がその収量に及ぼす効果を評価する。
- b) INERA サリア支所において、各種樹木の育苗時、栽植時におけるリン鉱石施用効果を評価する。

【題目 3-5】

- a) ブルキナファソにおけるアズラ在来種の分布域を把握し、有用アズラ在来種の増殖条件を水温、水深、pH やリン酸量を変数として検証する。また、リン鉱石施用条件下におけるアズラ増殖効果を明らかにし、ブルキナファソにおけるアズラ利用可能性を調査する。
- b) アズラを活用した有機質 NP 肥料の施肥効果を検討する。得られたアズラ由来有機質 NP 肥料を施用して作物栽培を実施し、当該肥料の施用効果を検討する。対象作物はアズラ増殖のための溜池付近で行われる野菜作を想定。

【題目 3-6】

- a) 本プロジェクト内で提案された各種技術オプションについて、普及員を対象とした技術マニュアルとして取りまとめる。作成したマニュアルに基づくリン鉱石直接利用法を現地普及員と共有し、当該地域における利用可能性を評価する。

(6) 研究題目 4：「持続的作物生産に向けたリン鉱石の総合的利用法の提案」

JIRCAS 研究グループ（リーダー：小林慎太郎）

東京大学研究グループ（リーダー：岡田謙介）

4-1. リン利用効率を最大化するためのリン酸肥料利用法の検討

平成 30 年度は国内においては、西東京市にある大学附属農場において、新規開発焼成リン肥と重過リン酸石灰を 4 段階に施用した処理区において、ソルガム、トウモロコシ、ササゲ（いずれも日本品種）を栽培して施用反応を調査し、それを用いて新規焼成リン肥料の相対的肥効を調査するとともに、国内条件における作物モデル APSIM の簡易キャリブレーションとバリデーションを行った。

またブルキナファソにおいては、大学院生（修士）を派遣して INERA カンボアンセ支所の圃場で、同じく新規焼成リン肥と重過リン酸石灰の 5 段階の施用試験をソルガムを材料として実施した。収量のリン施用反応を図 4-1 に示す。その試験結果については日本作物学会（3/28-29、筑波大学）にて口頭発表を行った。収穫期総乾物重および収量において 10kgP/ha がもっとも高い値を示した。新規焼成リン肥の総乾物重増大効果は、TSP の 6 割程度であった。より高い施用量における生育低下の理由は不明であった。

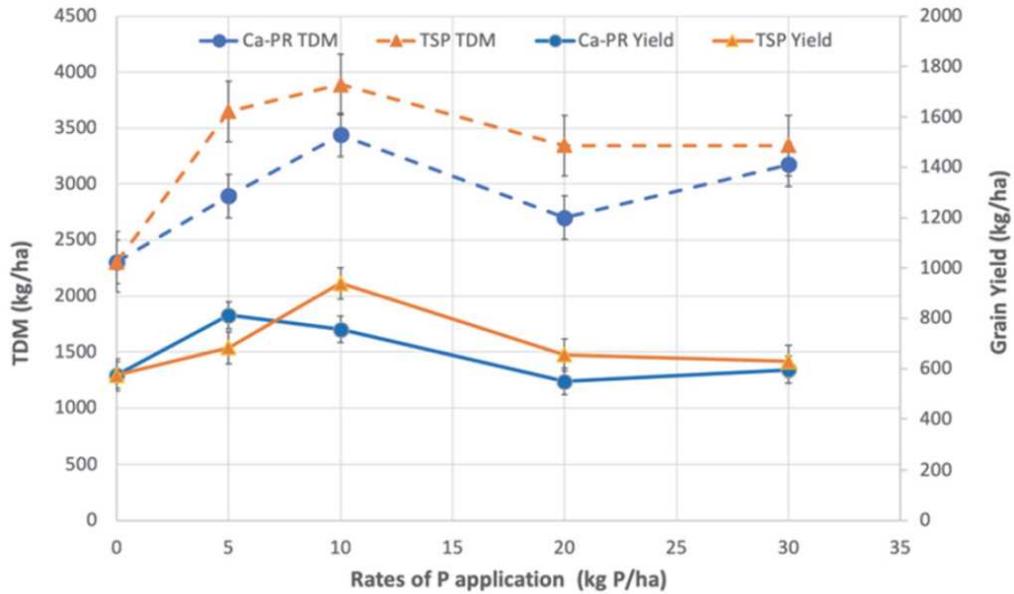


図 4-1 ソルガムの生育と子実重収量の新規焼成リン肥と重過リン酸石灰に対する施用反応（カンボアンセ、ブルキナファソ）

またこれらのデータを用いて品種 Kapelga のフェノロジーに関するキャリブレーションを行い、シミュレーションによる開花期と生理的成熟期が圃場での観察に一致することを確認した。

4-2. 流通と需要拡大に向けたバリューチェーンの解明

肥料の利用拡大を通じた農業生産性の向上が、農家所得の向上につながるための道筋を検討する本課題において、平成 30 年度は、消費者と食品加工業および輸出の動向について聞き取りと文献調査を開始した。これまでのところ、貧困率の低下に合わせて、ソルガムやミレットなどの穀物と食用油の一人当たり消費が増加していること、それに誘発され食用油の工業生産も増加していることが明らかとなった。所得階層別の消費の特徴に鑑みると、今後はコムギやコメの消費も徐々に拡大すること、また同様に、肉の消費も拡大すると考えられる。今後、これらの情報に基づき、また地域別の農業環境の特徴を勘案しつつ、農家の所得向上に資する農産物の検討を行う。

4-3. 国産肥料の利用が地域経済に及ぼす評価

平成 30 年度は、ブルキナファソ全土を対象とする地形、土壌、土地利用、気候等の地理情報の整備を進めた。いずれも、空間解像度 30m の地理座標系に投影したデータとすることで、要素間の演算による土地生産性評価を行う基盤を構築した。特に、農作物作付地の立地環境を把握することで、施肥効果の地域的差異を評価することが可能となるため、衛星データを活用した作付域分布図作成手法の開発・改良を行い、SARIA 周辺で実施した現地調査結果による精度検証を行った。

① 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

4 月招聘されたカウンターパートの Dr. Alimata BANDAOGO（土壌）と Ms. Beatrice SOMDA（作物）

に対して、4月23日から27日まで東京大学において作物モデル APSIM の講義（ユーザインターフェース、各モジュールの理解、データ入手法）および演習を実施した。また東大附属農場（西東京市）において、実験手法（植物試料採取法、葉面積測定法、クラウド対応気象ステーション）について講習を行った。

衛星データ・地理情報の解析に用いる供与機材を INERA カンボワンセ支所に設置し、共同研究者との協力の下、特に土地利用図作成技術を中心とする技術指導を大学院生に対して行った。また、当該技術による農業資源管理の有用性の認識を深めるため、INERA スタッフを対象としたセミナーを実施するとともに、ワガドゥグ大学において、講演を行った。

② 研究題目4の当初計画では想定されていなかった新たな展開

モデル研究においてはカウンターパートが INERA カンボワンセ支所におり、また大学院生の長期滞在と圃場試験にも同支所が利便性が高いことからそこを拠点として行うことになった。首都からの距離、JICA 調整専門家の滞在などの条件にも合致しており圃場試験の効率的な遂行に貢献した。

③ 研究題目4の研究のねらい（参考）

国内産リン鉱石を用いた肥料を着実に普及させるためには、農家あるいは地域経済にとってどのような効果があるかを判りやすく説明する必要がある。そのためには、現状の正確な認識と影響を実感できる情報の提供が鍵となるため、本研究題目では、そうした仕組みを支援する研究開発を狙いとしている。

④ 研究題目4の研究実施方法（参考）

農家、流通業者等から直接的に情報収集を行い経済分析するとともに、そのノウハウをカウンターパートへ技術移転する。作物生育モデル、地理情報解析に関しては、現地で得られる情報の質と量を考慮し、手法の最適化を行う。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

上記に記述したようにすべての研究題目で活動を開始し、研究成果が着実に上がって来ている。また、研究題目1においては、二種類の肥料製造装置が完成し、部分酸性化リン鉱石製造装置については、ブルキナファソに送付し、現地での製造試験を INERA とともに行った。また、焼成装置については、現在輸送準備を進めており、6月末までには現地へ到着見込みである。研究題目2については、昨年度に引き続き、試作したリン酸肥料の施肥効果を検証するとともに、有望な試作リン酸肥料を原料とする複合肥料を製造し施肥効果を検証する。また、施肥技術の改善のための試験を開始する。研究題目3、4については、各試験を継続して行うこととしている。このように順調に研究は進捗しており、成果は予定通り達成すると考えている。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

プロジェクト初年度に指摘されてきた INERA-JIRCAS 間のコミュニケーション不足については、昨年より、情報共有の円滑化を図るために、参画者全員のメーリングリストを作成し、利用を開始した。これまでプロジェクトマネージャーの対応の遅さが指摘されていたが、3月より新プロジェクトマネージャーに交代となり、今後一層緊密なコミュニケーションを図っていくことが期待される。また、これまで、プロジェクト参画者全員が集い、研究成果を議論する場がなかったことから、2019年6月にワークショップを開催し、研究成果を発表しあう機会を持つことで合意した。

今年度末時点において、プロジェクトの政府登録ができていない。C/P 機関はプロジェクトの政府登録を手続き中である。プロジェクトドキュメントがまだ提出されていないことが原因だったことから、JICA、JIRCAS、INERA で対策チームを設置し、書類を完備し現在手続き中である。本登録が承認され、C/P ファンド申請が承認されることにより、始めて、C/P 機関のより自律的活動（予算管理、試験地視察、自主的会合など）が行われるものと期待される。

(2) 研究題目1：「在来リン鉱石を利用した地域適合型複合肥料の開発」

JIRCAS 研究グループ（リーダー：中村智史）

太平洋セメント研究グループ（リーダー：今井敏夫）

リン酸肥料を製造するための2種類の装置が完成した。部分酸性化リン鉱石の製造のための攪拌装置をブルキナファソへ送り、C/P 研究者とともに試験運転を行うことができた。一方、焼成リン製造装置（キルン）については、輸送準備が遅れたが、ようやく輸送の目途がつき、5月に出向する見込みである。

初年度には、現地研究者と e-mail などによるコミュニケーションが主体となっており、現地研究者のレスポンスが遅い問題があったが、日本への短期招聘により信頼関係が醸成され、コミュニケーションが円滑に進むようになった。

(3) 研究題目2：「主要作物への施肥効果の評価と施肥技術の改善と普及」

JIRCAS 研究グループ（リーダー：南雲不二男）

初年度には研究題目2の責任者がカンボワンセにおり、活動を実施してきた支所と離れているため、意思疎通が十分図れない場合があった。そこでより研究内容に理解を深めてもらうために、本年度には JIRCAS 側出張者とともに、サリア支所、ファラコバ支所に同行して共同で視察を行った。C/P ファンドを未だ得られていない状況では、引き続きこうした対応を行っていく。

INERA ファダングルマ支所においては、研究題目2-1(a)として、「畑作物における天水栽培施肥効果の評価」を今年度より開始し、次年度も実施予定である。しかしながら、治安の悪化により、日本人研究者の移動が制限されており、カウンターパートと緊密な連絡を取りながら研究を継続している。特に、気象観測と土壌水分モニタリングについては、設置作業などを説明し、C/P に実施してもらっ

た。また、ファダングルマ支所では、研究を執行する研究助手などの人材が少ないことから、研究助手配置の要請があった。そこで次年度には、海外請負業務契約により助手をプロジェクト対応として配置することを決定した。

(4) 研究題目3：「リン鉱石の直接利用技術の開発」

JIRCAS 研究グループ（リーダー：中村智史）

イネ栽培試験をサリア支所近郊の農家圃場で実施しているが、研究題目2の試験も始まり、試験数が増えてきている。次年度にはさらに試験数が増えることから、その調整が必要である。

(5) 研究題目4：「持続的作物生産に向けたリン鉱石の総合的利用法の提案」

JIRCAS 研究グループ（リーダー：内田諭）

東京大学研究グループ（リーダー：岡田謙介）

プロジェクトの開始時においては、相手側グループリーダーとの間での連絡や情報共有に時間がかかるといった面があったが、その後、直接面会して雑談を含めた意見交換を行ううちに、レスポンスも早くなり、コミュニケーションが円滑に行えるようになった。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

活動の2年度であるため、研究成果の社会還元はない。

(2) 社会実装に向けた取り組み

プロジェクトの研究成果を社会実装につなげるために、当国で肥料工場建設のステークホルダーであるリン酸利用公社と国産肥料工場建設計画検討委員会を年2回開催することで合意した（第1回目は6月12日を予定）。本委員会が肥料工場建設計画にプロジェクトの成果を反映する仕組みとなることが期待される。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

在ブルキナファソ日本国大使館は、2月13-14日にブルキナファソ西部地区においてプレスツアーを実施した。その際、当プロジェクトがINERA-ファラコバ支所で実施している試験の概要を同研究所およびJIRCASの研究員が紹介した。本プレスツアーには多くの現地取材陣が同行し、RTB（国営テレビ）、シドワヤ紙（政府系）、ブルキナ24（オンライン）、コティディアン紙（民間紙）の各メディアによって紹介された。ファラコバ支所においては、畑作物における天水栽培施肥効果の評価（題目2-1(a)）、リン鉱石利用QTL（題目3-2）、アズラ利用（題目3-5）などを実施中である。今回のプレスツアーにおいては、特にアズラの増殖し有機質肥料を製造するための試験や新設した網室におけるイネ品種試験の概要を紹介した。本プレスツアーにより、当プロジェクトの存在が広く周知され日本のプレゼンス向上に貢献できた。



アゾラ増殖試験を説明する INERA 研究員



新設した網室でのイネの品種試験の目的を説明

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

| 年度 | 著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ | DOIコード | 国内誌/ 国際誌の別 | 発表済 /in press /acceptedの別 | 特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。) |
|-----|--|--------|---------------|---------------------------------|--|
| H30 | Satoshi Nakamura, Takashi Kanda, Toshio Imai, Jacques Sawadogo, Fujio Nagumo. Solubility and application effects of African low-grade phosphate rock calcinated with potassium carbonate, Soil Science and Plant Nutrition, 2019 | | 国際誌 | accepted | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

論文数 1 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 1 件
 公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

| 年度 | 著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ | DOIコード | 国内誌/ 国際誌の別 | 発表済 /in press /acceptedの別 | 特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。) |
|-----|--|---------------------------|---------------|---------------------------------|--|
| H28 | 中村智史・今井敏夫・鳥山和伸・飛田 哲・松永亮一・福田モントラウイー・南雲不二男. プルキナファソ産低品位リン鉱石焼成物の施用がトウモロコシおよび水稲の生育におよぼす影響, 日本土壤肥料学雑誌, 2016, 87(5) 338-347. | | 国内誌 | 発表済 | |
| H28 | Satoshi Nakamura, Monrawee Fukuda, Roland N. Issaka Israel K. Dzomeku, Moro M. Buri, Vincent K. Avomyo, Eric O. Adjei, Joseph A. Awuni, Satoshi Tobita, Residual effects of direct application of Burkina Faso phosphate rock on rice cultivation in Ghana, Nutrient Cycling in Agroecosystems, 106, 47-59 | 10.1007/s10705-016-9788-8 | 国際誌 | 発表済 | |
| H29 | 中村智史 アフリカ産低品位リン鉱石の活用 -アフリカ肥料革命の実現に向けて-, 熱帯農業研究 2017 10(1) 27-29. | 10.11248/nettai.10.27 | 国内誌 | 発表済 | |
| | | | | | |
| | | | | | |

論文数 3 件
 うち国内誌 2 件
 うち国際誌 1 件
 公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

| 年度 | 著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年 | | 出版物の種類 | 発表済 /in press /acceptedの別 | 特記事項 |
|----|-------------------------|--|--------|---------------------------------|------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

| 年度 | 著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ | | 出版物の種類 | 発表済 /in press /acceptedの別 | 特記事項 |
|----|------------------------------------|--|--------|---------------------------------|------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

| 年度 | 研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数 | 開発したテキスト・マニュアル類 | 特記事項 |
|----|------------------------------------|-----------------|------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

| 年度 | 国内/ 国際の別 | 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等 | 招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別 |
|-----|-------------|--|----------------------------|
| H28 | 国際学会 | Nakamura, S. (JIRCAS), Simpore, S.・Barro, A.・Dambinga, J. (INERA), Fukuda, M.・Nagumo, F. (JIRCAS). Effect of local phosphate rock direct application on rain-fed lowland rice cultivation in Burkina Faso. 7th International Conference of African Soil Science Society, Ouagadougou. June | ポスター発表 |
| H30 | 国際学会 | Satoshi Nakamura (JIRCAS), Kanda T.(JIRCAS), Imai T.(Taiheiy Cement),Jacques S.(INERA), Nagumo F(JIRCAS), Solubility improvement of African local phosphate rock through calcination with potassium carbonate, 6th Symposium on Phosphorus in Soils and Plants, Ruben, Belgium, September 2018 | ポスター発表 |
| | | | |
| | | | |

招待講演 0 件
口頭発表 0 件
ポスター発表 2 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

| 年度 | 国内/ 国際の別 | 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等 | 招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別 |
|-----|-------------|---|----------------------------|
| H28 | 国内学会 | 中村智史(JIRCAS)、今井敏夫(太平洋セメント)、福田モンラウイー・鳥山和伸・南雲不二男(JIRCAS)、ブルキナファソ産リン鉱石の焼成による可溶性向上と施肥反応第二報 カリウム塩配合条件による焼成の検討、日本土壌肥料学会、佐賀大学、9月 | 口頭発表 |
| H28 | 国内学会 | 中村智史(JIRCAS) アフリカ産低品位リン鉱石の活用 -アフリカ肥料革命の実現に向けて- (招待講演)、日本熱帯農業学会、鹿児島大学、10月 | 招待講演 |
| H30 | 国内学会 | 内田諭(JIRCAS)、開発途上地域を対象とするシステム農学研究ツールとしての衛星情報の活用、システム農学会2018年度春季大会、鳥取、2018年5月 | 招待講演 |
| H30 | 国内学会 | 南雲不二男(以下全てJIRCAS)、小林慎太郎、中村智史、神田隆志、近藤勝彦、福田モンラウイー、岩崎真也、ブルキナファソ産リン鉱石を用いた施肥栽培促進モデル構築、日本砂丘学会第64回全国大会シンポジウム「SATREPSによる乾燥地農業の課題解決への取り組み」、つくば 2018年8月 | 招待講演 |
| H30 | 国内学会 | 神田隆志(JIRCAS)・中村智史(JIRCAS)・今井敏夫(太平洋セメント)・南雲不二男(JIRCAS)、ブルキナファソ産低品位リン鉱石を用いた部分的酸性化リン鉱石の製造とその施肥効果、日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会、藤沢 | 口頭発表 |
| | | | |
| | | | |

招待講演 3 件
口頭発表 2 件
ポスター発表 0 件
件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

| | 出願番号 | 出願日 | 発明の名称 | 出願人 | 知的財産権の種類、出願国等 | 相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無 | 登録番号 (未登録は空欄) | 登録日 (未登録は空欄) | 出願特許の状況 | 関連する論文のDOI | 発明者 | 発明者所属機関 | 関連する外国出願※ |
|------|------|-----|-------|-----|---------------|-------------------------|------------------|-----------------|---------|------------|-----|---------|-----------|
| No.1 | | | | | | | | | | | | | |
| No.2 | | | | | | | | | | | | | |
| No.3 | | | | | | | | | | | | | |

国内特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

| | 出願番号 | 出願日 | 発明の名称 | 出願人 | 知的財産権の種類、出願国等 | 相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無 | 登録番号 (未登録は空欄) | 登録日 (未登録は空欄) | 出願特許の状況 | 関連する論文のDOI | 発明者 | 発明者所属機関 | 関連する国内出願※ |
|------|------|-----|-------|-----|---------------|-------------------------|------------------|-----------------|---------|------------|-----|---------|-----------|
| No.1 | | | | | | | | | | | | | |
| No.2 | | | | | | | | | | | | | |
| No.3 | | | | | | | | | | | | | |

外国特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

| 年度 | 受賞日 | 賞の名称 | 業績名等 (「〇〇の開発」など) | 受賞者 | 主催団体 | プロジェクトとの関係 (選択) | 特記事項 |
|----|-----|------|---------------------|-----|------|--------------------|------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

0 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

| 年度 | 掲載日 | 掲載媒体名 | タイトル/見出し等 | 掲載面 | プロジェクトとの関係 (選択) | 特記事項 |
|--------|-----------|----------------|--|----------|--------------------|------|
| 2018年度 | 2019/2/13 | RTB (国営テレビ) | 在ブルキナファソ日本国大使館による保健, 農業, 衛生などの分野のプロジェクトサイトを訪れる開発協力プレスツアー | 20時のニュース | 3.一部当課題研究の成果が含まれる | |
| 2018年度 | 2019/2/18 | シドワヤ紙 (新聞) | ブルキナファソ国民のための日本の開発協力 | 16ページ目 | 3.一部当課題研究の成果が含まれる | |
| 2018年度 | 2019/2/18 | ブルキナ24 (オンライン) | ブルキナファソ西部における日本の影響力。土のう工法による道の修復及びゴマと肥料の開発 | | 3.一部当課題研究の成果が含まれる | |

3 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

| 年度 | 開催日 | 名称 | 場所 (開催国) | 参加人数 (相手国からの招聘者数) | 公開/ 非公開の別 | 概要 |
|--------|----------|--|-----------------|----------------------|--------------|---|
| 2017年度 | 6月12日 | Kick-off meeting for “Project on Establishment of fertilizing crop cultivation promotion model using Burkina Faso phosphate rocks” | INERA (ブルキナファソ) | 28名 | 公開 | プロジェクト関係者を広く参集するとともに、肥料の流通・利用に関連する団体、肥料会社、IFDC-ブルキナ代表、農業省代表も参加。事業が開始されることを広報した。 |
| 2017年度 | 2月9日 | Project management meeting for “Project on Establishment of fertilizing crop cultivation promotion model using Burkina Faso phosphate rocks” | INERA (ブルキナファソ) | 10名 | 非公開 | SATREPSブルキナファソにおける運営体制強化を目的として、プロジェクト運営会議を開催した。 |
| 2018年度 | 5月29日 | Technical Coordinating Committee for “Project on Establishment of fertilizing crop cultivation promotion model using Burkina Faso phosphate rocks” | INERA (ブルキナファソ) | 20名 | 非公開 | 昨年度の活動報告、今年度の活動計画、その他の懸案事項について話し合うことを目的としてTCCを開催した。 |
| 2018年度 | | Technical Coordinating Committee for “Project on Establishment of fertilizing crop cultivation promotion model using Burkina Faso phosphate rocks” | INERA (ブルキナファソ) | 21名 | 非公開 | 今年度の活動内容を総括し、懸案事項について話し合い、合意を得ることを目的として、定例の技術調整会議を開催した |
| 2018年度 | 2019.2.8 | Application of Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS) Technologies to Manage Agricultural Resources | ワガドゥグ(ブルキナファソ) | 12人 | 非公開 | INERA(CP機関)研究者に対し、資源管理のためリモートセンシング/地理情報解析技術が有用に機能することを紹介 |

| | | | | | | |
|--------|-----------|---|----------------|-----|-----|---|
| 2018年度 | 2019.2.19 | Introduction of Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS) Technologies to Manage Agricultural Resources | ワガドゥグ(ブルキナファソ) | 60人 | 非公開 | ワガドゥグ大学IGEDD(環境及び持続的開発工学研究所)において、大学院生及び関係教員を対象に、リモートセンシング/地理情報解析技術の農業分野への応用について解説 |
|--------|-----------|---|----------------|-----|-----|---|

6件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

| 年度 | 開催日 | 議題 | 出席人数 | 概要 |
|----|-----|----|------|----|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

0件

JST成果目標シート

| | |
|------------------|------------------------------------|
| 研究課題名 | ブルキナファソ産リン鉱石を用いた施肥栽培促進モデルの構築 |
| 研究代表者名 (所属機関) | 南雲 不二男 (国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター) |
| 研究期間 | (平成28年6月1日～平成34年3月31日) |
| 相手国名／主要相手国研究機関 | ブルキナファソ／環境農業研究所 |

付随的成果

| | |
|-------------------------------|--|
| 日本政府、社会、産業への貢献 | <ul style="list-style-type: none"> ・日本企業による成果の事業化 ・国際的な肥料安全保障への寄与 |
| 科学技術の発展 | <ul style="list-style-type: none"> ・低品位リン鉱石を原料とするリン肥料製造法の確立 ・イネによるリン鉱石溶解・吸収に関わるQTLの解明 ・作物成長モデルの適用による天水畑作栽培のシミュレーション |
| 知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等 | <ul style="list-style-type: none"> ・ブルキナファソ産リン鉱石の最適加工法 ・アフリカ在来リン鉱石インベントリ ・リン鉱石の溶解・吸収を最大化するイネ系統 |
| 世界で活躍できる日本人人材の育成 | <ul style="list-style-type: none"> ・土壌肥料・熱帯作物分野における国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成 |
| 技術及び人的ネットワークの構築 | <ul style="list-style-type: none"> ・日本肥料メーカーと現地肥料工場の連携 ・共同研究の長期的継続 |
| 成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど) | <ul style="list-style-type: none"> ・経済的でクリーンな国産リン肥料工場の提案 ・施肥栽培技術マニュアル ・リン鉱石の直接利用技術マニュアル ・需要拡大のためのソルガムの食品加工原料としての活用法の提案 ・リン鉱石の総合的利用方法の提案 ・査読付き論文(15件以上) |

上位目標

国産リン肥料が国内で製造され、安価に農家に提供されることにより農業生産性が向上し、安定的食料自給に寄与する。

提案内容に基づく援助・投資スキームへの働きかけ

プロジェクト目標

農業・水整備省及び関連機関との協議のもと、ブルキナファソ産リン鉱石を活用した実現可能性の高い施肥栽培促進モデル(肥料製造法、施肥法、直接施用法)が構築される。

