

氏 名	アリエフ ハルトノ ARIEF HARTONO
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1577 号
学位授与の日付	平 成 18 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Behaviour of applied phosphorus in acid upland soils of Indonesia (インドネシア酸性畑地土壌における施用リンの挙動)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 崎 隆 教 授 谷 誠 助教授 縄 田 栄 治

論 文 内 容 の 要 旨

インドネシアでは、畑地の多くがジャワ、スマトラ、カリマンタンに分布する。多くはリン肥沃度の低い酸性土壌により占められており、適切なリン施肥を可能にするための基礎情報が必要とされている。本研究では、代表的な当該土壌を用いて、リンの吸着、形態変化、放出様式や、これらを規定する土壌の理化学性を明らかにすることを目的としたものであり、次の各章からなっている。

第1章は序論であり、この研究の背景を明示するとともに、本論文で取り扱う課題および目的について記述している。

第2章では、研究対象地域の概要を述べるとともに、調査対象となる土壌断面を詳細に記述している。

第3章では、次章以降でリンの挙動を検討する供試土壌30点の理化学性、鉱物学的特性を記述するとともに、多変量解析(主成分分析)を用いて土壌特性値を3つの異なる主成分に要約した上で、各土壌試料の主成分得点を算出した。本研究の試料群を特徴づける主成分として抽出されたのは、土壌の陽イオン交換容量、粘土含量、各種酸化物含量と高い相関を示す酸化物関連成分、交換性アルミニウムや1.4 nm 粘土鉱物(膨潤性2:1型鉱物)と相関を示す酸性・1.4 nm 鉱物関連成分、有機炭素含量および有機金属複合体型鉄と相関を示す有機物関連成分である。ここで得られた各主成分得点は、次章以降リンの挙動を検討する際の総合土壌特性値として用いられている。

第4章では、土壌のリン吸脱着特性を検討している。土壌懸濁液に異なる量のリン酸イオンを添加し、一定時間振盪後に得られた平衡溶液中の溶存リン酸イオン濃度と土壌吸着リン酸量の関係を Langmuir 吸着等温式によって近似し、リン最大吸着量(b)および結合エネルギー(K)を求めた。土壌の母材別にみた場合、火山灰、安山岩等を母材とする土壌においては、花崗岩や堆積岩を母材とする土壌と比べて、bおよびKのいずれもが大きくなる傾向が示された。また段階式重回帰分析を行った結果、酸化物関連成分がリン最大吸着量および結合エネルギーに対し正に寄与していることがわかった。さらにリン酸を吸着させた土壌を用いてリンの脱着実験を行った結果、脱着したリンは吸着量の5%未満と低く、不可逆吸着の可能性が示唆された。

第5章では、第4章で得られた結果をふまえて、吸着リンの難溶性画分への移行すなわち形態変化が検討されている。表層土壌15点にリン酸を吸着させ、1, 7, 30, 90日間インキュベーションを行った後、リンの連続抽出を行った。すなわち、陰イオン交換樹脂膜による抽出(resin-P; 植物に最も利用されやすい画分のリンを評価)、NaHCO₃抽出(NaHCO₃-P; 比較的利用されやすい画分)、NaOH抽出(NaOH-P; 土壌に強く吸着され、植物に利用されにくい画分)、HCl抽出(HCl-P; 難溶性画分)および非抽出画分(residual-P)への分画・形態評価である。NaHCO₃-P, NaOH-Pは、さらに無機態画分(Pi)と有機態画分(Po)へと分画された。リンを添加しない対照試料においては、全リンの過半がresidual-Pであり、本実験に供された土壌試料のリン供給能は一般に低いものと判断された。しかしながらリン添加および90日間のインキュベーション後であっても、添加されたリンの平均90%は各抽出画分から回収された。第3章での多変量解析において、酸化物関連成分得点が高かった試料群(Group 1)と低かった試料群(Group 2)について比較してみた結果、1) resin-P

の減少（すなわち他画分への形態変化）速度が Group 1 で大きいこと、2）Group 1 では、形態変化後のリンのほとんどが NaOH-Pi へ移行すること、3）Group 2 では、NaOH-Pi に匹敵する量のリンが NaHCO_3 -Pi へ移行すること、4）有機態画分（ NaHCO_3 -Po, NaOH-Po）へはほとんど移行しないことが明らかとなった。酸化物関連成分の得点が、90日インキュベーション試料の NaHCO_3 -Pi 含量と負の相関を、また NaOH-Pi と正の相関を示すことと併せて、添加リンの形態変化過程を以下のように推論した。すなわち、酸化物表面に富んだ土壌においては、添加されたリンは速やかに吸着され NaOH-Pi として安定化する。一方、限られた量の酸化物表面しか持たない土壌では、吸着されきれずに残存したリンが NaHCO_3 -Pi として評価される。

第6章では、インキュベーション中に形態変化を起こしてより難溶性画分へと移行したリンが、陰イオン交換樹脂膜処理を繰り返すことによって、どのように放出されるかについて検討されている。第3章の結果に基づき異なる理化学性を持つ土壌6点を試料として用いた。湿土壌にリンを添加し90日間静置した後、陰イオン交換樹脂膜処理を8回繰り返し、リン放出過程を検討するとともに、処理後の土壌に残存したリンの形態評価（第5章の連続抽出法による）を行い、未処理対照試料との比較から放出リンの給源を検討した。その結果、いずれの試料においても、陰イオン交換樹脂膜処理を繰り返す際、相当量のより難溶性のリンが抽出されてくることがわかった。しかしながらこれら可抽出化されたリンの放出源は試料により異なった。酸化物関連成分得点が低くリン添加およびインキュベーション処理後に添加リンの相当量が NaHCO_3 -Pi へ移行した試料においては、この NaHCO_3 -Pi が主要なリン供給源であったのに対し、酸化物関連成分得点が高く添加リンのほとんどが NaOH-Pi へ移行した試料では、わずかな NaHCO_3 -Pi 枯渇後に NaOH-Pi が溶出してくることが明らかとなった。

第7章は本研究の成果のまとめと今後の更なる発展の方向について述べられている。さらに本研究で得られた知見に基づいた、実際の営農管理への提言も盛り込まれている。

論文審査の結果の要旨

これまで東南アジア湿潤熱帯地域における農業生産の中心が低地水田における稲作であったことはよく知られている。一方、近年の人口増加あるいは商品経済へ向けた農業の浸透が、本地域における畑作農業の相対的な重要性を急速に高めている。このような状況で顕在化してきたのが、広く分布する酸性土壌の問題であり、また土壌の低リン肥沃度の問題である。これらの問題群は、すでに温帯の先進諸国が経験したものであるが、土壌の性質が大きく異なる熱帯地域では、まだそれほど知見が蓄積されていない。さらにインドネシアは多数の島々からなり、土壌母材ひいては土壌の性質がきわめて多様であるため、それに対応したリン施肥技術の体系化が必要とされている。このような問題意識のもとで、本論文では、多様なインドネシアの酸性畑地土壌における施用リンの挙動を、化学的、速度論的解析によって明らかにしようとしたものであり、評価できる主な点は以下の通りである。

1. 多様なインドネシア諸地域の土壌の理化学性が、主として酸化物関連の成分、酸性関連の成分、有機物関連の成分に要約できることを明らかにした上で、土壌中におけるリンの挙動が、主として酸化物関連の成分によって規定されていることを示した。すなわち酸化物関連の成分が強いほどリンはより多量に、より強く、またより難溶性の画分として吸着されることを明らかにした。なお酸化物関連の成分は土壌母材の影響を強く受けるため、例えば火山性母材由来で比較的酸化物に富んだジャワ島土壌と、堆積岩由来で酸化物含量の低いカリマンタン土壌におけるリンの挙動の違いが明瞭となった。
2. しかしながら日本など温帯地域に分布する土壌と比べると、本論文の調査土壌における最大リン吸着量は小さく、また難溶性リンも易溶性リンの枯渇に従って放出され得ることを示した。このことは、熱帯地域土壌における低リン肥沃度を施肥によって克服することが、場合によっては温帯地域と比べて容易である可能性を示している。この点は、従来の研究では主張されてこなかった新たな知見である。
3. これらの知見を得るに際して、陰イオン交換樹脂膜による連続抽出を行い、その結果を速度論的に解析するという手法を適用した。これにより、従来の逐次抽出によるリンの分画では捉えられないような、難溶性リンの放出パターンを定量化することに成功した点が評価できる。

4. 最後に、これらの知見に基づいて実際の営農管理におけるリン施肥に関する指針をまとめている。この点については、今後のデータベースの充実を待って随時改善していく必要があるが、これまでリン施肥に関してごく一般的な指針しか持たなかったインドネシア農業において、その土壌資源に応じた肥培管理の多様性を示した点で評価できる。

以上のように、本論文はインドネシアの酸性畑地土壌におけるリン動態（吸着，形態変化，放出）ならびにそれを制御する土壌の理化学的特性に関して新たな知見を与えると同時に、同土壌を食糧生産の場として持続的に利用し保全するために有用と考えられる具体的な営農管理法を提案するという、基礎ならびに応用両面において意義深い結果を得ており、土壌学、農学ならびに環境科学の発展に寄与するところが大きい。

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、平成18年5月29日、論文ならびにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。