

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580345

研究課題名(和文) 黒ボク土に蓄積した未利用リン資源の量的評価とリン資源の循環型活用システムの構築

研究課題名(英文) Estimation of unused phosphorus resources accumulated in Andosols and the development of effective recycle system of phosphorus

研究代表者

立石 貴浩 (Tateishi, Takahiro)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：00359499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、黒ボク土に蓄積されているリン成分の中で、植物や微生物により潜在的に利用可能なリン画分(PAP)の存在を指摘し、土壤微生物の基質誘導呼吸を利用したPAPの定量法を検討した。様々な立地にある黒ボク土中のPAPおよびその他のリン成分の量的評価を行い、各種黒ボク土の未利用リン資源の特徴を明らかにした。さらに、黒ボク土に蓄積した未利用のリン成分の草本植物による回収とその再利用について検討した。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of a specific phosphorus fraction as unused resources accumulated in Andosols were investigated. Potentially available phosphorus (PAP) in Andosols was estimated by substrate-induced respiration method. Amounts of PAP in various soils were compared with those of other phosphorus components. The results indicated various availability of phosphorus resources in the soils tested. Recovery and recycle of phosphorus resources accumulated in Andosols was investigated by cultivation of some herbaceous plants.

研究分野：土壤生化学

キーワード：黒ボク土 未利用リン資源 物質循環 土壤微生物

### 1. 研究開始当初の背景

リン肥料は、年間約 70 万トン前後のリン鉱石を海外から全面的に輸入し、これを加工して製造している。ここ数年、資源ナショナリズムの高まりにより、リン鉱石の価格の急騰に伴い、リン肥料の価格も上昇した。農水省は肥料原料の安定確保のため、合理的な施肥体系への転換を推進している。

ところで、日本に多く分布している黒ボク土はリンを強く吸着する性質を持っている。そのため、植物が利用できるリン画分(可給態リン)の含有量は非常に少なく、リン欠乏による作物の生育障害が発生していた。これを改善するため、1950 年代以降多くの化成肥料が施用されたが、その結果、近年ではリンは土壤に過剰に蓄積することとなった。現在、土壤に蓄積したリン資源の回収と有効活用が、非常に重要な課題となっている。

著者らは、可給態リンが非常に少ない黒ボク土上に生息する植物の養分獲得様式について調査・分析を行い、一部の草本植物は黒ボク土の腐植に含まれる有機態リンの一部をリン源として利用していることを指摘した。このリン成分は、植物・微生物由来の酵素や微生物の作用を介することで植物が利用できるようになるリン画分と考えられるが、このリン成分は従来使用されている酸溶液の溶解性に基づく可給態リンの測定法では、測定することができない。そこで著者らは、酵素や微生物の働きを介することで植物が利用できるようになるリン画分の存在を想定し、これを潜在的に利用可能なリン画分(Potentially available phosphorus, PAP)と定義し、この分析法を検討すると同時に、黒ボク土に蓄積したこの様なリン画分の回収と利用について検討を進めてきた。

### 2. 研究の目的

本研究では、黒ボク土に蓄積されている各種リン成分の中で、植物にとって潜在的に利用可能なリン画分(PAP)の新たな定量法を確立し、その量的把握を行ったうえで、黒ボク土に蓄積した未利用のリン成分の植物による回収とその再利用に関する方策を検討することを目的とし、以下の実験を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1)調査地と土壤の採取

岩手県内の黒ボク土分布域の中で、可給態リンが欠乏した自然草地区 5 カ所と森林区 3 カ所、リン肥料が施用された施肥草地区 5 カ所と施肥農地区 14 カ所より土壤を採取した。草地土壤は各群落内でルートマットを含む土壤表層 0~5 cm、森林土壤では、 $A_0$  層を除去した土壤表層 0~5 cmを採取した。土壤は、ふるい(口径 2 mm)を通して細土を調製し、分析まで 4 週で保存した。細土の一部は風乾し、室温で保存した。

#### (2)土壤の化学的および生化学的分析

供試土壤の全炭素・全窒素含量は、乾式灰化法、全リン含有量は湿式灰化法、可給態リンは酢酸抽出法、有機態リンは焙焼法、酸性ホスファターゼ(以下 ACP)活性は p-ニトロフェノール法により分析した。

#### (3)基質誘導呼吸に基づいた PAP の測定

供試する新鮮土壤はあらかじめ暗所 25 度で 3 日間前培養を行った。無添加区では、この土壤にタルクのみを添加し十分に攪拌したあと、開口部をシーリングした。一方、炭素源と窒素源を添加した炭素・窒素添加区(以下 CN 区)では、土壤に所定の濃度のグルコース、塩化アンモニウム、およびタルクを添加した後、無添加区と同様の処理を行った。CN 区にリンの内部標準としてフィチン酸を添加する実験(以下 CNP 区)では、CN 区に添加した成分に加えて、有機態リンとしてフィチン酸を最終濃度が 0~0.25 mg P/g 乾土になるよう添加し、その後は無添加区と同様の処理を行った。以上の処理を行ったのちに、土壤を暗所 25 度で 3 日間培養し、培養期間中に土壤から発生した二酸化炭素の量を、ガスクロマトグラフを用いて測定した。

#### (4)黒ボク土を培土とした草本植物の栽培

黒ボク土を充填したナイロンメッシュバッグを含む培土での栽培試験

植物による黒ボク土中に含まれる有機態リンの利用を分析するため、図 1 に示す栽培試験を実施した。

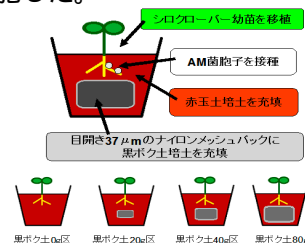


図 1 黒ボク土を充填したナイロンメッシュバッグを含む培土での栽培試験。

可給態リンが痕跡の市販黒ボク土(黒土)をナイロンメッシュバッグ(目開き 37 μm)に 0~80g 充填し、市販赤玉土と混合した。これを培土として、シロクローバーの幼苗を移植し、さらに共生微生物であるアーバスキュラー菌根菌(以下 AM 菌と略す) *Gigaspora margarita* MAFF520054 の胞子を同時に接種した。これを 3 ヶ月間人工気象器内で栽培し、栽培終了時に、地上部植物体、根、および土壤を回収した。回収した試料は、リンの分析に使用した。

可給態リン量の異なる黒ボク土を用いた各種草本植物の栽培

供試土壤として、可給態リンが痕跡の黒ボク土および可給態リンを含む黒ボク土を使用した。前者は、岩手県北部の自然草地、後者は岩手大学内試験草地より採取したものである。草本植物として、シロクローバー、ソルガム、ハイオーツ、チモシー、オーチャ

ードの5種を使用した。

前者の可給態リンが痕跡の黒ボク土を用いた草本植物の栽培試験では、土壌を予め100℃、1時間の加熱処理を行い、土壌中に存在する土着性のAM菌を死滅させた。この土壌に、窒素・リン酸・カリウムの各肥料を加え、無添加区、窒素・カリウム添加区、窒素・リン酸・カリウム添加区の3処理区を作成した。さらに、これら各処理区にAM菌接種資材(セラキンコン、セントラルガラス社製)を添加した処理区も併せて作成した。これら土壌を充填したポットに、前述の草本植物の種子を播種し、7~9月の間、圃場において栽培した。

後者の可給態リンを含む黒ボク土を用いた草本植物の栽培試験では、加熱処理や肥料の添加は行わず、供試土壌をそのままポットに充填し、各草本植物の種子を播種した。各植物は、8~11月の間、圃場において栽培した。

両黒ボク土で栽培した草本植物の地上部は栽培終了時に回収し、105℃で乾燥後、乾燥重量およびリン含量の測定に使用した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 各種黒ボク土に含まれるリン成分とリンの可給態化との関係

黒ボク土はリン酸を特異的に吸着するため、施肥管理を行わない系では可給態リンが欠乏する。しかし、このような土壌でも一部の植物は、黒ボク土中の何らかのリン画分を利用して生育する事ができる。そこで施肥管理を行っていない自然草地区および森林区と、施肥管理が行われている施肥草地区の黒ボク土を用いて、全リン、可給態リン、有機態リン、全炭素、およびACP活性を測定することで、可給態リン以外の植物に利用可能なリン成分の特定を試みた。

供試した黒ボク土中の全炭素含量と焙焼法により分析した有機態リン含有量を比較したところ、自然草地区の土壌では両者の間に有意な相関が認められたが、施肥草地区では、一定の傾向は見られなかった。

黒ボク土中の全炭素含量は、土壌中の腐植量を反映しており、この成分の中には有機態のリン成分が存在する可能性がある。そこで、黒ボク土中の全リン含有量と有機態リン含有量を比較したところ、自然草地区の黒ボク土で有意な相関が認められた。以上の結果は、施肥管理されていない黒ボク土に含まれるリンの多くは有機態の形で存在していることを示唆している。

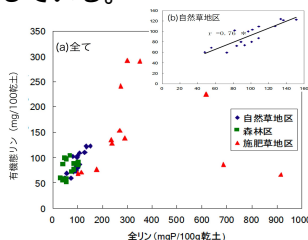


図2 供試黒ボク土中の全リン含有量と有機態リン含有量との関係。(a)すべての土壌、

##### (b)自然草地区土壌の結果のみを表示。

次に、黒ボク土中の有機態リンの可給態化に関与すると思われるACP活性と可給態リンとの関係を調べたところ、ACP活性は、可給態リンが非常に少ない黒ボク土において、大きなばらつきはあるものの、高くなる傾向にあった。

さらに、黒ボク土中の全リン含有量に対する有機態リンの占める割合とACP活性との関係を調べたところ、有機態リン含有量が高いほどACP活性は上昇する傾向にあった(図3)。このことは、可給態リンの少ない黒ボク土壌において、植物や微生物が積極的にACPを分泌し、有機態リンをACPにより無機化し、生成した無機態リンを利用していることを示唆している。一方、施肥草地区では可給態リンが一定量存在しており、植物はリンを容易に調達できるため、ACP活性への依存度は小さかったものと考えられた。

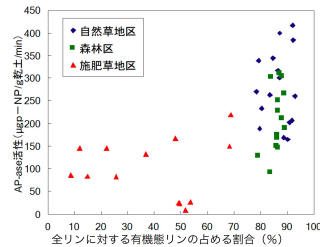


図3 供試黒ボク土における全リン含有量に対する有機態リンの占める割合と酸性ホスファターゼ活性との関係。(図中のAP-aseは酸性ホスファターゼ活性を示す)

##### (2) 黒ボク土中に含まれる有機態リンの植物による利用の可能性

前項において、可給態リンが痕跡の黒ボク土において、植物は有機態リンをACPにより無機化し、これをリン源として調達している可能性が指摘されたので、可給態リンが痕跡である黒ボク土を用いて、ポット栽培試験を行った。

この方法では、ナイロンメッシュバッグに可給態リンが痕跡の黒ボク土の異なる量を充填することで、植物に利用可能なリン資源の量を変化させることができ、また目開きが37μmのメッシュサイズを使用することで、AM菌菌糸はバッグ内の黒ボク土にアクセスできるが、植物根はアクセスできないというリン資源区画を設定することができた。

栽培の結果、植物に感染し伸長したAM菌菌糸や植物根がアクセス可能な範囲にある黒ボク土中の有機態リン含有量(以下、アクセス可能な有機態リン)と植物の地上部乾燥重との間(図4)、およびアクセス可能な有機態リンとポットあたりの積算したACP活性の間で有意な相関が認められた。この結果より、AM菌が感染した植物は、根より伸長したAM菌菌糸は、バッグ内の黒ボク土中の有機態リンにアクセスできること、分泌されたACPにより有機態リンが無機化され、植物はこの無機態リンを、AM菌菌糸を介して吸収している

可能性が示唆された。

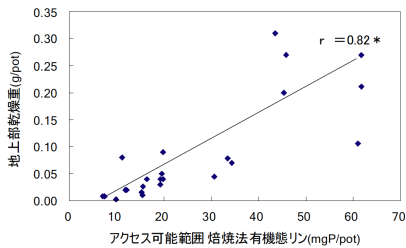


図 4 ポット内の黒ボク土へのアクセス可能な部分に含まれる有機態リン量と地上部植物体の成長との関係。

### (3) 土壌の基質誘導呼吸に基づいた PAP の評価

前項で、可給態リンが痕跡の黒ボク土において、有機態リンは植物のリンの重要な供給源である可能性が強く指摘された。しかし、有機態リンのなかで、どの程度が植物に利用されるのか、その量的評価には至っていない。そこで、本項では、酵素や微生物の働きを介することで植物が利用できるようになるリン画分の存在を想定し、これを潜在的に利用可能なリン画分 (PAP) と定義し、その測定法を検討した。本研究では、土壌中に生息する微生物の現存量を測定する方法である基質誘導呼吸法を PAP 測定法に応用することとした。基質誘導呼吸とは、十分量の炭素源を土壌に添加した時、一時的に土壌からの CO<sub>2</sub> 発生量が増加する現象である。炭素源・窒素源を過剰に添加しリン律速の状態においた黒ボク土における基質誘導呼吸は、PAP の量や質を反映しているものと思われる。そこで、本項では、有機態リンを内部標準として黒ボク土に添加し、基質誘導呼吸の変化を分析することで、黒ボク土中に存在する PAP の量的評価を検討した。

様々な量のフィチン酸を有機態リンの内部標準として黒ボク土に添加し、さらに炭素源・窒素源を添加し培養した時の土壌の基質誘導呼吸を分析した(図5)。無添加区に比べ、CN 区では、大きく CO<sub>2</sub> 発生量が増加した。これは、CN 区では土壌中の微生物が添加された窒素源および炭素源として利用し、さらに黒ボク土中に存在する何らかのリン画分を利用したことを示している。

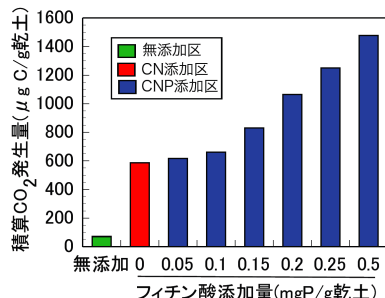


図 5 フィチン酸の添加が黒ボク土の基質誘導呼吸に及ぼす影響。

一方、CN 区にさらにフィチン酸を添加した CNP 区では、添加フィチン酸量が増加すると

CO<sub>2</sub> 発生量もまた増加した(図5)。CN 区と CNP 区との差に相当する CO<sub>2</sub> 発生量、すなわちフィチン酸添加による CO<sub>2</sub> 発生の増加量を y 軸に、土壌へのフィチン酸添加量を x 軸にプロットしたところ、図 6 に示すような相関関係および以下の回帰式が得られた。

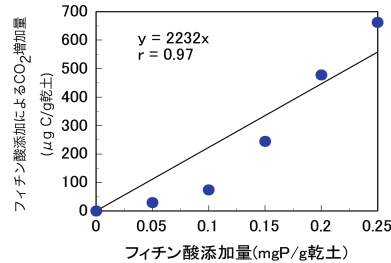


図 6 黒ボク土へのフィチン酸の添加に伴う CO<sub>2</sub> 発生の増加。

$$y = 2232x \quad (r = 0.97) \quad (1)$$

x, 黒ボク土へのフィチン酸添加量

y, フィチン酸添加による CO<sub>2</sub> 発生の増加量

フィチン酸添加に伴い増加した CO<sub>2</sub> 発生量は、添加したフィチン酸の量を反映しており、図 6 の回帰式の傾きは土壌に添加した単位有機態リンあたりの CO<sub>2</sub> 発生の増加量に該当する。

ところで、図 6 における「CN 区と無処理区の CO<sub>2</sub> 発生量の差」は、もともと土壌中に存在するリンを微生物が利用した結果発生した CO<sub>2</sub> 量 (CN 誘導 CO<sub>2</sub> 発生量) とみなすことができ、この値は、微生物にとって潜在的に利用可能なリンの量 (PAP) を反映していると考えられる。そこで、以下の項目では、各種黒ボク土で得られた CN 誘導 CO<sub>2</sub> 発生量を(1)式に代入することで PAP 量を算出した。

様々な地点で採取した黒ボク土を用いて分析した PAP は、自然草地区では 100g 乾土あたり 15~27 mg P、施肥管理区では 53~65 mg P、森林区では 38~83 mg P の範囲にあった。さらに、本項で得られた PAP 値と全リン含有量および有機態リンとの間の関係性について分析したところ、森林区の一部の土壌試料において、PAP の値が全リンまたは有機態リンの含有量を越えるものがあった。

PAP は有機態リンの一部であり、その量は全リン含有量や有機態リン含有量を超えることはないが、前述の結果は、これと矛盾していた。

そこで、PAP 測定の精度向上のため、図 6 で示した黒ボク土へのフィチン酸添加量の増加と添加に伴う CO<sub>2</sub> 発生の増加との関係性を、森林区、自然草地区、施肥管理区の各土壌を用いて分析した。

その結果、フィチン酸添加量と土壌からの CO<sub>2</sub> 発生量との間にいくつかのパターンが認められ、それぞれの黒ボク土で(1)式とは異なる回帰式が得られた。そのうち可給態リンが痕跡の森林区と自然草地区では、フィチン酸添加量と土壌からの CO<sub>2</sub> 発生量の間で有意な正の相関が認められた。そこで、森林区と

自然草地区の黒ボク土における PAP 量の評価には、それぞれの区の黒ボク土で得られた回帰式を利用し算出することにした。

一方、施肥管理区の黒ボク土では、両者の間に一定の傾向は認められなかった。さらに、CN 誘導 CO<sub>2</sub> 発生量に基づいた PAP 値を同土壌で求めたところ、全リンおよび有機態リンの含有量を大幅に上回る値を示した。これは、同区の黒ボク土に含まれる可給態リンを土壌微生物が優先して利用することで、有機態リンの利用に基づく呼吸量が反映できなかったためと考えられた。

以上の一連の分析により、CN 誘導呼吸に基づく PAP の測定法は、可給態リンが痕跡の黒ボク土において有効であること、また森林や草地といった立地条件が異なる場合、各々の黒ボク土に対応した回帰式を作成し、これを PAP 測定に利用することが望ましいことが明らかとなった。

#### (4) 管理が異なる地点の黒ボク土における PAP およびリン成分の量的評価

森林区、自然草地区、施肥草地区、施肥農地区の合計 27 地点より採取した黒ボク土を用いて、リン成分を中心と化学的特徴および PAP を含む生化学特徴を分析した。

各区での黒ボク土の可給態リンの平均値は、森林区および自然草地区で痕跡であったが、施肥農地区では、継続的なリン肥料の施用により高い値を示した(図7)。一方、有機態リンの平均値は、いずれの区の黒ボク土においても 100g 乾土あたり 50~100mg P の範囲にあった。

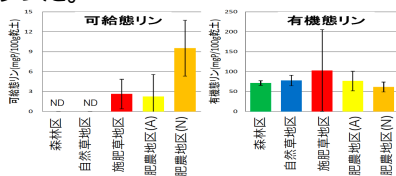


図7 管理が異なる地点で採取した黒ボク土における可給態リンおよび有機態リンの平均含有量。(NDは痕跡を示す)

可給態リンが痕跡である森林区および自然草地区における全リン、有機態リン、PAP の測定値を比較したところ、有機態リンの含有量は全リンのそれと同じか若干低い値を示した(図8)。一方、PAP は、一部の黒ボク土を除いて、有機態リンおよび全リンの含有量より高い値を示す傾向にあった。自然草地区の黒ボク土においては、全リン、有機態リン、PAP の含有量はほぼ同じ値を示した。

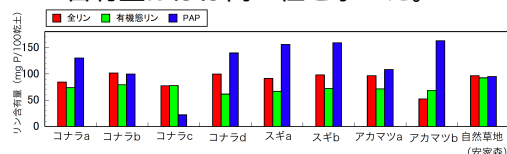


図8 森林区および自然草地区の黒ボク土中の全リン、有機態リンおよび PAP の含有量。

さらに、各種黒ボク土における化学的および

生化学的特徴の中での PAP の位置づけを評価するため、多変量解析の一つである主成分分析を行った。その結果、生物性およびリン成分の有機性-無機性という2つの成分が検出され、微生物バイオマス炭素・ACP 活性・PAP などを含むクラスタ、有機態リン・微生物バイオマスリンのクラスタが認められた(図9)。特に PAP は、黒ボク土に含まれる有機態リンよりも、黒ボク土の微生物性や生化学性と強く関連していることが示された。このことは、PAP の精度は、供試する黒ボク土に生息する微生物の生理的特徴に大きく依存していることを示している。

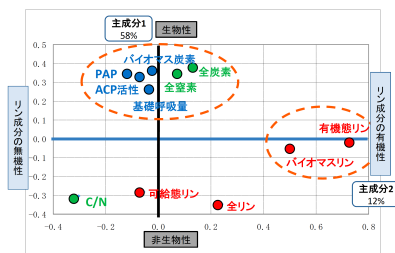


図9 各種黒ボク土における化学的および生化学的特徴の中での PAP の位置づけ。

#### (5) 黒ボク土に含まれるリン成分の植物による吸収と回収したリンの活用

前項で示した様に、黒ボク土には PAP、有機態リン、可給態リンが蓄積されており、黒ボク土そのものが未利用リン成分を有する資材としてとらえることができる。そこで、本項では、黒ボク土を培土として草本植物を栽培することにより、植物体に黒ボク土中のリン成分を吸収させ、未利用のリンを黒ボク土より回収する方法について検討した。

可給態リンが痕跡である自然草地区の黒ボク土を用いて、5種の草本植物を栽培した。栽培にあたり、共生微生物であるアーバスキュラー菌根菌(AM菌)を接種した区も設定した。草本植物によるポットあたりのリン吸収量は、AM菌を接種したシロクロローバー、ソルガム、ハイオーツで比較的高かった。黒ボク土中の PAP 量に対する植物のリン吸収量の割合は、シロクロローバー、ソルガム、ハイオーツにおいて、高く、0.6~1%の範囲にあった(図10a)。

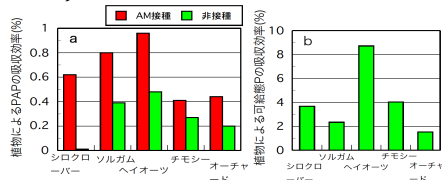


図10 可給態リンが痕跡の黒ボク土および可給態リンを含む黒ボク土に含まれるリン成分の植物による吸収。a 可給態リンが痕跡の黒ボク土、b 可給態リンを含む黒ボク土

一方、可給態リンを含む黒ボク土を培土として使用した場合でも、ハイオーツの地上部成長量、リンの吸収量は大きく、可給態リンの利用効率も約9%と高かった(図10b)。

以上の黒ボク土を用いた栽培試験では、可

給態リンの有無に関わらず、ヘイオーツは黒ボク土に蓄積したリンの回収に一定の効果があることがわかった。

そこで、可給態リンが痕跡の黒ボク土で生育させたヘイオーツを緑肥として土壌に導入することを想定し、導入された植物体のリン成分を過リン酸石灰と等価と仮定した時のLACによる環境影響評価を試みた。その結果、前述のヘイオーツを緑肥として使用した場合、約7 kg CO<sub>2</sub>等価量/haの温室効果ガス削減に相当すると試算された。

#### (6)まとめ

本研究では、黒ボク土に含まれるリン成分の中で、潜在的に利用可能なリン画分(PAP)の存在を指摘し、土壌微生物の基質誘導呼吸を利用することによりPAPの量的評価を試みた。PAPの測定には、可給態リンが痕跡の黒ボク土にのみ適用可能であること、黒ボク土の種類によりPAP測定のための回帰式を必要とする、といった制約があったが、異なる立地にある黒ボク土でPAP量を測定することができた。さらに本研究では、黒ボク土に存在するPAPをはじめとする有機態リン成分の草本植物による吸収について検討を行い、共生微生物であるAM菌の草本植物への感染がPAPなどの有機態リン成分の吸収を促進することが示された。回収した植物体は、リン資源を含む緑肥として農地に還元することは可能であり、その場合、化成肥料の減肥に相当する温室効果ガス削減の効果があることがわかった。

ここ数年のリン資源の枯渇とそれに対応したリンの有効利用に関する研究では、下水、食品系廃棄物、農業・畜産系廃棄物、鉄鋼スラッグ、農耕地残留物を用いたリファイナリ技術が注目されており、下水からのリン資源回収は効果的と言われている(大竹、2010)。一方、土壌においては、リン散布量が年間約40万トンにおよび、その多くは土壌に蓄積されている。この現状を踏まえて、土壌・肥料・植物栄養の分野では、土壌中での有機態リンの植物・微生物による利用機構の解明や(和崎、2012)、共生微生物の有用機能の活用によるリン酸減肥に関する研究が進められている(俵谷、2012)。これらの研究では、土壌中に蓄積している有機・無機リン成分の植物による吸収に焦点が当てられている。植物体により土壌から吸収されたリンの回収後の利用プロセスを見据えた研究を行うことで、土壌中に蓄積されたリンの効率的な回収とリサイクルは可能となるものと考えられ、今後の土壌からのリンの回収とリファイナリ技術に関する研究の一層の展開が期待される。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計2件)

立石 貴浩、宮本 和枝、颯田 尚哉、前田 武己、土壌微生物の基質誘導呼吸に基づいた黒ボク土中の未利用リン画分の量的評価について、環境工学研究フォーラム講演集、査読無、50巻、2013、212-214

〔学会発表〕(計10件)

葛西 清貴、間野奈々恵、颯田 尚哉、前田 武己、伊藤菊一、立石 貴浩、土壌微生物の基質誘導呼吸を利用した黒ボク土中の可給性リン画分の定量の試み、環境微生物系学会合同大会2014、2014.10.22、アクトシティ浜松(静岡県)

立石 貴浩、葛西 清貴、間野奈々恵、颯田 尚哉、前田 武己、黒ボク土に含まれる有機態リンの無機化に対する酸性ホスファターゼの寄与について、日本土壌肥料学会2014年度東京大会、2014.9.9、東京農工大学小金井キャンパス(東京都)

立石 貴浩、宮本 和枝、颯田 尚哉、前田 武己、土壌微生物の基質誘導呼吸に基づいた黒ボク土中の未利用リン画分の量的評価について、環境工学研究フォーラム、2013.11.19、北海道大学(北海道)

立石 貴浩、佐藤 悠、千葉 美月、颯田 尚哉、施肥管理の異なる黒ボク土における基質誘導呼吸の特徴について、日本土壌微生物学会2013年度大会、2013.6.20、東京農工大学農学部(東京都)

門間 眸、立石 貴浩、AO-CW二重染色法を用いた直接検鏡法による土壌菌類バイオマスの測定法の確立と森林土壌への応用、日本土壌微生物学会2012年度大会、2012.6.23、神戸大学(兵庫県)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

立石 貴浩(TATEISHI, Takahiro)  
岩手大学・農学部・准教授  
研究者番号: 00359499

##### (2)研究分担者

前田 武己(MAEDA, Takeki)  
岩手大学・農学部・准教授  
研究者番号: 40333760

颯田 尚哉(SATTA, Naoya)  
岩手大学・農学部・教授  
研究者番号: 20196207

築城 幹典(TSUIKI, Mikinori)  
岩手大学・農学部・教授  
研究者番号: 10292179