

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82107

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660051

研究課題名(和文) 土壌リンの存在形態の再考：土壌生成因子、団粒構造、炭素動態との連関

研究課題名(英文) Examination of the forms of soil phosphorus in relation to soil formation factor

研究代表者

和穎 朗太 (Wagai, Rota)

国立研究開発法人 農業環境技術研究所・その他部局等・上級研究員

研究者番号：80456748

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：リンは窒素と並び、植物の生育を最も制限しやすい元素であるため、土壌中のリンの存在形態の解明が重要である。我々は、ボルネオ島キナバル山の自然林土壌を対象に、核磁気共鳴法(31P-NMR)等の手法を用いて、土壌生成因子(気候および母材)が土壌リン濃度と存在形態に及ぼす影響を評価した。土壌風化や有機物分解が早い低地では、土壌リンの多くは鉱物に吸着した無機態リン(オルトリン酸)であり、分解の遅い高標高では、有機(エステル)態リンの割合が高かった。また、鉄酸化物を多く含む蛇紋岩土壌においてポリリン酸の存在割合が高いことが分かった。更に、比重分画からバルク土壌中のリン不均一性の規定因子を解析している。

研究成果の概要(英文)：Phosphorus (P) is one of the most common limiting nutrients for plants. Better understanding on the amounts and chemical forms of soil P as well as controlling factors behind them is critical. Using 31P-NMR and other chemical techniques, we studied a series of soils developed on two contrasting parent materials along an elevation gradient from 700 to 3100 m on the slope of Mt. Kinabalu, Borneo. At the lowest elevation sites where soil is most chemically weathered and decomposition is most rapid, we found that inorganic P (phosphate) sorbed onto soil minerals is the major form. At higher elevation sites where microbial decomposition of organic matter is slower due to cooler climate and lower litter quality, organic forms of P (mono-ester > di-ester) became more dominant. We also found that polyphosphate tended to be greater in proportion in Fe-rich ultrabasic soils compared to sedimentary soils.

研究分野：土壌学、生物地球化学

キーワード：リン 物質循環 熱帯林 土壌化学

土壌リンの存在形態の再考：土壌生成因子、
団粒構造、炭素動態との連関

1. 研究開始当初の背景

リンは窒素と並び、植物の生育を最も制限しやすい元素であるため、土壌中のリンの存在形態や動態は、自然生態系の発達や栄養塩循環、および農業（特に熱帯）生産性と強く関わっている。植物が吸収できる唯一の形態であるオルトリン酸（以下、リン酸）は、土壌溶液中に殆ど溶けていない。よって、土壌固相にどのような存在形態のリンがどれ位あるかを解明することが、最も重要課題と言える。

一般的に、無機態であるオルトリン酸の鉱物表面への吸着および金属イオンとの沈殿が、植物のリン制限の主要メカニズムとしてあげられている。一方、土壌風化系列上の自然生態系の比較研究から、長期間の風化、養分溶脱により最もリン濃度P制限を受けた土壌中のリンの主要形態は、吸着されたリン酸ではなく有機態リンであることが示されている（Turner et al. 2007, Ecosystems）。また土壌リンの難溶性画分を吸蔵態リン（occluded P）と扱うことが多いが、この画分のリンの形態（無機 vs. 有機態）や難溶化メカニズムについて、殆ど分かっていない。

また教科書では、イノシトール 6 リン酸（IP6）が有機リンの主要形態と説明されることが多いが、最近のレビュー（Giles et al. 2010, Can J Soil Sci）から IP6 は全有機リンの 0 ~ 70% を占め、土壌によって大きく異なることが示された。つまり、土壌リンの存在形態およびその支配要因については驚くほど未解明な部分が多い。

2. 研究の目的

そこで本研究では、核磁気共鳴法などのスペクトロスコピー分析技術を使い、マクロおよびミクロ時空間スケールにおける土壌中のリンの化学形態、空間分布、および安定化機構を再考することを目的とした。

具体的には、以下の2つを研究目的とした。

自然土壌におけるリンの化学形態に土壌生成因子が及ぼす影響を、核磁気共鳴法（³¹P-NMR）を用いて明らかにする。

土壌団粒内部におけるリンの化学存在形態および安定化メカニズムを、放射光分析、イメージング質量分析、共存する有機物の同位体情報から明らかにする。

3. 研究の方法

従来の土壌リン研究の多くは、様々な施肥履歴を持つ農地土壌が対象であったため、土壌生成因子のようなマクロ因子が土壌リンの存在形態にどのような影響を及ぼすか不明であった。そこで本研究では、気候（標高）

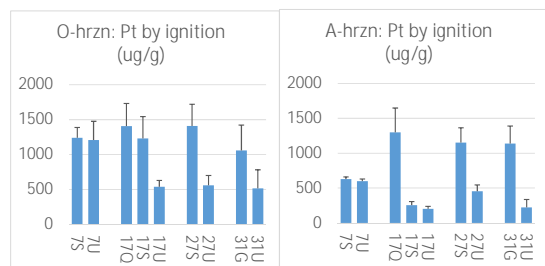
と母材条件により異なる発達を遂げたボルネオ島キナバル山に分布する熱帯自然林土壌を対象とした。また、に関しては、日本の黒ボク土も対象とした。

キナバル山の海拔 700, 1700, 2700, 3100 m の 4 標高、酸性堆積岩と超塩基性深成岩（蛇紋岩）の 2 種類の母材の計 8 つの永久植生プロットが設置され、これまで多くの研究が行われてきた。今回は各プロット内から 5 反復で O 層と A 層（0-10cm）を採取し、各種の化学分析に供試した。

リンの化学形態は、各サンプルの強アルカリ（NaOH/EDTA）可溶画分を核磁気共鳴法（³¹P-NMR）によって調べた。また、一部の土壌に関しては、下記の通り更に詳細な物理化学的な分析を行った。

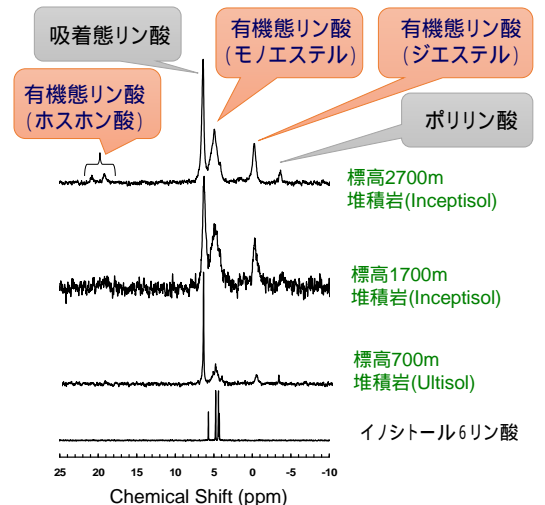
4. 研究成果

全リンおよび有機態リン濃度（Ignition 法）は、700m では同等、1700m ~ 3100m では堆積岩土壌のほうが蛇紋岩土壌よりも有意に高かった。この傾向は、O 層より A 層でより顕著であった（下図）。



アルカリ可溶画分は全リン濃度の 17 ~ 30% にとどまるものの、上記と同様の傾向が見られた。また、³¹P-NMR 分析から、標高と母材の影響に関する、以下の新しい知見が得られた。

高温で有機物分解が早い低地林から冷涼な森林限界付近の山地林にかけて、O 層および A 層の炭素濃度および有機物貯留量が増加するのに伴い、アルカリ可溶性リンのうち有機態リンの存在割合が増加した（下図）。



つまり、最も風化・溶脱が進む 700mでは、土壌の粘土含量や比表面積が高いため、可溶性リンの多くは鉱物に収着した無機態リン（オルトリン酸）であることが示唆された。一方、分解の遅い高標高では、モノエステル、ジエステル態の有機態リンの割合が高かった。

母材の影響が明瞭に現れたのは、ポリリン酸が蛇紋岩土壌で卓越している点であった。この傾向は、700mで最も顕著で、次に 3100 mで顕著であったことから、母材から供給される高濃度の鉄と結合して安定化した可能性が示唆された。過去の研究から土壌中の可溶性リンには少量のポリリン酸が含まれる事例は示されているものの、その量や動態を規定する要因は不明であったため、重要な知見と言える。現在、更に分析を進めている。

また、標高の上昇に伴い、O層およびA層の C:N, C:P 比が高まり、同時に堆積岩土壌に比べて、蛇紋岩土壌でこれらの比は顕著に高かった。これらの傾向は、キナバル山のこれまでの生態学的研究と整合的であり、主に樹木の窒素、リン制限に対する適応（落葉前の栄養塩の引き戻し）によるものと考えられる。

更に、目的 を達成するために幾つかの新しい手法を試してみた。

A) 可溶性画分ではなく、固相の全リンの化学形態を調べるために、エックス線吸収端近傍構造分析(X-ray Absorption Near Edge Structure)に挑戦したが、リン濃度が低い熱帯自然土壌ではノイズに負けて、十分なシグナルを得ることが出来なかった。一方、比較的リンを多く含む農耕地土壌（黒ボク土）では、比重画分ごとの特徴をつかむことができた。

(B)バルク土壌は、性質が大きくことなる土壌粒子から構成され、それらは集合体化（団粒化）しているが、バルク土壌内のリンの不均一性については殆ど知見がない。そこで、中標高の堆積岩土壌を対象に、連続比重分画によって、分散した土壌粒子を比重の違いによって分画し、各画分の炭素、窒素、リン濃度、炭素の同位体比、および 31P-NMR 分析を行った。未だ解析途中ではあるが、土壌粒子の比重に対応して、炭素濃度や平均滞留時間とリンの化学形態が変化する可能性が示唆された。

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 1 件)

Takamoto, A., and Hashimoto, Y. 2014. Assessment of Hedley's Sequential Extraction Method for Phosphorus Forms in Biosolids

Using P K-edge X-Ray Adsorption Near Edge Structure (XANES) Spectroscopy. Chemistry Letters. 43:1696-1697. DOI:10.1246/cl.140526

〔学会発表〕(計 5 件)

和穎朗太, 橋本洋平, 池谷康祐, 平舘俊太郎, 横山大稀, 北山兼弘. 2016. 土壌生成因子（気候・母材）が土壌リンの存在形態へ及ぼす影響：キナバル山熱帯林における事例研究．日本土壌肥料学会佐賀大会（佐賀大学、9/20-9/22）

Takamoto, A., Hashimoto, Y., Wagai, R., and Asano, M. 2015. Distinctive pools and chemical species of phosphorus among density fractions of allophanic and non-allophanic Andisols: chemical extraction and solution 31P NMR investigation. Japan Geoscience Union Meeting 2015

高本慧, 橋本洋平, 和穎朗太, 浅野真希. 2015. アロフェン質と非アロフェン質黒ボク土に含まれるリンの蓄積状態, 化学状態および生物利用特性の評価．ペドロジー学会（筑波大学東京キャンパス, 3/21/2015）

高本慧, 橋本洋平, 和穎朗太. 2014. 物理分画・NMR・放射光によるアロフェン質と非アロフェン質黒ボク土のリンの化学状態の解析．日本土壌肥料学会東京大会（東京農工大, 9/9-11）

高本慧, 橋本洋平, 和穎朗太. 2014. アロフェン質と非アロフェン質黒ボク土に含まれるリンの化学状態に基づく生物学的利用率の評価．日本地球惑星科学連合（パシフィコ横浜, 4/28）

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

国内外の別：

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

http://www.niaes.affrc.go.jp/researcher/wagai_r.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

和穎 朗太 (WAGAI, Rota)

農業環境技術研究所、物質循環研究領域
主任研究員

研究者番号：80456748

(2)研究分担者

橋本洋平 (HASHIMOTO, Yohei)

東京農工大学 生物システム応用科学府

准教授

研究者番号： 80436899

(3)連携研究者

平舘俊太郎 (HIRADATE, Shuntaro)

農業環境技術研究所、生物多様性研究領域
上席研究員

研究者番号： 60354099