

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15873

研究課題名（和文）黒ボク土の低いリン利用性は土壌窒素の流域内分布にどのように影響するか？

研究課題名（英文）How does low phosphorus availability in volcanic soil affect the soil nitrogen distribution in a watershed?

研究代表者

細川 奈々枝（Hosokawa, Nanae）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：80821602

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、森林土壌において窒素やリンの量や動態が、火山灰由来物質にどのような影響を受けているのか、地質や地形、土壌化学性などの影響を考慮して明らかにした。まず調査地に適したリンの分画定量法を検討した。次に、リン利用性が火山灰由来物質にどのような影響を受けているか、流域内のスギ林から採取した多地点サンプルを用いて明らかにした。最後に、火山灰由来物質、リン利用性と土壌窒素無機化指標の関係を解析した。特筆すべき成果として、地質や地形がリン量に大きく影響する一方で、火山由来灰由来物質はリン形態に大きく影響することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

窒素やリンは森林生態系の一次生産や水質形成等に大きく関わる。火山灰由来物質はリン動態を大きく支配する一方で、リン利用性は窒素動態を制限すると言われているため、これら物質の密接な関係が予想されるが、その実態やメカニズムには不明な点が多い。本研究によって、森林土壌中のリンや窒素の動態は火山灰由来物質に大きく影響を受けることが明らかとなった。この成果は、森林の一次生産や水質形成等に関わる森林生態系の養分循環機能の基礎的知見となる。さらに、火山の多い日本では火山灰由来物質を含む土壌が広範囲に分布するため、本研究で得られた知見はより多くの地域で森林管理法の開発に役立つ。

研究成果の概要（英文）：The study clarified the effect of volcanic materials on the amount and dynamics of nutrients such as nitrogen and phosphorous in forest soil taking care of lithology, topography, and soil chemicals. First, some methods of phosphorous fraction were compared to explore the suitable method since the volcanic soils have distinct chemistry. Then, the modified fraction method was applied to the soil samples under cedar forests collected from multiple points in a watershed. Finally, the relationships among volcanic materials, soil phosphorous availability, and soil nitrogen mineralization indicators were analyzed by multivariable analyses. The results showed soil phosphorous and nitrogen dynamics were significantly affected by volcanic materials. Notably, lithology and topography affected phosphorous amounts, and volcanic materials influenced phosphorous availability.

研究分野：森林立地学

キーワード：連続リン抽出 活性アルミニウム アルミニウム-腐植複合体 地形 スギ林土壌

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

窒素(N)の無機化は森林生態系のN循環の根幹をなす過程である。近年、森林落葉層のN無機化速度はリン(P)量に制限されることが示された(Heuck and Spohn 2016)。しかし、森林土壌のN無機化速度にPが与える影響やそのメカニズムはいまだ明らかでない。

日本に広範に分布する黒ボク土(小原ら 2011)はPの利用性が極めて低い。また、黒ボク土は火山噴火によって排出される火山灰が堆積して生成するが、土壌中の火山灰量に応じて黒ボク土の特徴の強弱が決まる。火山灰の降下量の違いや、土壌の移動などによって、黒ボク土の種類や化学的特徴の流域内の分布は一様でない。よって、黒ボク土が分布する流域では、黒ボク土やその化学性の分布パターンに影響を受け、土壌P利用性が高い場所ほど土壌N無機化速度が高いと予想される。黒ボク土が含む活性アルミニウム(Al)によるP吸着は、P利用性低下の主原因である。そのため、活性Alに着目することでP利用性の高低を理解できる。P利用性の評価方法には様々なものがあるが、本研究に適したP形態の分画定量法の確立が必要である。世界一般に用いられるHedley法は、本研究で着目するAlと結合したPを分画しないという問題点がある。一方、黒ボク農地土壌で用いられる関谷法はAlと結合したPを分画するが、無機Pのみを対象とするため、有機Pが多いとされる森林土壌で用いるには不十分である。そこで、有機Pを分画できるように改良した関谷法をHedley法に組み合わせることで、黒ボク森林土壌に適したPの分画定量法を確立する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、1) 既存法の改良によって黒ボク森林土壌におけるP形態の分画定量法を確立するとともに、黒ボク土が分布する森林流域において、2) 火山灰由来物質が流域内のP分布さらに土壌N無機化速度に与える影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### 調査地の概要

調査は秋田県西部に位置する総面積894 km<sup>2</sup>の八郎湖森林流域内とした。この流域内から、小河川から判別した小流域を単位として、調査候補地を選定した。

八郎湖森林流域には、3種類の土壌型(P吸着能が高い順からアロフェン質黒ボク土、非アロフェン質黒ボク土、褐色森林土)が分布するため、研究の目的を達成するために最適な場所だと考えた。母岩は火成岩と堆積岩の二種類分布し、調査地は標高80m~451mにばらつく。

#### 研究1 P形態の分画定量法の改良

八郎湖森林流域内を対象として、日本土壌図(<https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/index.html>)において、アロフェン質黒ボク土、非アロフェン質黒ボク土、褐色森林土、赤黄色土に分類される地域から、0~10cmまたは10~20cm深の鉾質土壌を、それぞれ3地点、3地点、2地点、1地点で採取した。採取した土壌をHedley法と関谷法を用いてPを分画した後、リン酸態P量をモリブデンブルー法によって測定した。

#### 研究2 PおよびNの流域内分布パターンに与える火山灰由来物質の影響解明

八郎湖森林流域内の29地点から0~10cmと10~20cm深の土壌を採取し、火山灰の影響程度とP形態の分析に用いた。P形態の評価は、研究1で確立した方法で評価し、易溶性P(Ca型P)、Alと関連するP(Al型P)、鉄と関連するP(Fe型P)に分画した。また、以上のPを抽出した残りの残渣土壌は全分解後、バナドモリブデン法を用いてP量を測定した。すべての画分のP量を総和して全P量を算出した。土壌N無機化速度は、八郎湖森林流域内の9地点の土壌を用いて、リン酸緩衝液抽出法で評価した。火山灰由来物質は、活性Al量によって評価し、酸性シウ酸塩抽出液に可溶のケイ酸(Si<sub>o</sub>)およびピロリン酸ナトリウム塩に可溶のAl(Al<sub>p</sub>)をマイクロ波窒素プラズマ発光分光分析装置によって測定した。Si<sub>o</sub>は非晶質鉱物を、Al<sub>p</sub>は腐植と結合したAlを表す。また、養分動態に影響する土壌の全炭素量、全N量、pHを測定した。流域を対象とした場合、地質や標高、傾斜などの要因が、Pの賦存量や形態に影響することが知られている。そのため、地質図や地理情報空間システムを用いてこれらの情報を取得し、統計解析に用いた。

### 4. 研究成果

#### 研究1 P形態の分画定量法の改良

関谷法とHedley法でPの抽出効率が異なったが、それぞれの方法でのFeと結合したとされるP画分の間には相関関係がみられた。本報告では、Hedley法における水抽出と炭酸水素ナトリウム抽出の画分と、水酸化ナトリウム抽出の画分をそれぞれ、関谷法におけるCa型PとFe型PおよびAl型Pの和(Fe-Al型P)と対応させた。Ca型P量にHedley法と関谷法で有意差はなかった。しかし、Fe-Al型P量は、関谷法の方がHedley法よりも有意に多かった。Fe-Al型P量の関谷法とHedley法の比率は1.5~22倍とサンプル間で大きくバラついたが、アロフェン質黒

ボク土、非アロフェン質黒ボク土、およびその他の地域間で有意差はなかった。

本研究の検討を基に、本研究では、メカニズム解明の観点から、Al型PとFe型Pを区分すること、各画分のPは無機態P(IP)と有機態P(全分解P - 無機態P)で評価すること、さらに残渣土壤中のP量を測定項目に追加することとした。

## 研究2 PおよびNの流域内分布パターンに与える火山灰由来物質の影響解明

当初予定していたよりもP利用性の評価を多項目で行う必要のあることが明らかとなったことから、P利用性と火山灰由来物質の関係の解明に重点を置いた。

特筆すべき成果として、Pの流域内分布には、火山灰由来物質が大きく影響していることが明らかとなった。Pの賦存量(全P量)は火成岩地帯で堆積岩地帯より有意に高かった一方で、標高の高い地点ほど多かった。また、傾斜の急な場所ほど土壤中の諸形態のP量が多いことが明らかとなった。地質や傾斜に関わらず、 $Si_o$ 量が増加すると無機態のCa型P、Al型P、およびFe型Pの多い傾向がみられた(図1a)。このことから、非晶質鉱物は無機態Pを土壤中に保持する働きを持つことが示唆された。一方で、 $Al_p$ 量が増加すると無機態のCa型PやAl型Pが少なかった(図1b)。 $Al_p$ は微生物活性を低下させることが報告されていることから、 $Al_p$ はPの無機化を低下させることで無機態P量を少なくするのではないかと考えられた。それぞれの形態のP(無機態と有機態の和)量に影響を与える要因を、地形や土壌pHなどの要因を用いて多変量解析すると、地形や火山灰由来物質が最も説明力の高いモデルとして選ばれた(図2)。選択された変数は各P形態で似た傾向だったが、注目される点として、 $Al_p$ はCa型PやAl型Pに対して負の影響を与える一方で、Fe型Pに対しては正の影響を与える特徴があった。この結果は、Ca型PやAl型Pは無機態が主体であったのに対し、Fe型Pは有機態が主体であったことと関係している。すなわち、Ca型PやAl型Pは $Al_p$ による無機化の抑制の影響を強く受けていると考えられた。一方のFe型Pは、 $Al_p$ の生成および吸着に伴う腐植中の有機態Pの増加に伴って多くなったと考えられた。

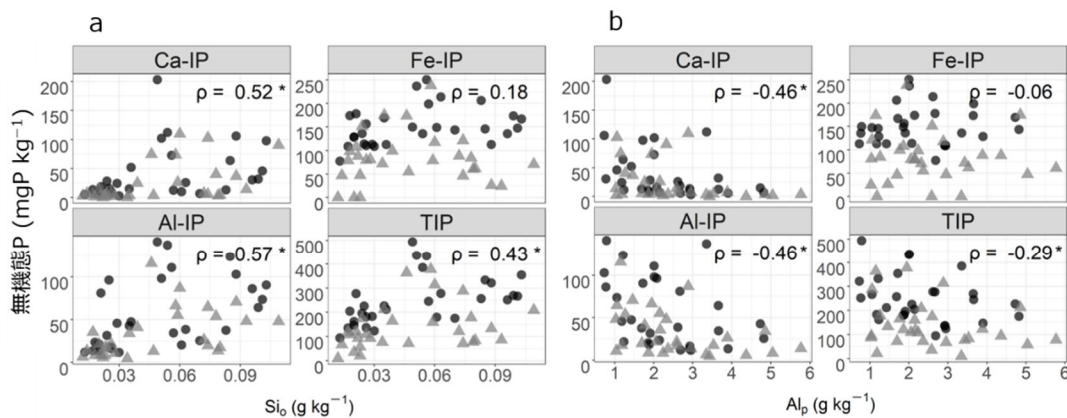


図1 各形態の無機態P(IP)とa  $Si_o$ , b  $Al_p$ の関係(スピアマンの順位相関係数)。TIPはすべての画分のIPの和である。●は0-10cm土壌、▲は10-20cm土壌、\*は有意な相関関係を示す。

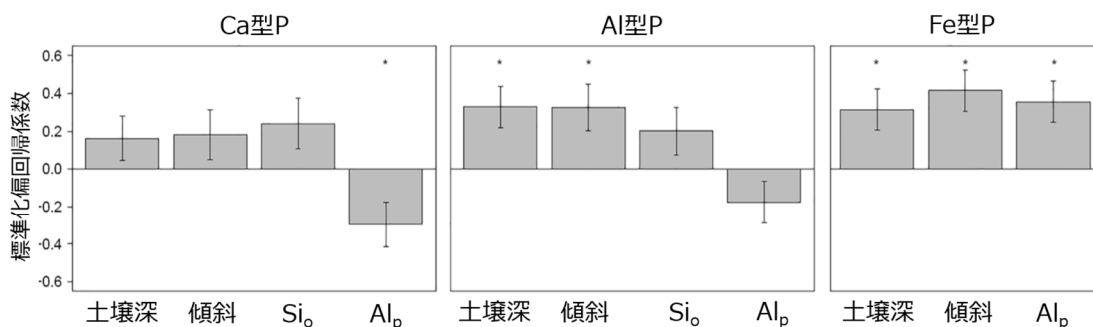


図2 各形態のP(有機態および無機態の和)量を説明する最適モデルの標準化偏回帰係数。\*は有意な係数であることを示す。

N無機化速度指標は無機態のAl型PやCa型Pと有意な負の相関があったが、Fe型Pとは有意な相関がなかった。また、N無機化速度指標は $Al_p$ と有意な正の相関があった。一般に $Al_p$ は腐植の蓄積を介して土壌の全N・全炭素量を増加させる。このことから、N無機化速度指標はFe型Pより基質である全N量の影響が大きく、全Nの蓄積に関与する $Al_p$ と有意な正の関係を示したと考えられた。土壌のN動態にP利用性や活性Alが与える影響やそのメカニズムについて、今後さらに研究する必要がある。

本研究の主要な成果は、流域スケールでの火山灰影響の多寡が森林生態系のリン動態に大き

く影響を与えることを明らかにしたことである。この成果は、森林の一次生産や水質形成等に関わる森林生態系の養分循環機能の基礎的な知見であるとともに、森林生産力の予測や推定の精度向上を通じた森林管理法の開発に役立つ。

<引用文献>

Heuck and Spohn (2016) Biogeochemistry 131: 229-242.; 小原ら(2011) 農環技研報告 29, 1-73

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nanae Hosokawa, Yuka Ozawa, Atsushi Hayakawa, Yuichi Ishikawa, Tadashi Takahashi	4. 巻 416
2. 論文標題 Effect of active aluminum on soil phosphorus forms in a forested watershed in Akita, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geoderma.2022.115800	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 細川奈々枝・小澤優花・早川 敦・石川祐一・高橋 正
2. 発表標題 秋田県八郎湖森林源流域における形態別土壌リンの空間分布に影響をおよぼす要因の検討
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度静岡大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細川奈々枝・早川 敦・石川祐一・高橋 正
2. 発表標題 土壌中の形態別リンの抽出方法による比較
3. 学会等名 日本土壌肥料学会東北支部大会2019年福島大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	早川 敦  (Hayakawa Atsushi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	石川 祐一  (Ishikawa Yuichi)		
研究協力者	高橋 正  (Takahashi Tadashi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関