

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：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580233

研究課題名(和文) 火山灰混入度合いの異なる褐色森林土壌下のリン可給性と人工林の応答

研究課題名(英文) Phosphorus availability in brown forest soils under different levels of volcanic ash contamination and responses of planted trees

研究代表者

稲垣 昌宏 (Inagaki, Masahiro)

独立行政法人森林総合研究所・九州支所・主任研究員

研究者番号：00343781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：火山灰由来および変成岩由来の褐色森林土上のヒノキ林を比較し、土壌中のリン可給性の違い、及びヒノキのリン量の違いに対する応答について調べた。可給態リンはどちらの試験地もいずれの測定回もほとんど検出されなかった。酸抽出したリン量および土壌中の酸性フォスファターゼ活性は、火山灰質土で約2倍大きく、全炭素濃度に対応していた。ヒノキ落葉のN:P比は変成岩土で生葉より高い傾向が見られた。以上の結果、変成岩地域にもリン制限があり、火山灰質土壌では土壌有機物の吸着容量が大きいため微生物活性と潜在的に供給できるリンが変成岩土壌より大きく、変成岩土壌でリン制限が落葉の濃度に影響している可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We examined phosphorus availability and responses of cypress under two different brown forest soils consisted from tuff and metamorphic rocks. Available phosphate was seldom to be detected in both sites over measurement period. Phosphorus extracted by strong acids and acid phosphatase activity were about two-fold larger in soils at the tuff site than those at the metamorphic site, which results were corresponded to the total carbon contents of both sites. The N:P ratio of cypress leaf litter was larger than that of fresh leaf at the metamorphic site, although both N:P ratios were almost same at the tuff site. Thus, we considered phosphorus was limited to cypress in the metamorphic site as in the tuff site. The potential phosphorus availability in the tuff site was larger due to its larger adsorption capacity of soil organic matter and accompanying larger micro-organism's activity. The stronger phosphorus limitation at the metamorphic site may affect the larger N:P ratio in leaf litter.

研究分野：森林科学

キーワード：リン可給性 火山噴出物 変成岩 酸抽出リン 酸性フォスファターゼ活性 イオン交換膜 N:P比 ヒノキ

1. 研究開始当初の背景

森林生態系の物質循環研究は、炭素および窒素循環については研究が進んでいるが、リン循環については大きな進展がみられていない。また世界的に見ても土壌の可給態リン量の評価は、一定基準の測定による比較が難しいと考えられている。これは植物が利用する土壌中のリンの画分が、一定の酸やアルカリ溶液による抽出によって均一に評価できないからである。たとえば火山灰質の土壌では、遊離した鉄やアルミニウムとリン酸イオンが強く結合するため、実際にリンが存在していても植物が利用しづらい状態にある。火山灰影響下の土壌で農業活動を行う場合、多量のリン肥料の施肥が必須である。一方、森林のような自然条件では、アーバスキュラ菌根や外生菌根との共生によってリン分解酵素（フォスファターゼ）や有機酸の分泌を促し、リン獲得を有利にしている。例えば、マメ科植物は根圏土壌で他樹種よりフォスファターゼ活性が高いことが明らかにされており、火山灰土壌同様リンが制限になりやすい熱帯の赤黄色土壌での競争を有利にしていると考えられている。

研究代表者は、これまでの研究で各種熱帯人工林の養分利用様式を比較し、マメ科のアカシア類が他樹種と比較して効率的なリン利用を行なっていることを明らかにしてきた。日本の場合、火山灰の影響によって可給態リンの獲得に制限があることは予想されるが、森林土壌の可給態リンに関する情報は少なく、それに対する樹木応答に関する情報は極めて限られる。

日本の人工林において、リンが成長制限になっているという報告はこれまでみられないが、火山灰の影響により、北海道においてカラマツ林の葉の成分濃度に影響があるという報告がある。花田らによれば、火山灰の混入が大きくなるとリンに対する制限が、葉の窒素/リン比 (N:P 比) の違いとなって表れる事例が報告されている。葉の N:P 比の違いは、リン制限の大きい熱帯土壌や窒素降下物の影響の大きいアメリカの都市域においても影響が報告されている。

褐色森林土は日本の森林土壌の7割を占め、広い面積で人工林となっている。褐色森林土壌は土壌断面形態や土色によって区分されるが、近年、分析値によって得られる火山灰の混入度合いによって有機物の蓄積量など様々な性質の違いがあることが今矢らの一連の研究によって明らかにされている。森林の生産性は主に、立地条件の乾湿によって規定されており、土壌の水分条件に基づいて戦後の拡大再造林が推進されてきた。多くの場所では、土壌の乾湿とスギ、ヒノキの成長との間に良い対応関係が見られたが、一部要因が明らかになっていない不成績造林地が存在する。近年明らかにされた褐色森林土への火山灰の混入に関する成果と、日本の人工林のリンの可給性

に対する応答を組み合わせることによって、不成績造林地が形成される原因の解明につながる可能性がある。

また、成長に影響がみられない場合でも、他の研究事例から葉の養分濃度やフォスファターゼ活性等への影響が起こっている可能性が高いと考えられ、火山灰によるリン制限下での樹木のリン獲得戦略に関する理解を深めることが可能となる。

2. 研究の目的

通常農業活動において、火山灰由来の土壌ではリン制限により生産が低下し、多量のリン施肥が不可欠となる。しかし、林地においては、そのようなリン制限による顕著な生産の低下は通常見られない。これには、火山灰環境下に適応したリン獲得戦略がとられていることが予想される。火山噴出物の混入度が異なる2つの土壌条件下において、ヒノキ人工林下のリン可給性の違いを明らかにすることを目的とした。さらに根圏土壌のフォスファターゼ活性や葉の養分濃度など植物の諸形質への土壌タイプの違いによる影響を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 試験地

熊本県菊池市の木護国有林（以下菊池試験地、33° 02' N 130° 56' E）および、熊本県山鹿市の長生国有林（以下鹿北試験地、33° 08' N 130° 42' E）内の人工林から、それぞれ2カ所でプロットを設定した。斜面位置は、いずれも斜面上部に位置し、樹種はいずれもヒノキで林齢はいずれも約60年である。菊池試験地の表層地質は溶結凝灰岩、鹿北試験地の表層地質は黒色片岩で、菊池試験地の土壌は阿蘇の火山噴出物の影響を強く受けている。いずれの試験地も林野土壌分類では褐色森林土に分類されたが、菊池試験地の土壌はシュウ酸可溶のアルミニウムと鉄が2%以上を占め、国際的な土壌分類では火山灰性土壌である Andosols に区分された。標高は菊池試験地で680m、鹿北試験地で180mである。

(2) 土壌中の養分量の測定

可給態養分量の指標として海外で活用されているイオン交換膜を使った現地測定を試み、土壌中の可給態養分量を測定した。

イオン交換膜(陽イオン VWR 社 BDH Prolabo #551652U、陰イオン VWR 社 BDH Prolabo #551642S)を34 x 37mmの大きさに切断し、0.5N 塩酸洗浄、0.5N 炭酸水素ナトリウム溶液による弱イオンへの置換後、試験に供した。現地に設置するイオン交換膜は35mm スライドフィルム用フォルダに挟んだ(接触面23mm x 34 mm x 2面)。

菊池、鹿北試験地とも各2プロットにランダムな4地点に陰陽それぞれの交換膜入りフォルダを2枚ずつ設置した。設置は表層土

壤の表面に斜面方向にステンレス製のへらで亀裂をつくり、できるだけ土壌と接触させるように埋設した。設置期間は約2ヶ月程度で、2013年2月からほぼ通年で測定を行った。回収時は現場でフォルダを外し、純水で膜を簡易洗浄後チャック付きポリ袋に収納した。実験室に持ち帰り、さらに洗浄後、0.5N塩酸を用いて1時間の浸透抽出を行った。陰イオン交換膜から抽出した硝酸態窒素は紫外吸光法により、分光光度計で220nmの波長を測定した。リン酸イオンは、アスコルビン酸還元モリブデンブルー法で定量し、分光光度計（島津 UV-2500PC）を用いて710nmの波長を測定した。陽イオン交換膜から抽出したカチオン類は、10倍希釈後イオンクロマトグラフィー（ダイオネクス ICS-1600）で定量した。

また風乾土壌中から酸抽出で得られるリン量を測定した。400cc採土円筒を用いて表層土壌（1-5cm深）を採取し、風乾、2mmのふるい分け後分析に供した。抽出はBray2法（0.03Mフッ化アンモニウム+0.1M塩酸）とMehlich3法（0.015Mフッ化アンモニウム+0.2M酢酸+0.25M硝酸アンモニウム+0.013M塩酸）で抽出した。

さらに、土壌中の炭素、窒素濃度は風乾土壌試料を粉碎後、乾式燃焼法（住化分析センター NC-22F）を用いて分析した。

(3) 酸性モノフォスフォエステラーゼ活性の測定

表層土壌（1-5cm深）を400cc採土円筒を用いて採取した。1プロットにつき4地点でサンプリングした。実験室で未風乾土壌を細根付着部分（根圏土壌）とその他土壌に分け、2mmの円孔ふるいを用いてふるい分けした。4地点の土壌を混合し、3反復でpニトロフェニルりん酸ナトリウム（PNP）を基質としたpニトロフェノール生成量を測定した。土壌1gに緩衝液4mlを加え、PNPを1ml添加して1時間反応させた。濾過、希釈後の反応液から分光光度計を用いて400nmの波長を測定した。

(4) 葉の養分濃度測定

両試験地において、生葉を2012年6月、生葉及び落葉を2012年10月と11月に採取した。生葉の採取はスリングショット（サンダース フォールディングファルコン）を用いて、できるだけ陽葉を落とすようにした。落葉は、堆積有機物中からではなく現場で落ちてくる新鮮な試料を回収した。

試料は70℃で乾燥後、粉碎し、窒素濃度は乾式燃焼法（住化分析センター NC-22F）を用いて分析した。リン濃度はテフロン製分解容器（ODLAB OD-98-100）内で濃硝酸を用いて加熱湿式分解した試料を、モリブデンブルー法で定量した。

4. 研究成果

(1) 土壌中の養分量

イオン交換膜は現地に約2ヶ月程度設置し、表1に各測定回の詳細を示した。

表1 イオン交換膜法による可給態養分の測定状況

回数	1	2	3	4	5	6
設置日	2013/2/13	04/10	05/28	07/23	10/01	11/26
回収日	2013/4/10	05/28	07/23	10/01	11/26	2014/1/9
設置日数	56	48	56	70	56	44

無機態窒素は硝酸態が大半を占め、測定回2回目を除けば気温の変化と同調していた（図1）。

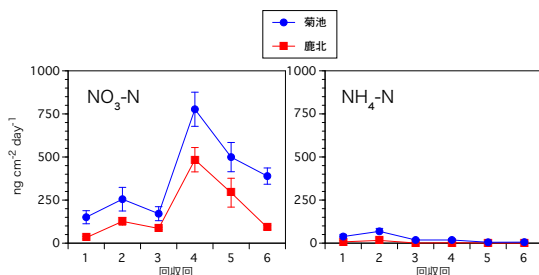


図1 硝酸態窒素（左）とアンモニア態窒素の季節変化 誤差線は平均の標準誤差

カルシウム、マグネシウム、カリウムについても検出され季節変化が確認できたが（詳細略）、リンは1プロットで4地点、各地点交換膜2枚の計8反復の中に検出限界（抽出液で約0.1mg/l程度）で検出されるサンプルがいずれの試験地も1,2点存在するかどうかであり、ほとんどのサンプルで検出されなかった。

表層土壌から酸抽出したリン量は、Bray2法で菊池、鹿北試験地でそれぞれ平均11.1、5.06 $\mu\text{g P g}^{-1}$ であり、Mehlich3法で両試験地でそれぞれ平均4.94、3.16 $\mu\text{g P g}^{-1}$ であった（図2）。いずれも菊池試験地のリン抽出量が有意に大きかった。

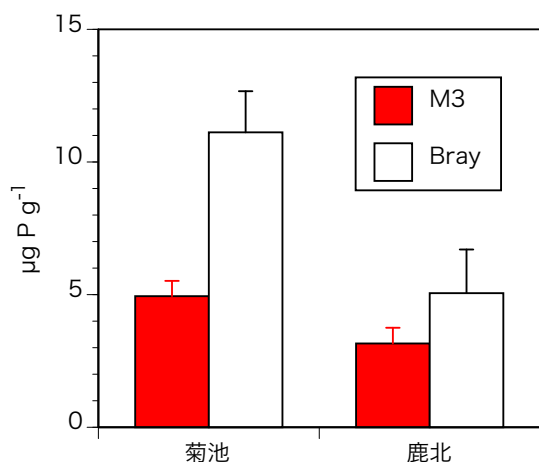


図2 表層土壌から抽出したリン量 誤差線は平均の標準誤差

土壌中の全炭素濃度は菊池試験地と鹿北試験地でそれぞれ、17.0、6.8%であり、菊池

試験地が有意に高かった (図 3)。

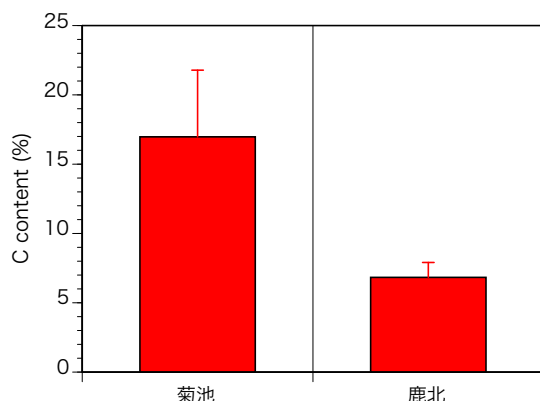


図 3 表層土壌中の全炭素濃度 (%) 誤差線は平均の標準誤差

(2) 酸性フォスファターゼ活性

表層土壌中の酸性フォスフォモノエステラーゼ活性は、平均で菊池試験地の根圏土壌、その他土壌、鹿北試験地の根圏土壌、その他土壌でそれぞれ 23.2、24.3、12.8、15.5 $\mu\text{mol g}^{-1} \text{hr}^{-1}$ であった (図 4)。試験地と土壌タイプ (根圏、その他) を要因とした二元配置の分散分析の結果、菊池試験地は、鹿北試験地に比べて活性が有意に高かった。根圏土壌とその他の土壌との比較では、どちらの試験地も有意でなかった。

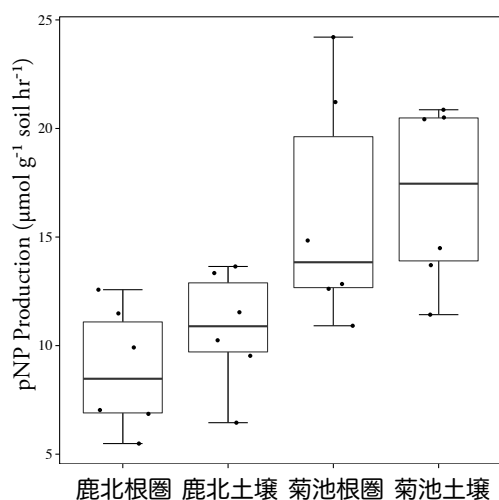


図 4 表層土壌の酸性フォスフォモノエステラーゼ活性 (p ニトロフェノール生成量) ボックス図の上中下は、75、50、25%点、上下線は四分位数範囲の 1.5 倍を示す

(3) 葉中の窒素、リン濃度

ヒノキの生葉中の養分濃度は、試験地間の違いはなく、採取時期による違いが見られた (表 2)。落葉は、鹿北で窒素、リンともに若干低い傾向が見られた。N:P 比は菊池試験地では生葉、落葉ともに 10 前後であったが、鹿北試験地では生葉が 8 前後なのに対し、落葉では 13~15 と大きい傾向が見られた。

表 2 ヒノキ生葉および落葉中の窒素、リン濃度と N:P 比

試験地	採取日	N (%)	P (%)	N : P ratio	
菊池					
混合	生葉	2012.6.6	1.030%	0.097%	10.6
混合	生葉	2012.10.24	1.426%	0.173%	8.2
plot A	落葉	2012.10.18	0.822%	0.089%	9.3
plot B	落葉	2012.10.18	0.673%	0.062%	10.9
鹿北					
2号沢	生葉	2012.6.6	1.040%	0.163%	6.4
2号沢	生葉	2012.11.26	1.438%	0.181%	8.0
3号沢	生葉	2012.11.26	1.335%	0.159%	8.4
2号沢	落葉	2012.11.26	0.671%	0.052%	12.9
3号沢	落葉	2012.11.26	0.538%	0.036%	14.9

(4) 考察と残された課題

当初の仮説と異なり、火山噴出物由来の土壌でリン制限が強いという結果にはならず、変成岩由来の土壌でもリンの可給性が低かった。火山噴出物由来の土壌は有機物を吸着する能力が高いため、菊池試験地の土壌中の炭素濃度は鹿北の倍以上高く、Bray2 法抽出のリン量もそれに比例していた。また、有機物中のリンを分解する酵素活性も菊池が鹿北の 2 倍程度高かったが、根圏とそれ以外の土壌で違いがなかったことから、酵素が根圏から放出されたものではなく、高い炭素濃度を基質とする土壌に普遍的に存在する微生物の活性が高かったためと考えられた。従って、火山噴出物由来の土壌では、移動できるリン量はわずかであるが、潜在的に利用できるリン量、特に有機態のリン量は大きいと考えられた。

イオン交換膜を用いて海外ではリンの測定を行っていること、本研究で得られた無機態窒素の季節変化は既報と同じような季節変化を捉えることができたことから、手法上の問題で可給態リンを検出できなかったわけではないと考えられる。生葉と落葉の N:P 比の結果と潜在的なリン供給ポテンシャルを考慮すると、今回比較した 2 試験地では変成岩由来の土壌の方が、よりリン制限が強いと判断された。変成岩土壌ではリンの移動を制限する遊離酸化鉄や酸化アルミニウムが多かったなどの要因があったと考えられ、火山灰以外のリン移動制限プロセスを検討する必要があると考えられた。

リンが樹木成長に及ぼす影響については、結果的に試験設定の面から十分検討することができなかった。火山灰土壌ではスギの成長にあまり適していない傾向があり、樹種によって影響が異なることが示唆されている (今矢ほか 2015)。今後、様々な土壌でのリン制限の程度と、それが樹木成長にどこまで影響するかをより詳細に検討する必要があると考えられた。

<引用文献>

今矢 明宏、吉永 秀一郎、高橋 正通、金子 真司、全国データからみたスギ林分材積と土壌中養分量の関係、第 126 回日本林学会

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 4 件)

- ① 稲垣 昌宏、森林生態系のリン動態と樹木のリン獲得利用戦略、地球環境、査読有、vol. 20、No. 1、2015、印刷中
- ② 稲垣 昌宏、釣田 竜也、鹿北流域試験地のヒノキ林における可給態養分の季節変化、九州森林研究、査読有、vol. 68、2015、pp. 87-90
- ③ 稲垣 昌宏、釣田 竜也、イオン交換膜法を用いた森林土壌における無機態窒素の測定、森林総合研究所九州支所年報、査読無、vol. 26、2014、pp. 9
- ④ INAGAKI Masahiro, Tange Takeshi、Nutrient accumulation in aboveground biomass in tropical planted trees: a meta analysis、Soil Science and Plant Nutrition、vol. 60、no. 4、2014、pp. 598-608、doi:10.1080/00380768.2014.929025

[学会発表] (計 7 件)

- ① 稲垣 昌宏、石塚 成宏、釣田 竜也、火山灰混入度合いの異なる褐色森林土上のヒノキ林における可給態養分の季節変化、日本森林学会大会、2015年3月26-29日、北海道札幌市
- ② 稲垣 昌宏、釣田 竜也、イオン交換膜法を用いた森林土壌における無機態窒素の測定、九州森林学会大会、2014年10月25-26日、佐賀県佐賀市
- ③ 稲垣 昌宏、樹木の成長と、養分の要求、獲得、転流、日本木材学会組織と材質研究会秋期シンポジウム、2013年9月29日、北海道札幌市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲垣 昌宏 (INAGAKI, Masahiro)

森林総合研究所・九州支所・主任研究員
研究者番号： 00343781

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

今矢 明宏 (IMAYA, Akihiro)

森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員
研究者番号： 60353596

(4) 研究協力者

石塚 成宏 (ISHIZUKA, Shigehiro)

釣田 竜也 (TSURITA, Tatsuya)