

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K20594

研究課題名（和文）野外観察と栽培実験を通じた樹木の難溶性リン獲得様式の解明

研究課題名（英文）Clarification of tree strategies for absorbing soil insoluble P through field survey and cultivation experiment

研究代表者

向井 真那（MUKAI, Mana）

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：60909159

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：森林土壌中には様々な形態のリンが存在し、本研究ではその中でも土壌の難溶性リンに着目した。難溶性リンは二次鉱物由来でありアルミニウムや鉄と結合している非吸蔵態リンと葉や微生物由来の有機態リンの二つに大別でき、樹木には吸収されにくいリンとされているが、詳細は明らかではない。これらが森林生態系内でどのように循環しているのかを明らかにすることを目的に、野外観察と栽培実験にて研究を行った。本研究結果から、土壌の非吸蔵態リンおよび有機態リン濃度に応じて、樹木はそれぞれ有機酸やホスファターゼ活性を根から分泌させて可給態リンに変化させ、効率よく土壌リン獲得をする仕組みができていたことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

野外では複数の環境要因が複数相互に影響し合っているため、野外で樹木のリン獲得の様子を知ることは非常に難しいが、本研究の多地点での比較研究を通して森林生態系のリン循環の様子が明らかになってきた。また、栽培実験も組み合わせることで、樹木の環境変動に応じた順応という点からの知見が得られたと考えられる。本研究結果は森林生態系でのリン循環や、将来的に火山活動などの地球環境変化イベントなどによりリン環境が変化した際の生物地球化学的な影響に関する将来的な予測のための知見を得られたという点で大きな波及効果があると期待できる。

研究成果の概要（英文）：There are several forms of phosphorus (P) in forest soils. Plant available P are soluble in soils and easy to get for trees, while insoluble P are existing as organic forms and/or as non-occluded P which are bound to non-crystalline minerals. However, it is not clarified how trees get these insoluble P from their roots. The purpose of this study was to clarify tree strategies for capturing soil insoluble P through field survey and cultivation experiment. I studied the relationship between root traits such as phosphatase activities and the flux rates of exudates and rhizosphere soil P fractions. This study showed that trees would change the flux rates of root exudates and root phosphatase activities along soil P fraction concentrations (non-occluded P and organic P).

研究分野：森林生態学

キーワード：土壌 リン 細根 滲出物 有機酸 ホスファターゼ 森林

1. 研究開始当初の背景

リンは火山噴出物等に多く含まれ、時間経過に伴う土壌生成の過程で形態が変化する(Walker & Syers 1976; 図 1)。火山灰の供給初期に一次鉱物として土壌に加入したリン酸カルシウム (①) は、土壌風化とともに溶解し減少する。一方で初期の土壌には見られないが、土壌生成と共に、二次鉱物由来のリンである非吸蔵態リン (②) や、植物や微生物に取り込まれた有機態リン (③) が生成され、これらは土壌中での可溶性が低いので樹木にゆっくりと供給される。やがて、非吸蔵態リンは微細な粘土鉱物に保護された、植物の利用できない形態の吸蔵態リン (④) に変化する。これらの画分を全て足し合わせた全リン (⑤) は時間経過による土壌生成に伴い、減少していく。

これまでの研究代表者らの研究成果より、日本のような火山活動の盛んな温帯では、上述のすべてのリン画分が見られ、特に非吸蔵態リンと有機態リンが多くを占めることが明らかになっている(Mukai et al. 2016, 佐々木未発表)。森林生態系内を循環しているリン量などから、この非吸蔵態リンと有機態リンは、確実に樹木に吸収されていると考えられるが、リン分析の難しさなどから、森林生態系内でこれらがどのように利用されているか、その獲得様式は明らかではない。

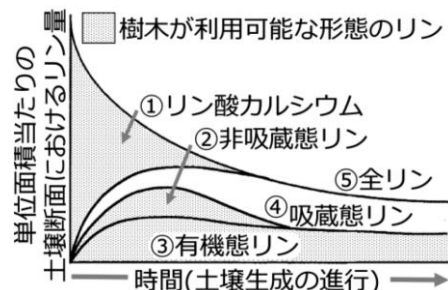


図1 時間変化に伴う土壌リン画分の変化

2. 研究の目的

本研究では、“土壌中での可溶性が低い非吸蔵態リンおよび有機態リンは、どのように森林生態系におけるリン資源として樹木に利用されているのか”という問いを設定し、非吸蔵態リンと有機態リンの樹木の獲得様式を明らかにすることを目的とした。

目的を達成するために、1)野外観察と、2)栽培実験の2つの方法で検証を行った。

先行研究より、非吸蔵態リンの溶解には根からの有機酸が、有機態リンには根からのホスファターゼ(リン酸分解酵素)がそれぞれの可給化に効果があることがわかっているため(図2)、これらを樹木のリン獲得戦略として扱う。

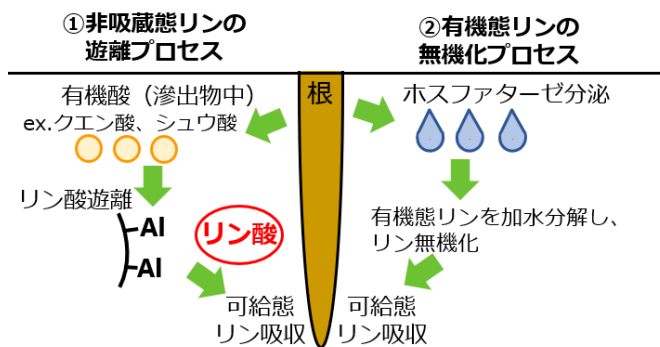


図2. 樹木細根分泌物による根圏でのリン可給化メカニズム

3. 研究の方法

1) 野外観察

野外観察では、環境省モニタリング1000サイトおよび大学の演習林を調査地とした。日本の同緯度帯に位置しコナラ (*Quercus serrata*) が優占する14の森林で調査を行った。これらの森林調査地では土壌全リン濃度が144~1232 $\mu\text{g/g}$ と大きく異なる。各調査地で林冠に達したコナラ成木を4個体選定した。各コナラ個体から表層5cm深のコナラの非根圏土壌と根圏土壌を採取し、同時にコナラの三次根までの細根滲出物を野外でPhillips et al. (2008)に倣い獲得した。採取した土壌のリン画分(可給態リン、非吸蔵態リン、有機態リン)をリン連続抽出法で、微生物バイオマス炭素・リン濃度をクロロホルム燻蒸法で、ホスファターゼ活性はTabatabai (1969)に倣い求めた。土壌に関しては、各調査地での根圏土壌の理化学特性を非根圏土壌の理化学特性で除することで根圏効果を求めた。細根滲出物に関しては有機酸濃度を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)、全炭素濃度を全有機態炭素計(TOC)を用いて分析し、単位時間当たりの細根有機酸・炭素分泌速度を求めた。

2) 栽培実験

栽培実験では、山梨県甲府市の愛宕山にて2021年10月に日本の二次林に広く生育するコナラ (*Quercus serrata*) の種子を採取し山梨大学内で栽培した。播種後44日経過したコナラ実生を2022年6月から9月までの114日間栽培した。栽培実験には有機態リンが多く含まれる愛宕山の表層土壌と、非吸蔵態リンが多く含まれる鹿沼土の2種類の土壌を用いた。

上層と下層で土壌を変えた3つの処理のポット(1:混合, 2:上;愛宕山, 下;鹿沼土, 3:上;鹿沼土, 下;愛宕山)を用意し、それぞれ6個体ずつコナラ実生を栽培した。いずれも土壌は上層と下層に同量ずつ入れた。収穫後に植物器官(葉、茎、根)の乾燥重量を測定した。収穫時

には細根および土壌を上層と下層ごとに採取し、細根のホスファターゼ活性、細根有機酸分泌速度、土壌リン画分濃度(有機態リンおよび非吸蔵態リン)を測定した。分析方法は野外観察と同様に行った。

4. 研究成果

1) 野外観察

各調査地でのコナラ細根からの有機酸分泌速度は大きなサイト間差が見られたが、高リン土壌よりも低リン土壌で樹木細根有機酸分泌速度が高い傾向が見られた。ただし、低リンの森林では細根有機酸分泌速度のばらつきも大きかった。また、分泌される有機酸も土壌全リン濃度で違いが見られ、低リン環境では多種の有機酸や特にリン遊離能が高いクエン酸の分泌が顕著に見られた。低リン土壌では微生物バイオマスや酵素活性を高めることにより根圏のリンの無機化が促進され、植物が利用可能な可給態リンを増大させ効率よくリンを獲得している可能性が示唆された。一方、高リン土壌では、樹木細根有機酸分泌速度は低い傾向が見られた。全リン濃度が高い森林では非吸蔵態リンも多く存在する一方で可給態リンも高濃度で存在することから、樹木は非晶質鉱物に吸着したリンを積極的に獲得する必要がない可能性が考えられる。一方、低リンの森林では根圏の微生物バイオマス炭素濃度やホスファターゼ活性を高めて植物が利用可能な可給態リンを増大させ、効率よくリンを獲得している可能性が示唆された。

2) 栽培実験

栽培実生の収穫時の植物器官乾燥重量は3処理間で有意差が無く全処理間で均等に成長したことが示された。細根ホスファターゼ活性は処理1では下層で有意に高く、処理2と処理3では土壌深度に関係なく有機態リン濃度が高い愛宕山土壌に接した細根で活性が高かった。収穫時の土壌有機態リン濃度は栽培前の土壌を反映し、愛宕山土壌で鹿沼土よりも高い傾向が見られた。また、全ての処理ポットをまとめると、細根ホスファターゼ活性と土壌有機態リン濃度の関係はどちらの層でも正の傾向が見られ、上層よりも下層で細根ホスファターゼ活性が高かった。これらの結果から、コナラ実生の細根ホスファターゼ活性は基本的に下層で高いことに加えて、土壌深度に関わらず上層でも下層でも土壌有機態リン濃度の高い場所で選択的に分泌を増加させている可能性が示唆された。

細根有機酸分泌速度は全処理において、有意差は見られなかったが、上層よりも下層で細根からの平均有機酸分泌速度が高かった。特に処理2の下層細根では他と比較して高い値を取っていた。栽培前後を比較すると、鹿沼土で愛宕山土壌よりも土壌非吸蔵態リン濃度の減少程度が大きく、有機酸により溶解した可能性が考えられる。

全ての処理ポットをまとめると、細根有機酸分泌速度と土壌非吸蔵態リン濃度で正の傾向が見られ、特に下層ではその傾向が有意であった。これらの結果から、栽培実生の細根有機酸分泌速度は、土壌深度に関わらず下層で高いことに加えて、特に下層では土壌非吸蔵態リン濃度の高い場所で選択的に分泌を増加させている可能性が示唆された。そのため、下層に非吸蔵態リンが多い場所では相乗効果により細根からの有機酸分泌が促進される可能性が示唆された。

樹木細根は土壌深度による土壌リン画分濃度の違いに応答して細根ホスファターゼ活性および細根の有機酸分泌速度を選択的に増加させている可能性が示唆された。ただし、本研究の結果より、実生と成木で樹木の成長段階に応じてリン獲得戦略は少し異なる可能性も考えられた。より詳細な知見を得るためにも今回得られた結果と林齢との関係、全リンに占める各リン画分の割合などを追加検討していく必要がある。

以上の結果は第60回および第70回日本生態学会にてポスターによる研究発表を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Mana Mukai , Shin-ichiro Aiba , Kanehiro Kitayama	4. 巻 35
2. 論文標題 Effects of tree-root exudates on the solubilization of phosphorus adsorbed to non-crystalline minerals in the rhizosphere volcanic soils on Yakushima Island, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 TREES-STRUCTURE AND FUNCTION	6. 最初と最後の頁 2031-2041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00468-021-02170-3	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 -

1. 著者名 Aung Zaw Oo , Yasuhiro Tsujimoto , Mana Mukai , Tomohiro Nishigaki , Toshiyuki Takai , Yusaku Uga	4. 巻 11
2. 論文標題 Synergy between a shallow root system with a DR01 homologue and localized P application improves P uptake of lowland rice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-89129-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ayako Izuno , Yusuke Onoda, Gaku Amada, Keito Kobayashi, Mana Mukai, Yuji Isagi, Kentaro K. Shimizu	4. 巻 18
2. 論文標題 Demography and selection analysis of the incipient adaptive radiation of a Hawaiian woody species	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS Genetics	6. 最初と最後の頁 e1009987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pgen.1009987	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 向井真那, 水上知佳, 澤田佳美, 北山兼弘
2. 発表標題 土壌リン可給性の異なるコナラ林での細根滲出物の種内変異と根圏土壌に及ぼす影響
3. 学会等名 第69回日本生態学会
4. 発表年 2021年～2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------