

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22380083

研究課題名(和文) 樹木細根系の物質循環と共生微生物の機能

研究課題名(英文) Decomposition of tree fine roots and nutrient dynamics in relation to symbiotic microbes

研究代表者

奈良 一秀 (Nara, Kazuhide)

東京大学・新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：60270899

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円、(間接経費) 3,810,000円

研究成果の概要(和文)：樹木のほとんどの細根には菌根菌が共生している。菌根が枯死・脱落することで年間に土壌中に供給される有機物の量は、地上部から供給される落葉や落枝の量を上回ると考えられているが、その分解課程についてはほとんど分かっていない。本研究では、樹木の菌根をメッシュバックに入れて林地に埋設し、その後の分解過程を2年間にわたって追跡調査した。その結果、菌根は葉に比べて分解速度が何倍も遅く、95%分解されるまでには約20年必要であると推定された。また、分解に伴って重量や炭素量は減少したものの、窒素量は逆に増加する傾向を示した。また、菌根の分解過程においてどのような微生物が関与しているのかについても新規知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Fine roots of trees are mostly colonized by mycorrhizal fungi. Due to the short turnover periods of mycorrhizal root tips, annual organic input into soil from mycorrhizal roots exceeds the amount of above-ground leaf litter. But, the decomposition process of mycorrhizal roots is largely unknown. In this study, we buried mesh-bags containing mycorrhizal roots under forest floor and monitored decomposition processes over two years. We found that the decomposition of mycorrhizal roots was far slower than that of leaf materials. A model estimated that nearly 20 years would be required for 95% decomposition of mycorrhizal roots. In contrast to the decrease in total dry mass and C amount during decomposition, N amount significantly increased even at the end of the monitoring period, probably due to the colonization of nitrogen rich fungi and bacteria. We also identified bacteria and fungi that were responsible for the decomposition of mycorrhizal roots.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林科学

キーワード：物質循環 菌根 分解

1. 研究開始当初の背景

(1) 森林の全ての樹木は菌根菌と共生している。その中でも、マツ科やブナ科などの主要な樹木と共生する外生菌根菌(以下、菌根菌)は一つの林分でも300種を超えるほど多様であり、その多くはいわゆるキノコ類である。野外では樹木の細根のほぼ全てが菌根化しているため、森林土壌中には菌根が普遍的に存在する。菌根からは無数の菌糸(菌糸体)が土壌中に張り巡らされており、土壌中の養分を効率的に吸収できる。樹木は養分吸収の大部分を菌根菌に依存しており、菌根菌と共生しなければ自然界で生き残ることはできない。一方、こうした菌根菌の活動を支えるため、樹木は光合成産物の約2割を菌根菌に供給している。生物活動の指標となる呼吸量で見ても、森林の土壌呼吸の約5割は菌根と菌糸体によるものであると推定されている。

(2) 活動中の菌根や菌根菌の機能・役割に着目した研究に比べて、活動を終えた菌根などに関する研究例は極めて少ない。しかし、これまで私たちが菌根を調査した国内外の森林では、量的に見て枯死菌根の方が圧倒的に多かった。事実、菌根や菌糸体は光合成産物の主要なシンクであると同時に、そのほとんどが長くても数ヶ月のうちに脱落してしまうものである。このため、森林生態系全体で土壌(腐食連鎖)に供給される年間有機物量で見ると、落葉落枝などの地上部からの供給量にくらべて、菌根や菌糸体など樹木細根系から供給される量の方が遥かに多いと推定されている。また、樹木細根系から出る有機物は、活動中の菌根が集中し養分吸収が活発に行われる表層土壌中に供給されることから、その分解や養分再利用の機構は樹木の成長にも深くかかわっていると考えられる。このように、活動を終えた菌根や菌糸体などの分解と物質循環は、森林全体の物質循環において極めて重要であると考えられるが、その実像は全く分かっていない。

2. 研究の目的

(1) 森林の物質循環の主要要素である菌根などの樹木細根系は、その生産と分解が土壌中で行われており、直接観察することができない。このため、樹木細根系の分解課程には不明な点が多く、森林の物質循環を理解する上で大きなブラックボックスとなっている。本研究では、樹木細根系の分解課程に関して基礎的な知見を得るため、富士山の溶岩流跡地に成立したアカマツ林を対象にして、菌根がどのような速度で分解されるのか、分解に伴って含有成分はどのように変化するのか、どのような微生物が分解に関与しているのかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 調査林分である富士山北部の剣丸尾アカマツ林(標高約1040m)内の15地点から細根を採取した。採取した細根は洗浄、乾燥ののち、ふるい分けによって、菌根を中心とする樹木細根試料を得た。一定量の試料をメッシュバッグにつめて現地森林のそれぞれの採取地点に埋設した。また、感染している菌根菌種による違いを見るため、実験室の接種実験によって作成した特定菌種(5種)のアカマツ菌根試料も同様に処理した。葉と細根系の比較のため、アカマツとソヨゴの葉も同様にメッシュバッグに入れた後、現地に埋設した。一部試料は御庭近辺のコメツガ林(標高約2200m)にも埋設した。

(2) 埋設したメッシュバッグを2年間にわたって定期的に回収し、試料の乾重量の減少を調べ、分解速度を推定した。また、分解に伴う試料の成分変化を明らかにするため、NCアナライザーによって炭素量と窒素量を測定したほか、炭素と窒素の自然安定同位体比(^{13}C と ^{15}N)を調べた。分解過程における窒素固定の有無を調べるため、アセチレン還元活性を測定した。

(3) 分解に関与する微生物を同定するため、回収した試料から直接DNAを抽出した。バクテリアに関してはrDNAの16S領域の塩基配列、菌に関してはrDNAのITS領域の塩基配列を利用した。それぞれの領域を特異的なプライマーを用いてPCR増幅した後、454GS junior (Roche)を用いたパイロシーケンシング解析を行った。クオリティーチェックをクリアしたリードをもとに、種群(MOTU; Molecular Operational Taxonomic Units)にグルーピングした後、既存データベースとの相同性検索によって種を同定した。微生物群集の統計解析にはNMDS(Non-metric multidimensional scaling)とPerMANOVA(permutational multivariate analysis of variance)を用いた。各分解試料をサンプリングユニットとし、各分解試料のOTUのリード数をデータとして用いた。

4. 研究成果

(1) アカマツ林内に埋設した試料では、開始から1ヶ月間に大きな乾重量と炭素量の減少が見られ(図1)、可溶性炭水化物の溶出と初期分解が急激に起こったことを示唆している。試料埋設翌年になると菌根サンプルの分解が停滞していたのに対し、葉の分解は進み13ヶ月後には初期重量の約半分になった(図1)。菌根試料には菌の細胞壁成分であるキチンが多く含まれている。葉と菌根試料の分解速度の違いは、こうした菌特有の細胞壁成分が影響していると考えられる。菌根試料の乾重量の減少率(13ヶ月後)は初期窒素濃度と高い負の相関を示し($R=0.57$, $p < 0.001$)、

菌根の初期窒素濃度が分解速度を決定する要因の一つであることが明らかにされた。細根にもともと共生していた菌根菌の種が分解に及ぼす影響については、分解が遅く、統計的に有意な差は認められなかった。アカマツ林とコメツガ林の比較では、年平均気温が約 7.5 低いコメツガ林において分解が遅い傾向が見られた。

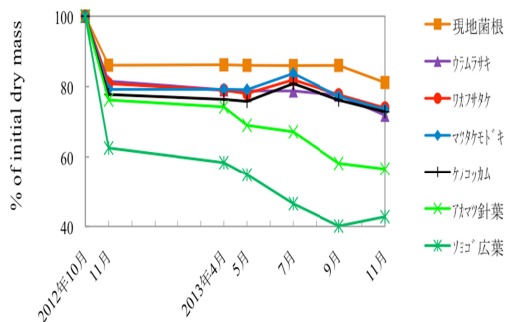


図1 アカマツ林に埋設した試料の分解に伴う乾重量の推移
横軸はメッシュバッグの回収月を示す。縦軸は埋設前の乾重量を100%とした時の相対乾重量を表す。エラーバーは見易くするために割愛してある。

(2) 乾重量や炭素の推移とは対照的に、窒素量は分解とともに増加する傾向を示し(図2) 13ヶ月後には最大で初期窒素量の175%に達した。分解試料の初期窒素濃度はいずれも2%以下であったのに対し、調査地で採取した菌根の子実体の窒素濃度は3.6~7.6%であり、菌根が分解試料に定着することにより窒素量が増加した可能性がある。また、一部の試料にはアセチレン還元活性が認められたことから、分解試料中のバクテリアが空中窒素の固定を行ったことも窒素量増加の要因として考えられる。事実、窒素固定活性が知られるバクテリアが一部の試料から同定されたほか、いずれの分解試料においても窒素安定同位体比が空中窒素の値に近づく傾向を示した。

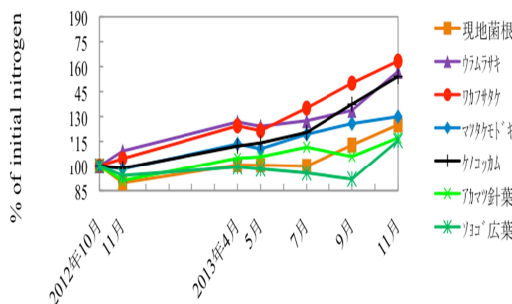


図2 アカマツ林内に埋設した分解試料中の窒素量の推移
横軸はメッシュバッグの回収月を示す。縦軸は埋設前試料の窒素量を100%とした時の相対値。エラーバーは割愛。

(3) 分解試料に含まれるバクテリア群集を比較すると、菌根菌の種による違いは見られなかったが、埋設前後 ($p = 0.002$)、林分間 ($p = 0.007$)、葉と菌根試料の間 ($p = 0.003$) では有意な差が認められた(図3, 4)。プロトバクテリアの出現頻度が全体的に高かった。

分解試料中の菌類群集でも同様の傾向が見られ、場所や分解基質によって分解に参与する微生物は異なることが明らかとなった。主要な分類群としてピョウタケ目に属する菌類の出現頻度が高かったほか、樹木に共生する菌根菌も数多く検出された。こうしたことから、いわゆる腐生菌ではない、樹木根の内生菌や共生菌が細根の分解に参与していることが示唆された。

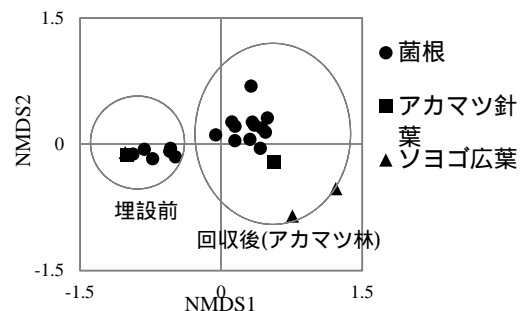


図3 分解試料中のバクテリア群集(林分の比較)

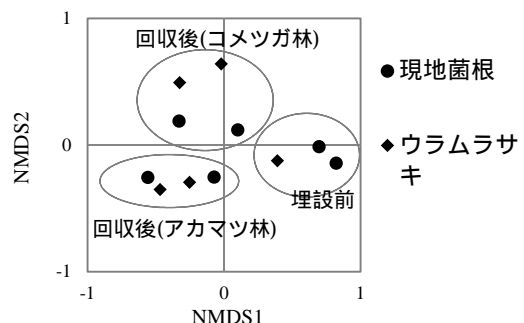


図4 アカマツ林の分解試料中のバクテリア群集(基質の比較)

(4) 現地アカマツ林の土壌は溶岩上に堆積した腐植が大部分を占める。分解の進んだアカマツ菌根試料の¹³Cと¹⁵Nは現地の土壌と極めて近い値を示し、この場所の土壌形成に大きく関与することが示唆される。また、葉と比べて菌根試料の分解は遅いことから、現地の土壌炭素蓄積には細根系が大きな役割を担っていることが明らかにされた。

(5) 重量減少から菌根の分解(95%の分解)に要する年月をモデルによって推定すると、15年から20年という値が得られた。これは葉の分解が数年と推定されたのに比べて

遙かに長い年月である。菌根の分解過程の全容を明らかにする、更に長期間にわたって分解過程を追跡調査する必要がある。

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 4 件)

Wadud MA, Nara K, Lian C, Ishida TA, Hogetsu T (2014) Genet dynamics and ecological functions of the pioneer ectomycorrhizal fungi *Laccaria amethystina* and *Laccaria laccata* in a volcanic desert on Mount Fuji. Mycorrhizal (in press), 査読有

Miyamoto Y, Nakano T, Hattori M, Nara K (2014) The mid-domain effect in ectomycorrhizal fungi: range overlap along an elevation gradient on Mount Fuji, Japan. The ISME Journal (in press), 査読有

奈良一秀 (2014) 木を育て、森を生み出す微生物「菌根菌」。森林科学 70: 31-34. 査読有

田中恵・奈良一秀 (2014) 野外菌根から得られた菌根圏バクテリアが培養菌系成長に及ぼす影響。関東森林研究 65:123-126. 査読有

[学会発表](計 2 件)

佐藤陽水・田中恵・中野隆志・奈良一秀 (2014) アカマツ細根系の分解過程。第 125 回日本森林学会大会(大宮ソニックシティー 3.29)

田中恵・佐藤陽水・中野隆志・奈良一秀 (2014) アカマツ細根系の分解にともなうバクテリア群集。第 125 回日本森林学会大会(大宮ソニックシティー 3.29)

[図書](計 2 件)

奈良一秀 (2014) 菌根：地面の下の隠れた主役。In 教養としての森林学。井出他編。文英堂出版。pp. 227-228.

奈良一秀 (2013) 地下から森林を見つめ直す。In 「アジアの生物資源環境学」。則定・小島 編。東京大学出版会。pp. 244.

[その他]

ホームページ等

http://lbf.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/contents/Nara_lab/Top.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

奈良一秀 (NARA, Kazuhide)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：60270899

(3)連携研究者

田中恵 (TANAKA, Megumi)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任研究員

研究者番号：40401301