

森林生態系における植物細根と菌根菌のバイオマス

里村 多香美

広島大学大学院生物圏科学研究科

Biomass of fine roots and mycorrhizal fungi in forest ecosystems

Takami SATOMURA

*Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan*

菌根性植物では、根系で直径が最も小さい部分（細根；通常は直径が2 mm以下）とそこに共生する菌類（菌根菌）は、水や栄養塩を獲得するために極めて重要である。同時に、細根と菌根菌は植物の葉が光合成によって得た炭水化物のシンクとなっている。これらの事実は広く認識されているにも関わらず、自然生態系に細根と菌根菌がどの程度存在するのか、といったごく基本的な事柄について十分な情報が得られていない。本研究では、細根と細根中の共生菌類のバイオマス、細根のターンオーバーを明らかにする、という定量的なアプローチを用いて森林生態系における細根、菌根、菌根菌の役割について考察した。

具体的には、森林の地下部に目を向け、細根とそこに含まれる菌根菌のバイオマスという静的な要素と細根の生成・枯死量という動的な要素を数値化した。これらの数値を用いて、大きく分けて二つの事柄を考察した：A. 樹木衰退の指標としての細根と菌根菌のバイオマスの有効性、B. 細根と菌根菌の炭素循環における役割について、である。

A. 樹木衰退の指標として

A-1. 広島県極楽寺山周辺のアカマツ細根量

極楽寺山周辺において、アカマツの枯損木が多く見られる立地（衰退地）と枯損木が少ない立地（非衰退地）に3箇所ずつ調査枠（6 × 6 m²）を設け、枠内でリター直下の深さ0-5 cmの土壌（主に鉱質土壌でわずかに有機質土壌を含む）において細根量を調査した。単位立地面積あたりの細根量は、立木密度やアカマツ個体の大きさ（胸高直径）に関わらず、16.1-43.5 g m⁻²の範囲内にあり調査地間での違いは見出せなかった。

A-2. アカマツ林の林床植生管理林、非管理林におけるアカマツとアカマツ以外の植物細根量

東広島市の吉川、鏡山、及び廿日市市の後畑3つの地域で、隣接した2つの林分、すなわち林床植

生や灌木の刈り取りが行われている林分(管理林分)と管理の行われていない林分(非管理林分)を各1箇所ずつ選び、リター直下の深さ0-5 cmの土壌(主に鉱質土壌でわずかに有機質土壌を含む)のアカマツおよびアカマツ以外の植物細根量を調査した。単位立地面積あたりのアカマツ細根量は、管理の有無に関わらず16.1-55.5 g m⁻²の範囲内にあり、調査地間の違いは検出されなかった。しかしながら、アカマツ以外の植物細根量は、どの地域においても管理林分より非管理林分で多い傾向があった。このことから、非管理林分ではアカマツ以外の植物細根がより多くアカマツの根圏に侵入することで、限られた土壌空間での水や栄養塩獲得の競争が激しくなることが予想された。その予想を支持するように、非管理林ではアカマツ針葉のクロロフィル含量や窒素含量が低く、葉内の¹³C比が高く気孔が閉じ気味であり、最大光合成速度も遅いことなどから、管理林よりも水や栄養塩が制限されていることが示唆されている(共著であるKume *et al.*, 2003)。

A-3. 神奈川県大山周辺のモミ林におけるモミ細根量と細根の菌類含量の調査

大山周辺の様々な立地に生育するモミを1998年に9本、1999年に8本選び、幹の基部から一定距離にあるリター直下から5 cmの深さの位置(主に有機質土壌でわずかに鉱質土壌を含む)のモミ細根を採取し、現存量と細根の菌類含量を調査した。単位土地面積あたりのモミの細根量は、大部分が16.3-39.0 g m⁻²の範囲内に収まっていたのに対し、都市側斜面の標高の高い地点に生育するモミではすべて13.9 g m⁻²よりも少ない傾向があった。大山の南西斜面、標高の高い立地では、極めてpHの低い酸性霧(最低pH = 1.95)が観測されており(森ら, 1997)、土壌の酸性化も懸念されている。酸性霧が直接地上部の物質生産に及ぼす影響や土壌の酸性化を介した間接的な影響がモミの細根量の低下に関連している可能性がある。一方、細根の菌類含量の指標であるモミ細根のエルゴステロール含量は、標高、生育場所に関わらず、81.4-332.4 μg g⁻¹ root dwの範囲内におさまっていた。

以上から、細根量は、アカマツでは樹木衰退の指標として有効ではなかったが、モミでは有効であることが明らかになった。

B. 物質循環における役割

B-1. 広島県東広島市のアカマツ林におけるアカマツ細根と細根中の共生菌類のバイオマス

アカマツ林において、アカマツ細根を直径と形態から3つに区分し(Class I root; 直径0.5 - 2.0 mmの長根, Class II_L root; 直径0.5 mm以下の長根, Class II_S root; 直径0.5 mm以下の短根), 1998年7月に掘り取り法を用いてリター直下から鉱質土層の深さ50 cmまでに存在するClass I rootの量を、コアサンプリング法を用いてリター直下から鉱質土層の深さ10 cmまでに存在するClass II rootの細根量を、それぞれ測定した。さらに、Class I, II_LとII_Sの細根の各々においてエルゴステロール含量(菌類に特有な細胞膜成分)を測定し、文献で得られた菌類のエルゴステロール含量を用いて、その菌類含量を推定した。

アカマツ細根のエルゴステロール含量は43.1-231.0 μg g⁻¹ root dwであった。細根のバイオマスは91.0 g m⁻²、細根中に含まれる菌類バイオマスは2.0 g m⁻²(細根の約2.2%)となり、各々がアカマツの地下部全体のバイオマス(3932.0 g m⁻²)に占める割合はわずか2%と1%未満であることが明らかになった。以上のことから、アカマツ林は他の森林タイプに比べ、細根のバイオマス、地下部バイオマス全体に占める細根の割合が少ない森林であることが示唆された。

B-2. 岐阜県高山市の冷温帯落葉広葉樹林における地下部全体のバイオマス, 細根と細根中の共生菌類のバイオマス

岐阜大学高山試験地の冷温帯落葉広葉樹林において, 2000年9月に1回掘り取り法により鉍質土層の深さ50 cmまでの直径1 mm以上の根の太い根のバイオマス調査を行い, 2000年8月から2001年7月までの間に4回(土壌深度5-10 cmでは3回)土壌コアサンプリング法によりリター直下の深さ0-5 cm, 5-10 cmの有機質土壌において細根のバイオマス調査を行った。

樹木の外生菌根, 樹木の細根(非菌根), およびクマイザサの細根のエルゴステロール含量は, 各々781.6, 214.3, および72.2 $\mu\text{g g}^{-1}$ root dwであった。土層表層から土壌深度50 cmまでの樹木の太い根(直径1 mm以上)のバイオマスは2045.1 g m^{-2} , クマイザサの地下茎のバイオマスは548.7 g m^{-2} であった。土壌表層0-5 cmと5-10 cmにおける細根量(樹木 + ササ)は, 各々調査期間を通じて101.5-120.5と60.1-72.6 g m^{-2} の範囲内で変動していた。試験地近辺で土壌深度45cmまでの細根量の調査を行った結果では, 土壌表層0-10 cmには全細根の約63.5%の細根が分布していたことが明らかになっている(Hashimoto and Hyakumachi, 1998)。これらの値を適用すると, 樹木とササの細根のバイオマスは約278.0, 63.3 g m^{-2} , 各々の細根中に含まれる菌類バイオマスは18.4, 2.8 g m^{-2} (樹木細根の6.6%, ササ細根の11.5%)となった。結果として, 樹木とササの細根のバイオマスが各々の地下部全体のバイオマス(2323.1と612.3 g m^{-2})に占める割合は12%と約10%であること, 樹木とササの細根中の菌類バイオマスが各々の地下部全体のバイオマスに占める割合は, 約1%と1%に満たないことが明らかになった。

以上から, 複数の手法を組み合わせることで, 細根の現存量と菌類含量, 細根の生産量を推定することが可能となった。アカマツ林よりも冷温帯落葉広葉樹林のほうが細根の現存量および菌類含量が高く, 物質循環における寄与率も高い可能性が示された。

B-3. 岐阜県高山市の冷温帯落葉広葉樹林の炭素循環における細根と菌根菌の役割

冷温帯落葉広葉樹林では, ミナライゾトン法を導入することで, 細根と細根中の菌根菌のバイオマスだけではなく細根の生成量と枯死・分解量を推定する試みを行った。本法は, アクリル製またはガラス製の中空で透明なチューブを地中に埋設し, チューブの中に光ファイバーやCCDカメラを挿入して透明なチューブの外壁と土壌の境界に現れる根を観察するシステムである。森林でこの手法を用いて根の生産量を求めた研究事例は, 日本ではほとんどなく, 世界的にも限られている。よって, 本研究でミニライゾトン法を新たに導入するにあたり研究手法の特徴とそれによって得られるデータから細根の純生産を求める方法を記した。冷温帯落葉広葉樹林では, 以下の要領で研究を行った。まず, ミナライゾトンを用いて細根を定位置で連続観測し, 観察面での細根の減少量と生産量を測定した。具体的には, ミナライゾトン法によって観察開始時(2000年7月)に確認された細根長, その後1年間(6回観察)に新たに生成した総細根長と新たに枯死した総細根量を得, 生成ターンオーバーと枯死・分解を算出した。観察面で得られた細根量の最大値でこれらの値を割ることで, 細根のターンオーバー(回 year^{-1})を得た。土壌コアサンプルで得られた林分の土地面積あたりの細根量にこれらのターンオーバーの値を掛け, 林分の細根の生成量と細根の枯死・分解による土壌への有機物付加量を得た。

その結果, 生成ターンオーバーは, 土壌深度に関わらずほぼ一定で0.94 - 1.22の範囲内の値を示し, 平均1.11であった。一方, 枯死・分解ターンオーバーは, 土壌深度によって有意に異なり, 土壌深度0-5 cmで1.14, 5-10 cmで0.73, 10-15 cmで0.48, 15-20 cmで0.35と, 土壌深度が深

くなるにつれて小さくなる傾向があった。土壌コア法で得た各土壌深度における細根量と生成ターンオーバー、枯死・分解ターンオーバーの値から、細根の生成量は $378.3 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ 、細根の枯死量は $261.3 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ と推定された。本研究で得られた細根(樹木 + ササ)の純生産の値($378.3 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$)は、相対成長式から推定した高山試験地における樹木地下部の純生産、 $882.0 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ (秋山ら, 1996)、の約 42% に相当する。樹木の細根を考慮した樹木地下部の純生産の値は最大で従来の値の 1.4 倍であり、従来の推定値は最大で 30% も過小評価である可能性が示された。細根の炭素含量を 50% と仮定すると、細根の生成量の値から約 $200 \text{ g C m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ の炭素吸収量を過小評価していると考えられた。また、細根の枯死量 ($261.3 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$) は、落葉量 ($340 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$)(賈ら, 2002) の 77% に相当した。以上から、炭素をはじめとする森林の物質動態の研究において非常に貴重な基礎データを取得できた。

Keywords: エルゴステロール, 森林衰退, ミナライゾトロン, 炭素循環, ターンオーバー

References

- 秋山侃・菊地多賀夫・小泉博・安藤辰夫・西條好迪・津田智・莫文紅・橋本靖・大塚俊之・西村格 1996. 岐阜大学流域環境研究センター報告 4: 28-32.
- Hashimoto, Y. and Hyakumachi, M. 1998. Journal of Forest Research 3: 243-245.
- 賈書剛・酒井徹・秋山侃・小泉博 2002. システム農学 18: 142-151.
- Kume, A., Satomura, T., Tsuboi, N., Chiwa, M., Hanba, Y. T., Nakane, K., Horikoshi, T. and Sakugawa, H. 2003. Forest Ecology and Management 176: 195-203.
- 森孝司・大河内博・井川学 1997. 大気環境学会誌 32: 157-161.