

熱帯林生態系における土壌微生物群集の組成と機能

和穎朗太・潮雅之・北山兼弘（京都大学生態学研究センター）

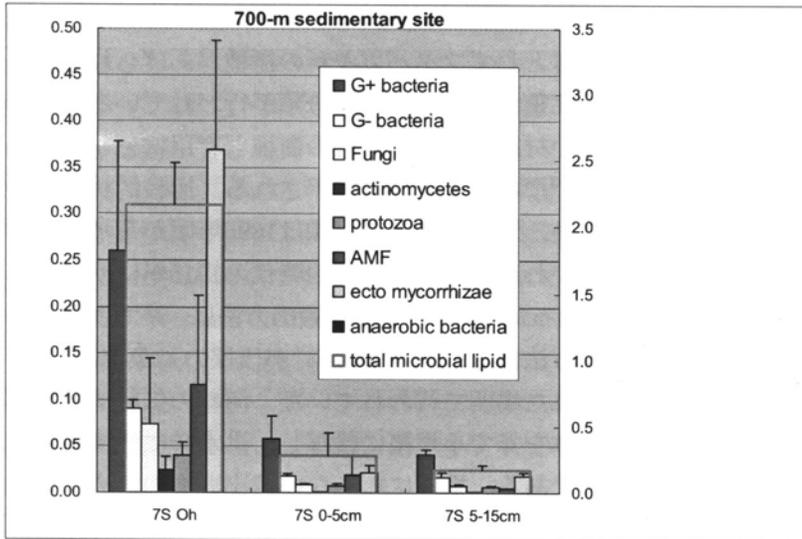
陸上生態系の中で、土壌微生物群集の組成と機能はほとんどよくわかっていない。土壌微生物群集は有機物の無機化を通して栄養塩循環を駆動しているが、どのような分類群がどのような機能を果たしているのか、についてはブラックボックスとして残されている。生態系における分解者としての土壌微生物の重要性は気候帯にかかわらず重要であるが、特に熱帯林の中では生態系維持にとって決定的な重要性を持っている。その理由は、熱帯林は風化の進んだ土壌に成立しており土壌栄養塩が極めて低濃度になっているか、あるいは植物が直接利用できない形になっているからである。次に、熱帯土壌では、コロイド鉱物が卓越し、これが鉱物表面との吸着反応によって微生物の体外酵素を失活させる効果をもたらす。このような特性を持つ土壌の上に巨大な熱帯林生態系が維持されている一つの理由として、適応的な微生物群集が土壌表層に存在し、有機物の無機化を効率的に進めている可能性がある。私たちは、熱帯林土壌の微生物群集の組成と機能を明らかにするべく研究を行ってきた。ここでは、森林間及び森林内での微生物群集組成の空間変化と酵素活性を指標とした分解機能について報告したい。

調査はキナバル山において行った。キナバル山には自然林が麓から山頂部まで残り、複数の標高に長期観測区が置かれている。森林間の群集比較については、標高や地質条件が異なる6つの森林において土壌を採集した。各森林において、複数のランダム地点を選び、土壌をリター（植物遺体）層と鉱物層（1 mまで）から深度別に採集した。試料はすぐに凍結乾燥し、深度毎にまとめリン脂質脂肪酸（PLFA）を抽出し、微生物分類群特異的バイオマーカーの解析を行なった。森林内での群集組成の空間変化については、堆積岩由来の土壌上に発達した低山地熱帯降雨林内で、5種の優占樹種を選び、それらの樹冠下から土壌を採集することにより、樹種依存的な土壌微生物群集が存在するのかを検討した。土壌は各樹種から5本の反復木を選び、各反復木の根元から表層土壌（5 cm）を採集し、上と同じように処理・分析をした。また、新鮮な土壌を使い、土壌微生物群集の分解能力の指標として3種類の酵素について活性を調べた（acid phosphatase, beta-D-glucosidase, phenol oxidase）。

森林間の微生物群集組成変化： 土壌微生物群集には、標高の低下とともに真菌/細菌比の減少と細菌類のG⁻/G⁺比の減少（つまりグラム陽性型細菌が増える）の明瞭な傾向がみられた。また、1つの森林内では、土壌の表層から下層に下がるに従って、真菌/細菌比が増加し、G⁻/G⁺比が減少する傾向がみられ、これはどの森林でも一貫していた。以上の標高そして土壌深度変化に伴う群集構造のシフトは、土壌有機物（資源）濃度そして土壌鉱物の形態の変化から説明できる。気温の高い低地熱帯林では、土壌にマイクロ・ナノスケールの鉱物（カオリナイトや鉄酸化物）が卓越している。これまでの研究から、土壌有機物のほとんどがこれらの鉱物と密接に吸着した形態として存在している。このような、資源に乏しく、コロイド鉱物の卓越する厳しい環境では、真菌類よりも効率的に休眠状態に入ることのできる細菌類、特にその中でも厚い細胞壁を持ち環境変動への耐性が高いグラム陽性細菌がより適応的であるという解釈が成り立つ。さらに、低地のコロイドが卓越する中で、わずかに存在する鉱物非吸着の植物遺骸を主とする土壌画分では、真菌/細菌比が高かった。つまり熱帯土壌の微生物群集は（1）断続的に加入する有機物を効率的に利用する真菌/細菌比の高いタイプの群集と（2）コロイド鉱物に吸着した難分解性の有機物をエネルギー源とする真菌/細菌比またはG⁻/G⁺比の低いタイプの群集、の二つに大別できる。熱帯林の中でも、有機物の量や断続性、あるいは粘土コロイドの形態や量に応じて、これらの微生物群集にシフトが起こり、これが熱帯林生態系維持に関わっている可能性が示唆された。

森林内の微生物群集組成変化： 24の土壌サンプルを、リン脂質脂肪酸モル比に基づいて主成分分析展開をしたところ、1軸と2軸の極座標において統計的に有意な樹種毎のクラスターが認められた。このことから、土壌微生物群集は樹種依存的に特異な組成を持っていることが確かめられた。土壌酵素については、acid phosphatase と beta-D-glucosidase において統計的に有意な活性差が樹種間で認められた。さらに、phenol oxidase 活性については、土壌から純水によって抽出した可溶性 total phenolics 濃度と有意な正の相関が認められ、これも上から加入するリターの質の強い影響を示唆した。

森林利用と土壌微生物の機能： 森林内で樹種依存的な土壌微生物群集が認められたことから、森林間での微生物群集の変化は巨視的な気候自体の変化と同時にそれと共変化する樹種組成の変化にも起因している可能性がある。そうだとすれば、デラマコットで認められたように、破壊的な森林伐採によるフタバガキ科樹木優占林分から *Macaranga* 属優占林分への変化は土壌微生物群集の変化も伴っていると推測される。原生林表層土壌では真菌/細菌比やGm⁻/Gm⁺比が特異的な微生物群集が形成されているが、表土の剥ぎ取りや攪乱は土壌微生物群集組成の変化を引き起こすと思われる。森林利用によって、樹種交代と有機質表土の変化が生じ、これが土壌微生物群集組成の変化と酵素活性の変化につながって、分解機能が変化する可能性が示唆された。



キナバル山低地熱帯林 (700m) の3つの深度における土壌微生物群集の例。左縦軸は分類群の優占度を各分類群毎の PLFA 濃度(nmol g⁻¹)で、右縦軸は各深度における合計微生物量を PLFA 濃度(nmol g⁻¹)で表した。深度は、左から表層(Oh)、0-5cm、5-15cm。