

土の中の細菌の生息部位

西山 雅也（東京大・農）

はじめに

土壌は、大きさや理化学的性質の異なる種々の無機物と種々の有機物から構成されている。これら構成要素はそれぞれが単独で存在するのみならず、凝集あるいは結合し、二次的構造体である土壌団粒としても存在する。微生物の大きさに相当するスケールで土壌を捉えることができるならば、一見、均一に見える一握りの土は、環境条件の異なる微小領域から成る不均質な環境である。加えて、とりわけ、水分連絡が切断された土壌水分含量の場合には、土壌の物理的構造が原因となり、微小領域が互いにほぼ孤立して存在するであろう。ミクロスケールでの土壌環境の多様性と隔離を考慮することにより、土壌中の微生物に関する理解が容易になる場合がある。土壌中での微生物の挙動・土壌に接種された微生物の定着可能性、土壌の微生物多様性と、土壌の物理的構造・土壌のコミュニティ構造の関連を議論する本研究会では、以下の3つの話題を提供した。

土の中での細菌の挙動と生息部位

農業の長期連用が土壌生態系に与える影響の評価を目的として東京大学農学部に設けられた試験区土壌には、農業投与開始前には存在しなかった農業成分（ γ -1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane）分解細菌が土壌細菌の一員として定住するに至った（以下、土着分解細菌と記す）。分解細菌を試験区土壌から単離培養し、土壌に接種したところ、この接種分解細菌の動態が土着分解細菌の動態と以下の点で異なることが見出された：（1）畑水分状態の土壌では、土着分解細菌が1 g 土壌あたり数千～数万個体の細菌密度で長期間生き残るのに対し、接種分解細菌は生き残らず計数限界以下に死滅する；（2）土壌を自然乾燥させた場合、乾燥前の細菌密度の大小にかかわらず土着分解細菌は1 g 土壌あたり数千個体が長期間生き残るのに対し、接種分解細菌は生き残らずに計数限界以下に死滅する；（3）土壌の垂直方向に水が流れた場合、透水前の細菌密度の大小にかかわらず接種分解細菌の約 10

%が水流とともに下方へ移動するのに対して、土着分解細菌の場合は、透水前の細菌密度が 1 g 土壌あたり数千個体以上の場合には接種分解細菌同等の比率で下方へ移動するが、透水前細菌密度が 1 g 土壌あたり数千個体程度に少ない場合には移動する個体がほとんど無い；（4）土壌を燻蒸殺菌剤で処理した場合、接種分解細菌よりも土着分解細菌の方が生残率が高い；（5）団粒が主体の大きな土壌画分と団粒をほとんど含まず微小粒子が主体の小さな土壌画分を比較すると、接種分解細菌および細菌密度が高い時期の土着分解細菌は小さな土壌画分に多数生息するのに対して、細菌密度が 1 g 土壌あたり数千個体の時期の土着分解細菌はほとんどの個体が大きな土壌画分に生息する。また、土壌中での分解細菌の減少の要因が、土壌原生動物による細菌捕食作用であることが示された。以上の結果から、数千個体の土着分解細菌に対し、捕食、乾燥、水流、燻蒸剤の影響を緩和し得る土壌微小領域として、団粒に形成される微小孔隙を想定した。微小孔隙へ接種分解細菌を進入させることを念頭に、接種分解細菌が土着分解細菌と同様の生残性・挙動を示すような接種方法を検索し見い出した。この接種方法と孔隙径既知の多孔質ガラスを組み合わせることにより、直径 10 μm 程度の孔隙が、分解細菌が安定に生息する土壌微小領域であることを見い出した。

本事例は、同一種の細菌個体でも、土壌中での生息部位が異なるならば、捕食・乾燥・透水などの影響を被る程度が異なり、細菌個体によって辿る運命（生死・移動など）が異なることを示している。また、本分解細菌の場合、安定に生残可能な個体数が 1 g 土壌につき数千個体でほぼ一定であったことから、土壌が提供する生残部位には限度が存在し、これを超過した以降に新たに生まれた個体は長期生残不可能な土壌領域で活動し、活動を終えた後には速やかに死滅するものと思われる。

一粒の粒子から見る土壌の細菌多様性

土壌は、しばしば「微生物の宝庫」と形容されるように、様々な種類の微生物の生息の場である。一般的には、土壌には水環境よりも多種類の微生物が生息していると考えられており、ある試算では、一握りの土壌に数千から百万種を超える原核生

物が生息すると推定されている。土壤環境が内包する不均質性 heterogeneity が、土壤の高い微生物多様性に寄与していると推定されているが、具体的な実験結果でこのことを示した事例は少ない。そこで、ミクロスケールにおける不均質性の一因である土壤の砂画分粒子（大きさ 数百 μm 程度）について、1 粒子ごとの細菌集団構成を比較した。その結果、細菌集団の構成が粒子ごとに異なっていたことから、個々の砂粒子が、土壤全体としての高い細菌多様性の構築に寄与していることが示唆された。さらに、砂粒子の鉱物学的な分類を考慮し細菌集団構成を比較すると、同タイプの砂粒子には類似した構成の細菌集団が生息していた。この結果から、鉱物タイプなど特性の異なる土壤微小領域ごとに独特のローカルな細菌集団が構成され、それらが組み合わさることによって土壤全体の高い多様性が構築されていると推定している。

根面細菌集団の中の植物病原細菌

ある微生物個体を取り巻く環境として、理化学的環境とともに生物的環境も挙げることができる。植物根面のように、土壤中の他の領域に比べて微生物密度が高く、また、微生物活動の活発な領域においては、微生物個体間の相互作用が強く、周囲の微生物的環境から受ける影響が強いことが想像される。

土壤伝染性植物病害では、平時は土壤に生息している病原菌が、宿主植物根が接近すると根を経て植物体に感染し、植物を発病に至らしめる。土壤には、病害が激しい土壤と発病しにくい土壤があり、土壤伝染性病害であるトマト青枯病にも発病抑止型土壤と発病型土壤がある。両土壤に青枯病原細菌を添加して菌数変動を調べた結果、供試した発病抑止型土壤ではトマト根表面における病原細菌の異常増殖が抑えられる一方で、トマト根の無い土壤領域では発病抑止型土壤の方が高い病原細菌密度を維持した。このことから、トマト根面領域に注目し、両土壤で生育したトマト根面の細菌集団構成を比較した結果、発病型土壤のトマト根面細菌集団では第 1 優占細菌グループの占有率が 70%、5% 以上を占める細菌グループ数が 2 という偏った構成の細菌集団であったのに対し、供試した発病抑止型土壤で生育し

たトマト根面では第 1 優占細菌グループの占有率が 20%、5%以上を占める細菌グループ数が 6 と、より多様な構造の根面細菌集団であった。続いて、根面分離細菌株を組み合わせることにより種々の根面細菌集団を人工的に作成し、トマトの発病実験をおこなった結果、構成種が多い人工根面細菌集団の方が病徴の進行が遅れ、また、代謝可能な有機化合物が多い人工根面細菌集団の方が病徴の進行が遅れた。このことから、根面に存在する栄養分を巡る根面細菌と病原細菌の競争によって、病原細菌の増殖ひいては植物の発病が左右されるという仮説が考えられる。

根面細菌集団における病原細菌の異常増殖は、接種・外来細菌の定着の一つの形態と見なすことができる。本研究は、外来細菌の侵入・定着に対して、既存微生物集団の特性がどのように影響するかについて考察する一例となるであろう。

おわりに

土壌は様々な構成要素から成る複雑な構造体である。一方、土壌の微生物は多種多様であり、それぞれの種は一定範囲の環境変動に適応する。このことが、これまで土壌微生物生態分野において、一般則と呼べる法則がほとんど見い出されてこなかった理由の一つであろう。加えて、栄養分の枯渇・断続的供給や乾燥・降雨による生息領域の分断・統合によって、微生物活動の強制的な一時停止・開始あるいは微生物間競争の競争軸が変わることが生じているであろう。多様かつ変動する土壌微小領域において、多様な土壌微生物がどのような活動・相互作用をするのか、多くのケースを想定・整理し、モデル化の方向を探ることによって、今後、土壌微生物生態分野に法則性を見い出す可能性が高まるのではないかと、本会に参加した感想をもって本稿を閉じたい。

なお、本研究会・本稿で紹介した内容は、東京大学および山口大学在籍時におこなったものです。ご指導・ご協力いただきました各位に感謝いたします。