

小さな生き物が堆肥を作る

われわれは細菌に囲まれて暮らしています。大きさが1~10 μ m程度の小さな生き物です。ヒトの皮膚の表面には1平方センチあたり10万個以上の細菌が付着しており、ふん便には、1g中に100億~1000億個(10¹⁰~10¹¹個)が含まれています。ふん便は消化されなかった食べ物のかすだと思われがちですが、実に総量の3割から5割は生きた細菌の細胞です。同様に堆肥中1gにも10億~100億個(10⁹~10¹¹個)の細菌が含まれています。

1. 堆肥中の細菌の世界

堆肥の環境は単純だと思われがちですが、ミクロの目で見ると非常に複雑な環境です。温度をはじめ多くの因子が変動し、それによって環境は時々刻々変化しています(図1)。

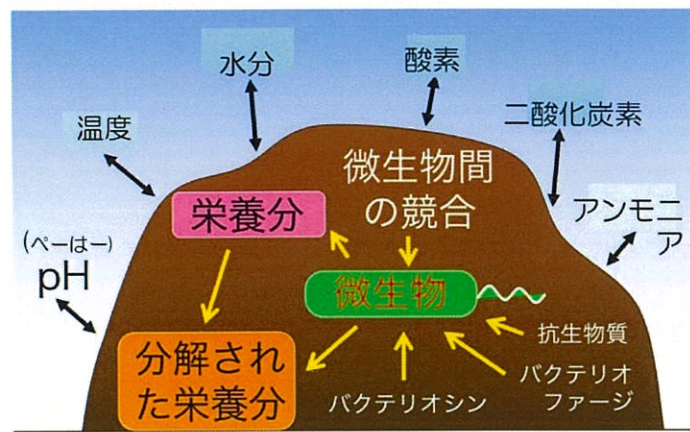


図1 堆肥の微生物の世界

堆肥には多量の栄養分が含まれます。細菌たちは利己的で、栄養分を真っ先に利用して、す早く自分自身を増やそうとします。さらに分解された栄養分を利用する細菌も多種多様存在します。堆肥の中では栄養分の量と質が時々刻々変化し、その状況に適した細菌の種が増殖し、その環境に適さない種が消えて行くもしくは休眠状態に入るといったことが起こり続けます。

細菌の呼吸熱によって、堆肥の温度はみるみる上昇します。70℃を超えることも珍しくありません。この温度で多くの病原細菌は死滅しますし、細菌にとって、とてつもなく過酷な高温環境です。簡単にまとめると、堆肥化の初期の過程では、常温を好む細菌(中温細菌)(ちゅうおんさいきん)が、豊富な栄養分を利用して呼吸することにより、堆肥の温度が上昇します。この温度上昇により、中温細菌の多くが死滅してゆきます。中温細菌に替わって、高温に耐え、高温で増殖することができる高温細菌(こうおんさいきん)が優占的になります。

この時期になると細菌の栄養分が減りますし、温度上昇により湯気が発生して堆肥の水分が減ります。これにより、細菌の働きが鈍って、堆肥の温度は低下していきます。この頃を一次発酵終了期とよびます。温度が低下したことにより、新たな中温細菌が登場します。堆肥初期と一次発酵終了後の中温細菌の区別は異なることが、遺伝子解析によって明らかにされています。

また、一次発酵終了にも、高温細菌は多数生残しており、再増殖の機会を待っています。戻し堆肥を利用する場合、これらの生残する高温細菌が効果を発揮します。一方、堆肥中では、酸素を好む好気性細菌(こうきせいさいきん)が活発に活動し、攪拌などが不足すると酸素が欠乏します。その結果、酸素を好まない嫌気性細菌(けんきせいさいきん)も増えてきます。さらに、細菌の中には、抗生物質やバクテリオシンといった物質を作り出して、周辺の細菌を殺すものもいます。このように堆肥化の環境は、栄養分・温度・酸素の変化や細菌同士の競い合いが複雑に絡み合って形成される極限環境です。

また、一次発酵終了にも、高温細菌は多数生残しており、再増殖の機会を待っています。戻し堆肥を利用する場合、これらの生残する高温細菌が効果を発揮します。

一方、堆肥中では、酸素を好む好気性細菌(こうきせいさいきん)が活発に活動し、攪拌などが不足すると酸素が欠乏します。その結果、酸素を好まない嫌気性細菌(けんきせいさいきん)も増えてきます。さらに、細菌の中には、抗生物質やバクテリオシンといった物質を作り出して、周辺の細菌を殺すものもいます。このように堆肥化の環境は、栄養分・温度・酸素の変化や細菌同士の競い合いが複雑に絡み合って形成される極限環境です。

2. アンモニアと窒素循環(図2)

堆肥生産時に発生するアンモニア(NH₃)はしばしば苦情原因になります。ふん便中のタンパク質やアミノ酸が細菌によって分解されてアンモニアになります。アンモニアは悪臭物質ですが、細菌

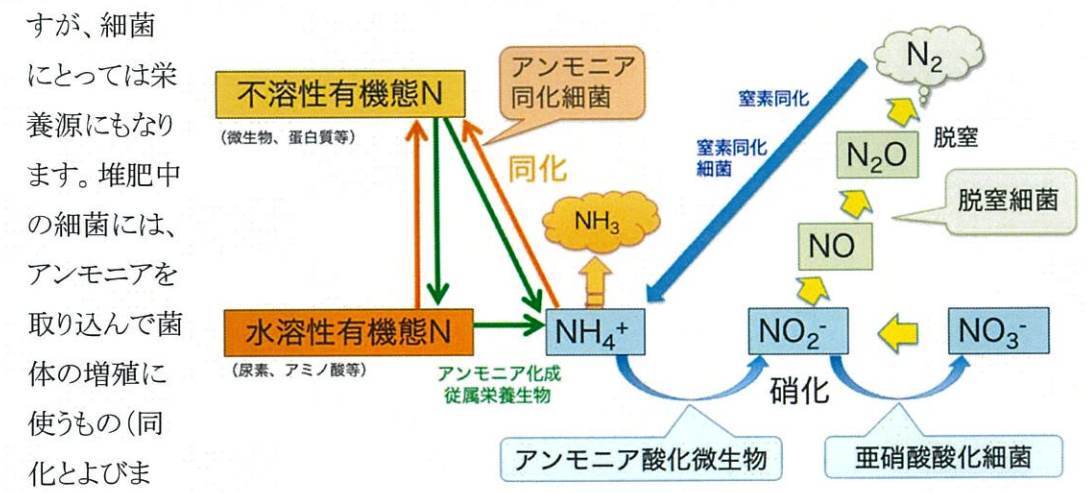


図2 窒素循環と微生物の機能

にとっては栄養源にもなります。堆肥中の細菌には、アンモニアを取り込んで菌体の増殖に使うもの(同化とよびます)、およびアンモニアを酸化するものがあります。これらの働きによって、アンモニアの揮散は抑制されます。同化されたアンモニアは菌体タンパク質に変換されて堆肥内に保存されます。アンモニアを酸化する細菌には、アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌があります。両細菌をまとめて、硝化菌とよびます。硝化菌によってアンモニウムイオン(NH₄⁺)は、亜硝酸イオン(NO₂⁻)に変換され、そのあと肥料成分として重要な硝酸イオン(NO₃⁻)に変換されます。

一方、硝化過程および硝酸イオンが窒素ガス(N₂)に変換される脱窒過程から、亜酸化窒素(一酸化二窒素:N₂O)が発生することがあります。これは地球温暖化をもたらす強力な温室効果ガスで、この発生を微生物学的に抑制する研究が盛んに行われています。

堆肥中の細菌については、まだ不明確な点が多くあり、現在も細菌を自由にコントロールできる技術は存在しません。現場では、施設設計と水分や通気などの条件調整を行って、細菌が働きやすい環境条件を整えることが堆肥技術の中心となります。