

木材とバイオレメディエーション

宮内輝久

キーワード: 環境汚染 微生物 バイオレメディエーション

バイオレメディエーションとは

近年、人工的に合成された化学物質による環境汚染が深刻な問題となり、この解決方法について多くの研究がなされています。この問題を解決する手段の一つとして、生物（主に微生物）を利用し、汚染された環境を修復しようという考え方があります。この「生物を利用した環境修復」というのが「バイオレメディエーション」なのです。外因性内分泌攪乱物質（環境ホルモン）などの化学物質による汚染が非常に深刻な問題となった昨今、この技術に対する関心は高まっています。

微生物の働き

我々は、日々の生活において、様々な物質を環境中に放出しています。最も身近な例は呼吸による二酸化炭素の放出です。また、食物を食べ、それを排泄することもその一つといえるでしょう。さらに、我々が一生を終えた後、自分の体という物質の集合体を環境に放出します。このような個々の放出は、地球上での物

質循環の一部にしかすぎません。

炭素を例にとってこの物質循環を大まかにみると、おおよそ図1のようになります。植物は空気中の二酸化炭素と水から炭水化物と酸素を作ります。人間を含めた動物は、空気中の酸素と植物、ときに他の動物を摂取することで生きていくために必要な栄養とエネルギーを得ます。そして、微生物により、植物や動物の遺体および排泄物が二酸化炭素や原子にまで分解されること（無機化）で、新たな資源の源となります。もし微生物が存在しなければ、地球は生物遺体をはじめとした有機物の塊の山になっていたでしょう。我々が住む地球は、微生物による分解という浄化作用により、そのような状態になることはないのです。

人間の生活と環境

古来より、我々人間の生活は、地球上での物質循環の一部に組み込まれたものでした。しかし科学技術が進歩する中で、人間は本来の物質循環にはなかった、様々な化学物質を作り出してきました。この人間が作り出したもののなかに、発ガン性を有するものや正常なホルモン作用に影響を与えるといったものに環境ホルモンが存在します。これらが環境中に放出されることにより、近年重大な環境汚染問題が起こっています。

農薬の効果を持続させたり、プラスチックを長持ちさせたりする目的で、微生物による分解が困難な難分解性の化学物質が次々と作り出されてきました。これら化学物質は微生物による浄化を受けずに、環境中に長期にわたって残留してしまいます。環境中に残留した汚染物質は食物連鎖のなかで生物の体内に蓄積されていきます。生体内に蓄積された汚染物質は、最終的には食物連鎖を通じて人間を含めた高等動物の体内で濃縮されてしまいます。

今日では、汚染物質の環境への放出や発生を避けるため、「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」

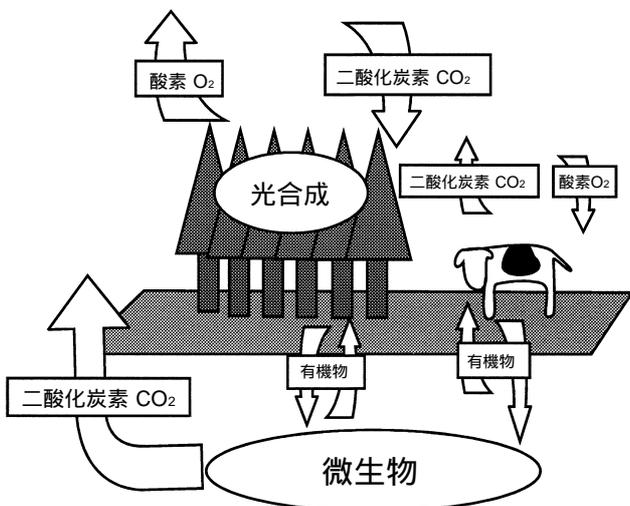


図1 炭素についての物質循環の模式図

や「廃棄物処理法」などの各種法律により、それらの使用には規制が設けられています。また、汚染物質の発生要因となる行為（焼却等）に対しても同様の措置がとられています。しかし、すでに環境中にかなりの量の汚染物質が放出されていることや、事故などによる非意図的な行為による発生が考えられ、化学物質による環境汚染の対策は十分であるとはいえません。

これらの問題に対して早急に対策を図り、人間をはじめとする生物が安全に生活できる地球環境を作り上げることが重要です。

微生物と汚染物質

先ほど述べたように、現在、難分解性の化学物質による汚染が非常に深刻な問題となっています。これらは、微生物による分解が非常に困難とされていますが、地球上には我々がまだ知り得ていない多種多様な微生物が息息しており、その中にはこれら汚染物質を分解してくれる微生物が存在する可能性があります。実際に、非常に長い時間がかかりますが、汚染物質のいくつかは環境中でも分解されることが確認されており、汚染物質を分解する多くの微生物の存在が確認されています。

「微生物で解決できない問題はない」ということが微生物研究者の中で言われています。まさに「困ったときの微生物頼み」といったところでしょうか。

バイオレメディエーションに向けた研究

汚染物質を分解する微生物の存在が確認されたことから、これらを使ったバイオレメディエーションの可能性はより現実的になり、これを目指した数多くの研究が日夜行われています。

これらの研究は主に、分解者としてさらに有望な

微生物の探索研究 微生物の分解機構および分解能力の向上のための研究 微生物による処理の実用化のための研究、といった方針で行われています。

については非常に多くの優れた研究により、汚染物質に対する分解能力を持つ様々な微生物が発見されています。しかし、汚染物質の分解者として環境中から選抜した微生物が、必ずしも環境中で分解の中心となっているとはいえないという指摘もあります。つまり、現在行われている微生物の単離方法では、すべての菌をうまく取り出すことができないので、必ずしも環境中での分解の主役である微生物を取り出しているとは限らないのです。しかし、言い換えれば、より分解能力の高い微生物がまだ地球上には存在するということであり、さらなる研究の結果が期待できます。

についても多くの研究がなされており、最近、最も注目されているダイオキシンなど有機塩素系の化合物の微生物分解について、数多くの優れた研究がなされています。この有機塩素系の化合物の分解機構について少し触れてみます。分解は脱塩素作用を引き起こす嫌気性分解と酸化分解を引き起こす好気性分解によるとされています。好気性分解というのは酸素を使う分解で、嫌気性分解というのは酸素を使わないものをさします。テトラクロロエチレン（PCE）を例にとってみると（図2）、嫌氣的脱塩素化では、炭素（C）についた塩素（Cl）が段階的に外れていくとされています。一方、好気性の分解ではPCEは酸化分解され二酸化炭素にまで分解されます。さらに、より高度な分解能力をもつ微生物を作り出すため、生物工学的手法を用いて、微生物の分解能力を向上させる研究や、いくつかの分解能力を併せ持つような微生物を作り出し、より多くの化合物に対する分解能力を

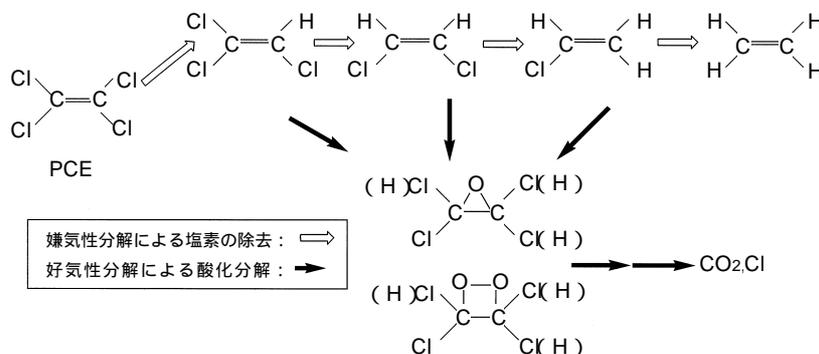


図2 PCEの微生物による分解
出典：科学と生物，38（6），2000

持たせるといった研究もされています。

について、実際バイオレメディエーションを行う場合、土壌などの被汚染物を回収し、バイオリクターと呼ばれる反応槽で汚染物質を分解する方法と、汚染された土壌に汚染物質を分解する微生物を直接導入する方法があります。後者はバイオオーグメンテーションと呼ばれる手法です。

実験室内で培養された微生物を実際の環境中に導入することは難しいと考えられていました。しかし、条件にもよりますが、実際の環境中へ微生物を導入することが可能なことが確認されています。したがって、バイオレメディエーションを、汚染を受けた現場で行うことが可能なのです。

しかし、生物工学的に作られた微生物およびこの手法自体の安全性についてなど、いまだ検討の余地が残されています。

木材とバイオレメディエーション

現在、問題となっている汚染物質の中で、木材と関わりのあるものも若干存在します。例えば、それらの化合物のうちいくつかは、以前、防腐剤や防虫剤成分として用いられていました。かつてそれらの薬剤で処理された木材が、今後、解体材など廃材として増加するだろうといわれています。これらの廃材の処理に関しては、現在、林産試験場でも再利用することを中心に様々な研究を行っています。

処分する場合に限定すると、焼却による方法や埋立てによる方法が考えられます。汚染物質の流出の可能性を考えると、埋立てによる方法は好ましくありません。一方の焼却による処分の場合、焼却時の条件次第では、ダイオキシンなどの汚染物質が二次的に生成する可能性があります。したがって、焼却による処分の際は、厳重に焼却温度などを制御した焼却炉を用いることが義務付けられています。このため、炉の設備費用が高額となり、焼却処分が進まないのが現状です。ここでも微生物処理による汚染物質の分解が可能であれば、非常に有用であると考えられます。

最近、有害な化学物質が木材腐朽菌で分解できるという報告があり、いくつかの菌による、ダイオキシンをはじめとした有機塩素系化合物の分解が確認されており、バイオレメディエーションの担い手として有望です。

木材主成分の一つであるリグニンの構造の一部とダ

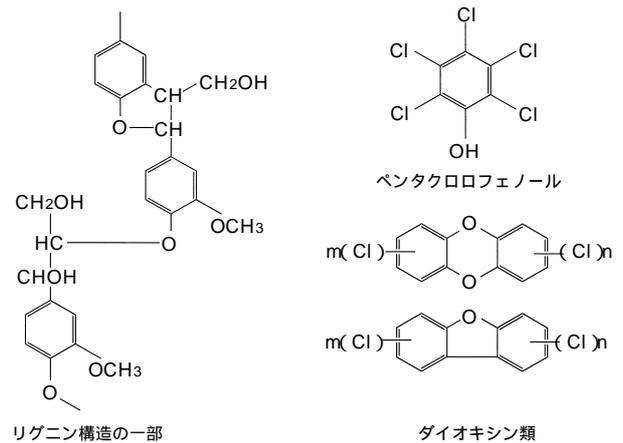


図3 リグニンとダイオキシン類

イオキシンや有機塩素系化合物の化学構造では似ている部分があります(図3)。したがって、このリグニンを分解することができるものなら、ダイオキシンや有機塩素系化合物を分解できるであろうということは納得がいくかと思えます。

木質廃棄物の最終処理においてこの能力をうまく使えば、薬剤処理された木材自体を分解すると同時に有害な化学物質を分解することができ、環境汚染を防ぐことができると考えられます。

バイオレメディエーションの可能性

今日まで、微生物による有害化合物の分解を用いた環境修復、すなわち、バイオレメディエーションについては実に様々な検討がなされ、数多くの有用な知見が得られています。しかし、前述したように、バイオレメディエーションが実用化されるためには、まだ問題が残されています。

これらの問題を解決するべく、現在も実に多くの優れた研究者により日夜研究が行われています。したがって、この手法が広く実用化されるのもそれほど先のことではないように思います。

(林産試験場 耐朽性能科)