

重原淳孝・片山義博教授らのグループ
植物体からエポキシ樹脂の3倍の強度をもつ接着剤を開発
- 処理が困難だった林地残材やお茶ガラなどの有効活用に道筋 -

現在の地球環境改善のためには、21世紀のなるべく早い段階で化石燃料に依存する二酸化炭素(CO₂)排出型社会からの脱却が望まれています。特に、「カーボンニュートラル(CO₂循環型)*1」という概念から、原料を化石資源に依存しているプラスチックなどのポリマー材料には、「原料改革」が必要です。現在のポリマー材料は、そのほとんどが石油から製造され、一部にはリサイクルが試行されていますが、最終的に燃焼廃棄されてCO₂が発生するため、温暖化などの環境問題を引き起こす原因の一つになっています。

これを解決する有効な手段と考えられているのが、バイオマス資源の利用です。自然界で生産・分解を繰り返して循環するバイオマスは、「その生産量の内輪」であれば、何度利用・廃棄しても原理的にはCO₂総量は変化せず、環境にやさしい資源といえます。地球上で最も多く存在するバイオマスは植物であり、高度有効利用が可能になれば、石油由来製品の95%を代替できるという試算もあります。植物バイオマスの主体は細胞壁成分で、約40%のセルロース、約20~30%のヘミセルロース、約15~30%のリグニンで構成されています。この中でセルロースやヘミセルロースは、紙・パルプの原料や甘味料・医薬品などに利用されていますが、リグニンについては、製紙工場で自家発電用燃料として利用される以外は、ほとんどが廃棄され、有効な利用技術が確立されていません。

そこで今回、重原・片山教授らは、(独)森林総合研究所の大原誠資領域長・中村雅哉チーム長・大塚祐一郎研究員、長岡技術科学大学の政井英司准教授の各氏とともに研究グループを組み、未利用バイオマス資源としてのリグニンに注目して、遺伝子工学を適用することで、安定した中間体を単離してポリマー合成のための「モノマー*2」として活用する道筋を確立しました。

リグニンは三次元網目構造を持つため、化学的処理を施しにくい天然のポリマーです。自然界では、主に真菌類(カビ、キノコ)などによって不規則に断片化され、その後ゆっくりCO₂まで分解されます。片山教授は、1890年にリグニンを高効率で分解できるグラム陰性細菌を単離し、遺伝子解析を進めてきました。研究グループでは、この成果をもとにリグニンの分解経路を解明し、複雑な構造をもつリグニンが低分子構造の「PDC*3」を経由して分解されることを見出し、科研費A(H18-H20:代表 片山義博)の補助を受けてPDC生産技術を開発しました。

さらに、PDCのみを選択的に取り出す精製条件を絞り込んだ結果、効率の良い生産が可能になりました。ただしPDCを実用材料とするためには、ポリマー化が必要です。PDCは、2つのカルボキシル基をもつことから、典型的な重縮合のためのモノマーと考えることができます。また原料のリグニンは自然界に大量に存在するので、汎用プラスチックの出発物質として有望です。そこで、得られたPDCを化学処理して接着性を発現できる分子構造に変換することを試み、農林水産省委託プロジェクト研究(H19-H23)「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」の補助を受けて進展させてきました。最終的にステンレススチール同士の接着で90MPa(=1cm²当たり900kgの力)に至る高性能接着剤が得られました。この強度は、幅8cm、厚さ8mm、長さ15cmの鉄板2枚の端面同士を接着したものを橋渡しして、上に人が乗っても破断しないほど強力なものです。一般のエポキシ接着剤などの接着強度30MPa程度と比較すると、およそ3倍の強度となります。

今回は、PDCをポリマー化して接着剤に応用することに焦点を絞りましたが、分子構造を少し違えると汎用ポリマーと同様にフィルム材料などにも使えます。今後、さらに興味深い新機能が発見される可能性が十分にあります。わが国で年間860万m³も発生する林地残材や、廃棄処理以外に方法がなかったお茶ガラなど様々なバイオマス有効利用の手段として、今回の研究成果を幅広く応用されることが期待されています。

*1 ライフサイクルの中で、二酸化炭素の排出量と吸収量が等しくなること

*2 巨大分子であるポリマーを形作る構成単位で、モノマーが多数繋がってポリマーになる

*3 正式名称を2-pyrone-4,6-dicarboxylic acid という、安定的な化合物