

分野を越える バイオマス研究

「泥中之蓮」を目指す バイオマス材料科学

東京理科大学 工学部 工業化学科 准教授

うえたに こうじろう
上谷 幸治郎

バイオマスは宝箱

バイオマスとは生物由来の資源のことを指し、地球上で生物が生存活動を行うために生み出した天然素材です。近年、天然の組織構造に学ぶ生体模倣技術（バイオミメティクス）や素材の一部を活用した高機能材料の開発研究が発達し、バイオマスは人類が人工的に作ることでできなかった大変優れた構造・機能・材料・技術の宝箱であることがわかってきました。

たとえば、泥の中に浮かぶ蓮の葉は、いくら泥が付いても汚れることなく、葉は自動的に綺麗になります。この自浄作用は「ロータス効果」と呼ばれ、蓮の葉の表面を顕微鏡で観察すると見えてくる微細な凹凸構造とそれをコーティングするワックス成分によって、水滴がコロコロと転がり泥を洗い流します。このような構造と機能を応用して、汚れのつきにくいテフロン製

フライパンやヨーグルトが付着しにくいフタ材などが次々と開発され、私たちはその恩恵を受けています。

泥中之蓮

泥の中に生育しながらも汚れることを知らない蓮を見た先人たちは、蓮を人間の生き方の手本としてきました。「泥中之蓮（でいちゅうのはちす）」、「蓮は泥より出でて泥に染まらず」、「蓮在泥中潔（はすでいちゅうにあつていさぎよし）」などの格言が有名ですが、これらは「泥（この場合は悩みや苦しみ・煩惱）の中にあっても泥に染まることなく清らかに生きる」という意味をたえています。また、「南無妙法蓮華経」の蓮華とはまさに蓮の花のことですので、仏教においても蓮は重要な意味を持つでしょう。

一方、純粋な化合物を精密に反応させるような化学

の視点から見ると、バイオマスは成分組成や組織構造が極めて複雑で、狭雑物（混ざり物）が多い化合物群です。しかし、その構造や成分は生物が何年もかけて進化し生き残ってきた賜物であり、ほんの一部でも私たちが理解しうまく活用することができれば、これまでよく見えなかった意外な効用を見つけることができるようになります。バイオマスに基づく材料研究は、まさに夾雑物や複雑構造の泥の中であれこれ試行錯誤をしながら美しい蓮華を見つけるような取り組みと言えますので、その観点から「泥中之蓮」を志向する生き方にも通ずるのではないのでしょうか。

セルロースの材料的進化

紙の主成分であるセルロースはバイオマスの代表格で、木材チップから茶色い成分のリグニンを除去したパルプ繊維として主に得られます。このパルプ繊維を漉き上げることで紙ができます。たとえばティッシュペーパーのように破れやすい紙ではなくコピー紙のように強い紙を作るためには、パルプ繊維に叩解処理¹⁾をして繊維表面を毛羽立たせ、繊維同士の密着性を高める操作が有効になります。木質科学や製紙科学の分野では、パルプ繊維（木材細胞壁）がさらに細かな繊維（セルロースマイクロフィブリルと呼ぶ）から構成されていることは以前から知られていました。しかし、この「毛羽が生じる」という現象を極端に突き詰めて考えると、「パルプ繊維全体をバラバラのマイクロフィブリルにまで解せないだろうか?」、さらに「バラバラのマイクロフィブリルで紙が作れるとすれば、一体どこまで強くなるのだろうか?」という究極的な疑問が湧いてきます。

このような疑問を駆動力として、泥くさい研究が進められました。パルプ繊維をすり鉢でゴリゴリと磨りつぶす手作業に始まり、電動の石臼（グラインダー）²⁾などの機械的手法やTEMPO触媒酸化法³⁾という化学反応を駆使することで、パルプ繊維をさらに細かく解繊できることがわかってきました。苦勞の末に、現在ではセルロースナノファイバー（CNF）と呼ばれるナノスケールの繊維材料が製造され、様々な業界に向けて市販されるまでに至っています。

このCNFは、幅約3 nm程度という極細のナノ繊

維で、人工的に形成不可能なセルロースI型という結晶で構成されています。そのため、鋼鉄の5分の1の軽さながら鋼鉄と同程度の強度を示し、石英ガラスに匹敵するほど熱寸法安定性が高く、可視光の波長より圧倒的に細いため、CNFは「透明な紙」³⁾になります。

CNFをプラスチックに混ぜると補強され、自動車用の樹脂パーツを軽量・高強度化できます⁴⁾。また、CNFはプラスチックよりも熱伝導性が高い⁵⁾ことを活用し、発熱性電子デバイスの冷却に向けたフレキシブルな放熱基板⁶⁾など高付加価値活用に向けた研究も精力的に行われています。

バイオマスの異分野展開

このように新たな特性が次々と見出されてきたCNFは、まさにバイオマスという泥の池に咲いた蓮華の一輪と言えるでしょう。そして、セルロースが自動車やエレクトロニクスに展開したように、従来材料の枠に取まらない画期的な性能が見出されると分野横断的な連携や異分野との融合が重要となってきます。特に、私たちはバイオマスである野菜やナタデココ（実はナタデココは、酢酸菌という細菌が生産したCNFでできています!）等を日常的に食べているわけで、バイオマスに新しい機能性食品や医療・薬学への応用可能性が秘められていると考えることができます。そこで今回の特集号では、東京理科大学で行われている学際色の強いバイオマス研究について、紙面の都合から5例に絞ってご紹介することにいたします。

引用文献

- 1) Abe, K.; Iwamoto, S.; Yano, H., *Biomacromolecules* **2007**, *8*(10), 3276–3278.
- 2) Saito, T.; Nishiyama, Y.; Putaux, J.-L.; Vignon, M.; Isogai, A., *Biomacromolecules* **2006**, *7*(6), 1687–1691.
- 3) Nogi, M.; Iwamoto, S.; Nakagaito, A. N.; Yano, H., *Adv. Mater.* **2009**, *21*(16), 1595–1598.
- 4) 環境省, ナノセルロースプロモーション. <https://cnf-ncp.net/index.html> (2025年11月27日閲覧).
- 5) Uetani, K.; Okada, T.; Oyama, H. T., *Biomacromolecules* **2015**, *16*(7), 2220–2227.
- 6) Uetani, K.; Kasuya, K.; Wang, J.; Huang, Y.; Watanabe, R.; Tsuneyasu, S.; Satoh, T.; Koga, H.; Nogi, M., *NPG Asia Mater.* **2021**, *13*, 62.