

## セルロース, お前もナノ化

秀野 晃大

半袖のTシャツを着て, アイスcreamを食べながら, 法隆寺や金閣寺の載った旅行パンフレットを見る. 普段の生活の中で, 無意識に接している物質がある. Tシャツに使われるコットンの成分は, 90%以上セルロースであり, アイスcreamには増粘剤としてセルロースの誘導体が使われている. 法隆寺や金閣寺など, 日本古来の建築物には約50%のセルロースを含む木材が使われ, パンフレットの紙はもちろんセルロースから成る. このようにセルロースは衣食住のみならず, 情報媒体など, 人類のあらゆる生活の場面に関わってきた.

セルロースとは,  $10^3$ - $10^4$ 残基程度のグルコースが $\beta$ -1,4-グルコシド結合を介して直鎖状に連なったホモポリマーである. 地球上では, 植物などの光合成によって年間 $10^{10}$ - $10^{11}$ トンのセルロースが生合成されていると考えられており, 天然でもっとも豊富に存在する再生可能な生分解性の有機物である<sup>1)</sup>.

近年のナノテクノロジーの進展とともに, 先端材料としてナノサイズのセルロースがにわかに注目されている. ナノセルロースは, アスペクト比やサイズによってセルロースナノファイバー (CNF, 幅4-100 nm, 長さ5  $\mu$ m以上) や, セルロースナノウィスカー (CNW, 幅10-50 nm, 長さ500 nm程度), セルロースナノクリスタル (CNC) と呼ばれ, 微生物が作るものはバクテリアルセルロース (BC) と呼ばれるが<sup>2)</sup>, ここでは総称してCNFと呼ぶ. CNFは, 鋼鉄の1/5の軽さで, その5倍の強度を有し, 線熱膨張係数がガラスの1/50以下とさわめて小さく, 弾性率-200°Cから+200°Cの範囲でほぼ一定している<sup>3)</sup>. さらに, 再生産可能でカーボンニュートラルな木質バイオマスから生産可能であり, 生分解性も有するといった優れた特徴を有しているため, 製造から利用, 廃棄に至るまで環境への負荷は小さいと考えられる. これまで単離・製造技術や取扱いなどが困難であったため, ほとんど活用されてこなかったが, 製造法の研究開発が進展し, 急速に注目を集めている.

元来, 植物細胞壁中のセルロース分子は, 水素結合と分子間力によって規則正しく自己集合し, 幅3~5 nmのミクロフィブリルとして存在している. それらが集積したミクロフィブリル束にヘミセルロースやリグニンを接着剤として更に組織化したものが植物繊維と呼ばれる<sup>4)</sup>. そこで, CNF製造法には, 繊維であるポリマーをミクロフィブリル単位以下まで微細化する方法と, グルコースから生合成する方法の大きく二つの方法が考えられる. 微細化法としては, グライNDERで磨砕するなどの

物理的手法, 濃硫酸で加水分解するなどの化学的手法, セルラーゼで加水分解するなどの生化学的手法の3種類ある. グルコースから生合成する方法としては, 有機合成による化学的手法や, 酢酸菌 (*Acetobacter xylinum*) で作る微生物的手法, セルラーゼの逆反応を利用して重合させる酵素的手法がある. これら製造法は国内でも磯貝, 遠藤, 小林, 近藤, 林, 矢野らによって活発に研究されており, 詳細は専門誌の総説に譲る<sup>3,5)</sup>. 上記造技術は, セルロース類似化合物のキチン・キトサンのナノマテリアル化にも応用可能なものが多く, 技術的な裾野の広さが伺える.

先述のとおり, CNFも構成単位はグルコースであり, 天然に大量に存在していることから安全性は高く, 環境低負荷型物質であると考えられる. しかし, 針状のナノスケール物質には, ヒトに対してアスベストのような肺がんを誘発する懸念も払拭しきれないため, 新たに製造されるCNFについては安全性試験が必須であろう.

CNFの製造法に関する研究開発に比べ, 用途開発は未開拓部分が多く, 今後の発展が期待できる. さらに, 現在開発されている製造技術の大半は, ポリマーを微細化する方法でありバルクなものしかできない. ドラックデリバリーや人工膜などの医療用の展開を考えると, 重合度を揃えるといった均質なナノセルロースが求められるだろう. それには, 酢酸菌や植物などによって行われているセルロース生合成の基礎的な知見が欠かせない. 今後, CNFを厳密に“デザイン”する技術が生物工学の分野から出てくることを期待したい.

アルフレッド・ノーベルは, ニトロセルロースとニトログリセリンを混ぜたダイナマイトを開発し, 多大な利益を得て, 後にノーベル賞を創設した. セルロースがなければノーベル賞もなかったといえ言過ぎだろうか. CNFの用途は, 液晶ディスプレイ, 自動車の内装, 食品添加物, ドラックデリバリー, 人工骨など, 非常に幅広く, 開発に成功すればインパクトの大きい素材である. 将来, CNFの分野からノーベル賞が出るかもしれない(?). とはいえ, ニトロセルロースをグラインダーで磨砕する“無謀者”はいないだろうが.

- 1) Hon, D. N. S.: *Cellulose*, **1**, 1 (1994).
- 2) Eichhorn, S. J. et al.: *J. Mater. Sci.*, **45**, 1 (2010).
- 3) 矢野: *J. Jpn. Inst. Energy*, **89**, 1134 (2010).
- 4) 遠藤: *Synthesiology*, **2**, 310 (2009).
- 5) 近藤: *木材学会誌*, **54**, 107 (2008).