



セルロース分子主鎖の分子運動と暮らし

神戸女子大学 奥川 あかり

1. はじめに

セルロースは、グルコースが β 1-4結合した鎖状の高分子で、木材など植物の乾燥重量の40~70%を占める。そのため、地球上で最も豊富に蓄積されており、光合成によって持続的に再生産される生物資源である。しかも、土壌中の微生物によって生分解されることから、環境に優しい天然資源でもある。その利用は、わたしたちの衣食住の生活に古くから密接に関わっており、木材や紙をはじめ、衣料である木綿や麻、野菜に含まれる食物繊維などの主成分はセルロースである。近年では、食品添加物や医薬品錠剤、化粧品、電子機器に至るまで、身近で意外なところで形を変えて利用されている。このような木材パルプなどの天然セルロースを溶解して得られるものに再生セルロースがあり、化学構造は天然セルロースと同じである。そのため、石油系プラスチックゴミによる環境破壊が問題視される現代において、人類の持続可能な発展や、循環型社会の構築に、再生セルロースは生分解性のエコ・マテリアルとして期待できる。これまでも再生セルロースは、再生繊維（レーヨン、キュプラ、リヨセル）や、セロファンテープ、スポンジなど様々な用途で利用されており、最近では食品としても利用されている。筆者の所属研究室では、主にこの再生セルロースの有効利用を目的に研究を進めてきた。

再生セルロースの歴史は、人類の長年の夢であった絹に代わる人工繊維の開発に端を発し、1857年に銅アンモニアで溶解したセルロースが再生できることが発見され、19世紀末に、銅アンモニア法レーヨン（キュプラ）とビスコース法レーヨン（レーヨン）が商業化されたことがはじまりである。これは、合成繊維が登場するよりも数

十年以上も前のことである。レーヨンとは、「光輝く（Ray）綿（Cotton）」を意味し、日本では「人造絹糸（人絹）」と呼ばれ、衣料用のみならず、タイヤコードなどの強力な繊維に至る開発に成功したことから、その需要は急速に高まった。一方、1930年代から、ナイロンに続いて、アクリルやポリエステルなどの合成繊維が出現し、1960年代には環境問題に関する意識が高まったことにより、再生繊維の生産量は世界的に減少した。当時、レーヨンやキュプラは、生産時における二硫化炭素や重金属の排出の問題を抱えていたためである。これらは、のちの技術革新や20世紀後半に開発された新たな溶解法の発見により大幅に改善され、特に無公害で省エネルギー製造法に近い、クローズドシステムを採用した*N*-メチルモルホリン-*N*-オキサイドによる溶解法（リヨセル）や、水酸化ナトリウムによる溶解法の発見は、再生繊維の発展に大きな波及効果をもたらした。しかし、多くは安価で丈夫な合成繊維へと置き換えられてしまった。再生繊維は、光沢性や発色性、吸湿性、吸水性に富むなど利点も多いが、強度が弱く、水洗いすると著しいしわや収縮、フィブリル化が発生するため、ドライクリーニングが推奨されていることも課題であった。しかしなぜ、再生セルロース繊維は、水の影響を受けやすく、水洗いすると著しいしわや収縮が発生するのであろうか。

セルロースの一次構造は、親水性と疎水性の異方性を有する両親媒性高分子であり、グルコース残基当たり3つの水酸基を有する。グルコースリングの平面方向には水酸基が存在するため親水性であり、垂直方向は、C-H水素原子が存在することから疎水性である。そのため、親水性部分が表面に均一に並んだ場合、極めて高い親水性の表面ができあがる。実際に、再生セルロースフィルムの水滴接触角度は 10° 程度で、ほかの親水性の高分子素材と比べて著しく低く、濡れやすい¹⁾。この値は、同じグルコースの重合体で温水に可溶であるデンプン（水滴接触角 41° ）や、親水性高分子として知られるポリビニルアルコール（ 36° ）よりも著しく低いことから、再生セルロースの濡れやすさは特筆的である。実際に、再生セル

Akari OKUGAWA

神戸女子大学特別研究員、関西国際大学教育学部非常勤講師、摂南大学理工学部非常勤講師

〔著者紹介〕（略歴）神戸女子大学家政学研究所博士後期課程修了（博士：生活造形学）、元フランス国立科学センター植物高分子研究所（CNRS-CERMAV）研究生、元独立行政法人国際協力機構 JICA セネガル国ニオロ女性教育支援センター青年海外協力隊〔専門分野〕被服材料学

ロースフィルムの表面の水酸基密度は、ポリビリアルコールよりも高いことが確認されており¹⁾、このような、再生セルロースの著しい水濡れ性は、構造形成の初期段階で決定されることが明らかにされつつある^{2,3)}。しかし、水によって著しいしわや収縮が発生する理由については明らかにされていない。そこで、筆者らはセルロース分子主鎖の分子運動が水によって解放される可能性を検討してきた。

2. セルロース分子主鎖の分子運動

(1) セルロース繊維のガラス転移

再生繊維の動的粘弾性挙動における $\tan \delta$ の温度依存性を図1に示す。ここで、 $\tan \delta$ (貯蔵弾性率と損失弾性率の比：機械的損失正接 δ) の高さは、分子運動領域の大きさを表し、この高温側のピークの前後で物質はガラス転移して、ガラス状態からゴム状態に変化する。ここでのゴム状態とは、セルロース分子主鎖の C-O-C (グリコシド) 結合が回転振動することによって、セルロースのセグメントが運動している状態 (ミクログラウン運動)、すなわち、セルロース分子主鎖全体が分子運動している状態を指す。再生セルロースの場合、低温 (-62~-77°C) と高温 (240~279°C) にピークが現れるが、この低温領域のピークは、セルロース分子の非晶領域の局所的なねじれ運動に起因し、高温領域のピークは、いわゆるガラス転移を示し、この温度でセルロース分子主鎖のミクログラウン運動が解放される。すなわち、絶乾状態の再生繊維の動的粘弾性からみたガラス転移温度は、レーヨン279°C、キュプラ250°C、リヨセル240°Cである⁴⁾。

しかし、ここに水が加わるとガラス転移温度は急激に低下する。再生セルロース繊維の室温25°Cにおける $\tan \delta$ の水分率依存性を図2に示す。 $\tan \delta$ のピークまたはショルダーは、レーヨン78%、キュプラ63%、リヨセル56%の水分率で出現した。この $\tan \delta$ の水分率依存性が、温度依存性に類似していることから、この水分率がガラス転移点といえそうである。すなわち、乾燥状態では250°C付近にあったガラス転移点が、水によって室温 (25°C) まで低下したといえる⁵⁾。これは、図3に示す貯蔵弾性率の低下からも支持される。貯蔵弾性率は、水分率の増加にともなって急激に低下し、 $\tan \delta$ のピークが出現した水分率付近で横ばいになった。ここでの低下度合は、レーヨンで1/10、キュプラで1/8、リヨセルで1/3程度となり、このような急激な減少は、熱可塑性高分子におけるガラス転移の典型的な挙動である。また、ピーク時の $\tan \delta$ の値は、レーヨン0.22、キュプラ0.14、リヨセル0.11であった。この値は、図1の温度依存性 (レーヨン0.08、キュプラ0.07、リヨセル0.06) よりも、2倍程度高いことから、熱よりも水に影響を受ける領域が大きい

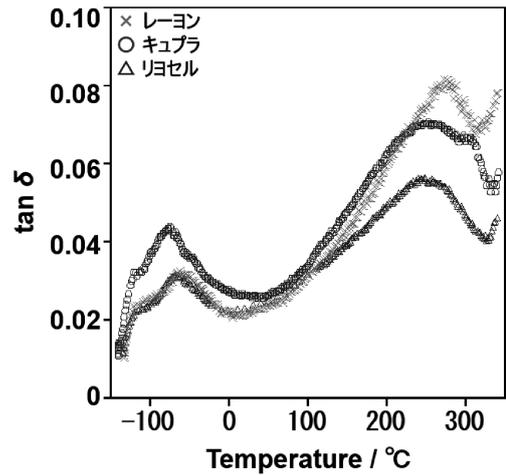


図1 再生セルロース繊維に対する $\tan \delta$ の温度依存性⁴⁾

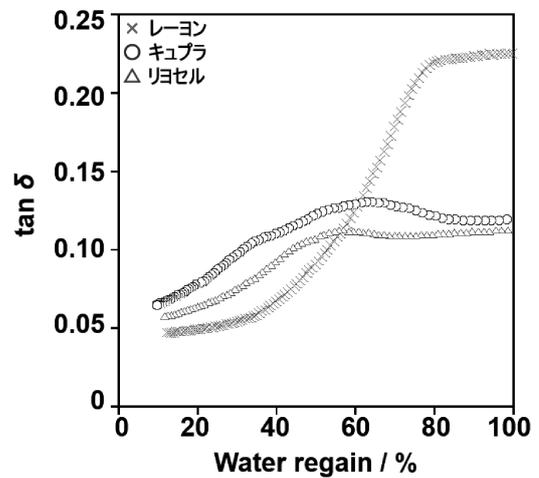


図2 再生セルロース繊維の25°Cでの $\tan \delta$ の水分率依存性⁵⁾

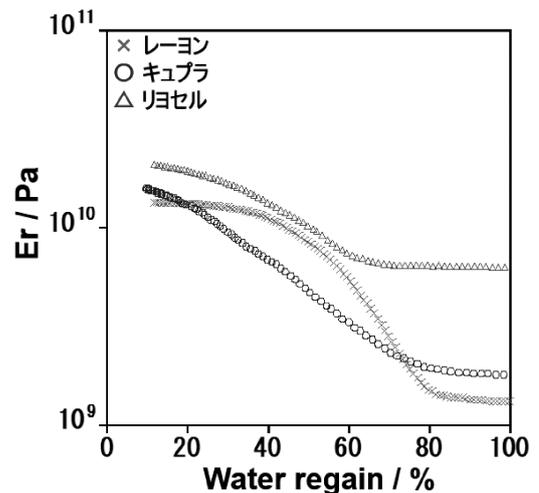


図3 再生セルロース繊維の25°Cでの貯蔵弾性率 (E_r) の水分率依存性⁵⁾

ことがわかる。くわえて、再生セルロース繊維の飽和水分率 (室温25°C湿度100%の水分率) は、レーヨン47%、キュプラ37%、リヨセル31%であることから、日常生活に

において、いかに高い湿度であってもガラス転移が発生する水分率（レーヨン78%、キュブラ63%、リヨセル56%）には到達しないことがわかる。したがって、再生繊維は普段の生活ではガラス転移しないが、発汗や洗濯時など、わずかに水が加わることによってゴム状態（セルロース分子主鎖が分子運動している状態）になることが示唆された。

このような現象は、天然セルロース繊維（木綿・麻）でも見られた（図4）。再生繊維と同様にガラス転移を表すピークが出現し、この時の水分率は、木綿39%、麻49%であった。これらの繊維の飽和水分率は、木綿26%、麻20%であったことから、木綿や麻も再生繊維と同様に、湿度100%の高湿度の場合においてもガラス転移しないことがわかる。また、これらのガラス転移にともなう貯蔵弾性率の低下は、木綿で1/2、麻で7/10程度であったことから、再生繊維（レーヨン1/10、キュブラ1/8、リヨセル1/3）と比較すると変化度合いが小さく、再生セルロースよりも天然セルロースは水の影響を受けにくいことがわかり、再生セルロース繊維よりはしわになりにくいことが示唆された。実際に、日常生活において木綿を水洗いすると、しわが発生する。しかし、木綿のしわには、W&W加工や形態安定加工などの後処理加工や、アイロンがけの効果が得られやすい。これは、セルロース繊維のなかでも、木綿の貯蔵弾性率の低下が少ないためであると考えられる。

(2) セルロース繊維の膨潤

再生繊維リヨセルの各水分率の高輝度放射光X線散乱（SPring-8）による小角二次元散乱像を図5に示す。ここでは、各水分率に調整した繊維を縦方向に設置した。このように赤道線上の強度は、水分率0%と9%では、広角側へ単調に減少しているように見えるが、先ほどのガラス転移を起こす水分率（リヨセル56%）付近を超えると、水分率の増加に伴って極大を示す。この散乱の極大は、結晶と非晶領域の電子密度差によって引き起こされることから、水分率の増加にともなってマイクロフィブリル（結晶の連結体）の間隔が広がったといえる（図6）。これらは、他の再生繊維（レーヨン・キュブラ）や天然セルロース繊維（木綿・麻）についても同様の現象が観察された。この間隔の広がり、主鎖の分子運動を解放するために必要な空間ともいえそうである。

これらのセルロース繊維のガラス転移と膨潤の関係をまとめると、まず、水が乾燥したマイクロフィブリルの間隔の非晶領域に浸透し、セルロース分子間の相互作用を緩和する。ここで、貯蔵弾性率が低下（レーヨン1/10、キュブラ1/8、リヨセル1/3、木綿1/2、麻7/10）し、マイクロフィブリルの間隔が広がる。次に、飽和水分率（レーヨン47%、キュブラ37%、リヨセル31%、木綿26%、麻

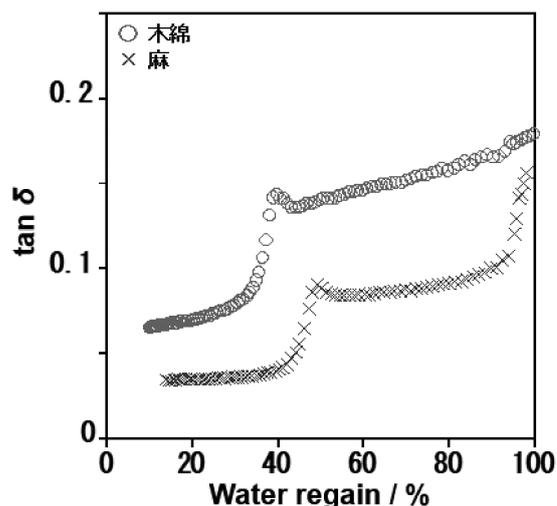


図4 天然セルロース繊維に対する25°Cの $\tan \delta$ の水分率依存性

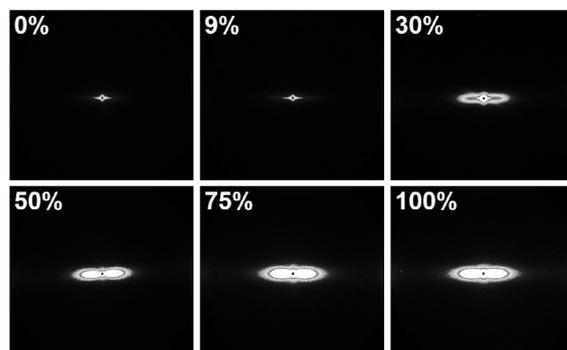


図5 再生セルロース繊維（リヨセル）の小角二次元散乱像：数値は水分率⁵⁾

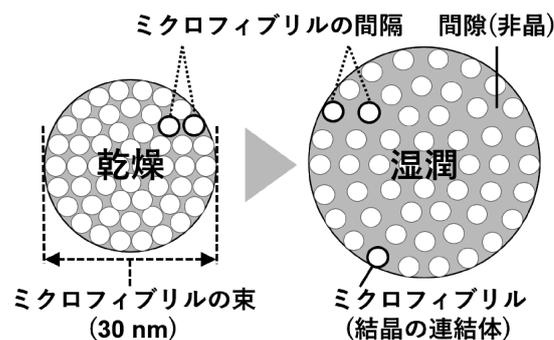


図6 再生セルロース繊維の乾燥時と湿潤時の結晶間隔の変化

20%) に達するが、この段階ではまだセルロースの全体的な骨格の分子運動は起こらず、日常生活においてセルロース繊維がガラス転移水分率に達することはない。しかし、わずかでも液体の水が加わると、水が浸透してガラス転移水分率（レーヨン78%、キュブラ63%、リヨセル56%、木綿39%、麻49%）に到達し、いわゆるゴム状態になる。すなわち、セルロース分子主鎖が分子運動している状態に変化する。そして、貯蔵弾性率やマイクロ

フィブリルの間隔の変化は横ばいになる。このように、水によって膨潤して十分なスペースができると、セルロース分子主鎖の分子運動が解放される。このような状態で家庭での洗濯のように繊維が揉まれると、しわになるのは当然であるといえる。

3. 洗濯におけるしわ

再生繊維は、天然セルロース繊維である木綿と同じ分子構造を有するにもかかわらず、なぜ水洗いには向かず、ドライクリーニングが適すのであろうか。通常、石油系ドライクリーニング溶剤には、ノナン以上の炭化水素が使用されている。わたしたちは暮らしの中で、水も油も当たり前のようにティッシュやキッチンペーパーなどの紙で拭きとるが、よく考えてみるとセルロースは、水にも油にも親和性を有する稀有な存在である。果たして、両親媒性高分子であるセルロースは、石油系ドライクリーニング溶剤では、ガラス転移せず、ゴム状態にはならないのであろうか。

室温25℃での再生セルロース繊維（リヨセル）に対する非極性溶媒（石油系ドライクリーニング溶剤を含む）の影響を図7に示す。分子量が小さい炭化水素であるヘキサンやヘプタンでは、水による影響と同様に $\tan \delta$ のピークが出現した。すなわち、セルロースは両親媒性高分子であるため、非水系の溶媒でもガラス転移することが明らかになった。しかし、溶媒の分子量の増加とともにピークは消失しているように見える。これは、溶媒の分子量が大きくなると、分子運動に必要な十分なスペースが得られないため、運動領域が小さくなり、分子運動が起こりにくくなると考えられる。特に、デカンや石油系ドライクリーニング溶剤では、 $\tan \delta$ のピークがほとんど観察されなかった。すなわち、溶媒の分子量が一

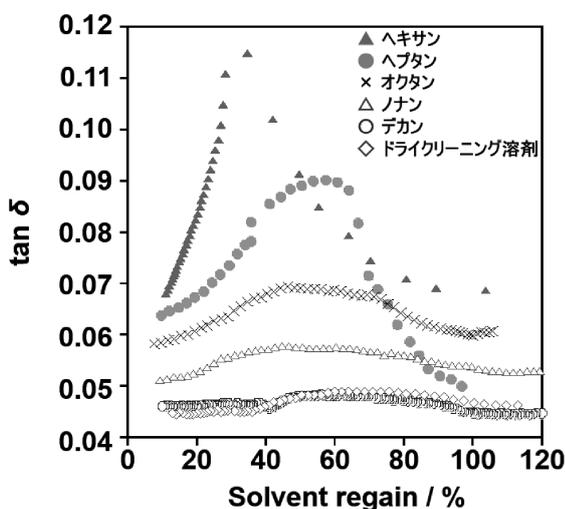


図7 再生セルロース繊維（リヨセル）に対する非極性溶媒の影響：25℃での $\tan \delta$ の溶媒含有率依存性⁵⁾

定量を超えると、セルロース分子主鎖の分子運動は起こらず、ゴム状態にならない⁶⁾。実際に、石油系ドライクリーニング溶剤には、経験的にノナンより大きい分子量の炭化水素が指定されているが、その本質はセルロース分子主鎖の分子運動を引き起こさない分子サイズであることが関係しているといえる。これらを踏まえると、分子サイズを変えない限り、セルロース繊維の水洗いによるしわを根本的に解決することはできないが、再生繊維においても木綿なみに分子運動を抑制できれば、ゴム状態の程度が下がり、家庭での水洗いに適する繊維になりうることを示唆された。

他方、繊維素材に関する中長期的な課題として、木綿の需要と供給の莫大な差がある（コットンギャップと呼ばれている）。これは、世界的な人口増加と経済発展によって木綿の需要が年々高まる一方で、その生産量はすでに限界を迎えているためである。この原因として、都市化による田畑の減少や、食糧確保のための穀物畑の優先、木綿栽培での農薬による健康被害などがあげられる。そこで、木綿と同じセルロースで構成される再生繊維の活用が期待される。もし、再生セルロースの親水性を制御でき、木綿と同じような使い方ができるようになれば、新しい再生繊維が展開できる、莫大な市場が開けるに違いない。

4. セルローススポンジ・タオルと分子運動

日本では、ナイロンやポリウレタン、ポリエステル製のスポンジが主流であるのに対し、欧米では再生セルロースのスポンジが主流である。なぜなら、わたしたちの肌に優しく、物質に対しても損傷を与えにくいからである。しかし、高温多湿な日本の気候風土において、セルローススポンジは適さない。これは、台所や浴室などの高湿度下で使用すると、カビが生えやすいことから、使用後に十分に乾燥させる手間がかかるためである。この問題は、程度こそ異なるものの世界的なもので、防カビ剤を含浸するなどの工夫がなされている。しかし、水や洗剤とともに使用する性質上、使用を重ねると防腐剤も洗い流されてしまうため、根本的な解決には至っていない。いずれにしても日本では、セルローススポンジは、カビが生えにくい屋外で使用されている。例えば、自動車の洗浄などでは、繊細な車のボディーに傷つきにくいセルローススポンジが好まれている。

しかし、浴室内で使用されるナイロン製のスポンジやタオルは、かゆみやかぶれの原因となり、皮膚炎を引き起こす一因になることが指摘されている。そのため、赤ちゃんや高齢者、皮膚疾患を抱える場合などは、海綿などの天然スポンジや、木綿などの天然素材のタオルの使用が推奨されている。ここで不思議なのは、本来、セル

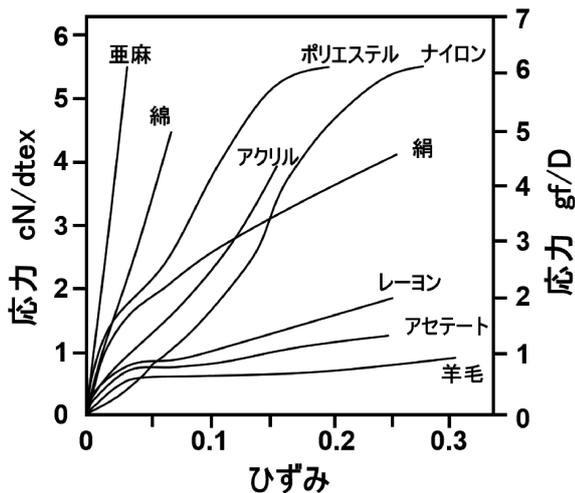


図8 各種繊維の応力ひずみ曲線⁷⁾

ローズ繊維よりも、ナイロンのほうが本質的に軟らかいことである。各種繊維の応力ひずみ曲線を図8に示す。ナイロンは応力が高いことから、亜麻やポリエステルとともに、強い繊維であることがわかる。一方で、硬さを表す初期の傾き（初期ヤング率）は、ナイロンが最も低く、非常に軟らかいことがわかる。この角度は、亜麻や木綿、レーヨンよりも明らかに低く、軟らかい。すなわち、ナイロンでこすことで皮膚炎を起こすのであれば、硬い木綿のほうが皮膚炎を起こしやすくもおかしくない。実は、ここでもセルロース主鎖の分子運動が関係している可能性がある。セルロースの場合、水によってガラス状態からゴム状態に変化して軟らかくなる。そのため、皮膚への影響が抑制され、皮膚炎を起こしにくいと考えられる。このように、スポンジという観点では、わたしたち消費者が特性を理解したうえで、カビが生えないように乾燥させるという手間さえ惜しまなければ、その特性（ゴム状態なので柔らかく、膨潤により水をたっぷり吸収する）から、その利用はまだまだ拡大するはずである。

5. 再生セルロースのガスバリア性

ビスコース法（レーヨンの原液を使用する）によって得られる再生セルロースフィルムは、セロファンとして知られており、その利点には、非常に高いガスバリア性があげられる（表1）。もし日々使用される食品用ラップをセロファンで代用できれば、カーボンニュートラルな素材として、環境保護の観点からも有益である。しかし、ここでの問題は、水に濡れると再生セルロースのガスバリア性が桁違いに低下してしまうことである。これも、セルロースの分子主鎖の分子運動が関係しており、水によってガラス転移温度が低下し、分子主鎖全体が運動することによって、ガスを通してしまふのである。したがって、

表1 セルロースと他の代表的な高分子材料のCO₂ガス透過性

高分子材料	CO ₂ ガス透過性 (ml/m ² 24 h atm/25 μm)
セルロース（セロファン）	50
ポリエチレン	9,100~42,500
PET	320
6.6-ナイロン	175

出典：セルロース学会『セルロースのおもしろ科学とびっくり活用』⁸⁾

乾燥状態であれば天然由来であるセロファンの利点は多いが、食品用ラップが濡れることは避けられない。これらを根本的に解決するには、セルロース主鎖の分子運動を抑制するしかない。もしこれを制御することができれば、木綿を超える再生繊維など、再生セルロースの新たな利用が展開されることは間違いない。

一方、このガスバリア性については、他素材とのラミネート加工によってある程度解決することができる。この他素材には、ガスは通すが水は通さないポリエチレンなどがあげられる。お互いの欠点を補い長所を生かすわけである。スーパーマーケットなどのレジ袋（ポリエチレン製）に食品やゴミをいれると、いくらきつく縛ってもにおいがもれるのはガスバリア性が低いためである。お互いの長所を利用して、セロファンとポリエチレンの多層構造にすることで、水に強く、ガスバリア性が高い素材となりうる。例えば、このような特性をうまく利用した暮らしの素材に、弁当、青果物などの抗菌、防カビシートがある⁹⁾。このシートは、使用前の乾燥状態では、再生セルロースの高いガスバリア性によって有効成分は通過せず、長期間の保存が可能になる。ところが、使用中に食品に触れると高湿度状態になって、セルロース分子主鎖の分子運動が起こりはじめ、揮発性の抗菌・防カビ成分が通過する。これは、水に濡れるとガスバリア性が低下してしまう再生セルロースのマイナスポイントを逆手に取って、再生セルロースをスイッチ機能としてうまく利用した商品である。その構造は、防菌、防カビ成分を塗工したポリエステルフィルムとレーヨン・パルプの混合不織布を素材に、接着剤層となるポリエチレンとポリプロピレンを積層した多層構造で、他方にはビスコース溶液が塗工されている。ここでの防菌、防カビ成分には、ワサビやカラシに含まれる天然の辛味成分であるアリルカラシ油が用いられているため、安心安全に食することができる。このように、再生セルロースを他素材と利用することでも、わたしたちの暮らしを豊かにする製品が、今後も開発されることが期待される。

表2 各繊維素材の標準的仕上げ温度とガラス転移温度

繊維	温度 (°C) ^{*1}	ガラス転移温度 ^{*2}	融点 (°C) ^{*2}
綿	180-200		
麻	180-200		
毛	150-160		
レーヨン	140-150		
ポリエステル	120-130	69	265
ナイロン	120-130	50	265
アクリル	120以下	104	317
ポリウレタン	60-70		
ポリ塩化ビニル	不可	87	223

※1 全国生活衛生営業指導センター編著『新版よくわかるクリーニング講座—クリーニング師編』¹⁰⁾

※2 小野木重治『高分子と複合材料の力学的性質』¹¹⁾

6. しわとアイロン

なぜアイロンをかけるとしわがのびるのであろうか。各社のアイロン温度は、低温が80~120℃、中温が140~160℃、高温が180~210℃程度であり、アクリルやポリウレタンには低温、毛や絹、ナイロン、ポリエステルでは中温、綿や麻では高温が推奨されている(表2)。しかし、わたしたちがセルロース系の衣服にアイロンをかける場合、温度だけでは十分にしわがとれないことから、経験的に霧吹きやスチーム、スーマーを併用してしわを伸ばしている。このアイロン温度は、合成繊維や半合成繊維の場合、軟化温度とガラス転移温度の間の可塑性領域にあり、さらに高温になると繊維が溶解してしまうため、低温でかける必要がある。しかし、綿の場合、200℃程度の高温でアイロンをかけてもガラス転移は起こらない。そこで、霧吹きなどで水をかけるとガラス転移温度が低下し、セルロース分子主鎖の分子運動が活発になって、しわを伸ばすことができる。そして、再び乾燥すると、ガラス状態に固定され、しわが伸びた状態を保持できる。すなわち、乾燥状態でのアイロンだけでは、十分な分子運動が起こらないため、水が必要なのである。そのため、スチームなどで蒸気のみをあてた場合にも、一定以上の温度と水分が加わると、しわをのばすことができる。一方で、ポリエステルなどは、水の影響を受けないことから、水ではなく水蒸気の熱によってガラス転移温度を超えて、しわが伸びると考えられる。このように、アイロンがけにおいても分子運動がわたしたちの暮らしに関わっていることがわかる。

7. 食べられるセルロース

食生活の高カロリー化がすすみ、ヘルシーな食品への

要求が高まっている。セルロースは、低カロリー、糖質ゼロの食物繊維であるため、これらのニーズに対して有用な素材である。ところが、セルロースそのものは、極めて食感が悪いことから食品としては展開できない。食品添加物としては、微結晶セルロースや微細繊維状セルロースなどが、アイスクリームやドレッシングの分離抑制をはじめ、清酒や醤油の濾過助剤、粉末チーズの固結防止や油の吸着担体、パンやケーキの水持ち性の向上など、様々な食品に利用されている。しかし、ここでのセルロースは、ごく少量が添加されているだけで、セルロース食品とはいえない。ほかに、酢酸菌によって得られるナタデココもセルロースである。一方、再生セルロースについては、その製造工程で二硫化炭素(レーヨン)や、銅アンモニア(キュプラ)、NMMO(リヨセル)を使用するため、そもそも法律的に食品への展開は不可能であった。これに対して、近年、セルロースの溶媒として、水酸化ナトリウム水溶液が検討されてきた。水酸化ナトリウムは、食品のプロセッシングに使用可能な薬品であるため、セルロース/水酸化ナトリウム水溶液によるプロセスから得た再生セルロースは、法的に唯一可食である。

しかしながら、再生セルロースにおいても、食品として食べるには食感に課題があった。なぜなら、再生セルロースを完全に乾燥させてしまうと、ガラス状態になり、食感が悪くなるためである。この課題は、溶解状態でグルコマンナンを複合して成型したものを、未乾燥の状態を提供することによって飛躍的に改善された。ここでも、水の存在によってセルロース分子主鎖の分子運動が解放されることが関係している。これは、セルロースが水によってゴムのような状態になることで、食品として適する弾力が保持できる。さらに、走査型電子顕微鏡による測定において、ポーラス構造の平均孔径が、セルロースの割合が低下するにもなって大きくなることが確認されており、食品として必要な保水率と保油率も向上した。また、NMR(核磁気共鳴)による相溶性の検討では、セルロースの割合が低いときにグルコマンナンと相溶している可能性が高いこともわかっている。一方、食物繊維であるセルロースは、カロリーがないとされているが、短鎖脂肪酸を介して一部は消化されることが知られている。これについては、再生セルロースも天然セルロース同様に、ほとんど分解されないことを確認した¹²⁾。これらを基盤に、現在ではオーミケンシ株式会社と所属研究室の共同開発により、木材由来の未調理で食べられる米粒状と麺状の再生セルロース食品が「ぶるんちゃん」という商品名で販売されている(図9)。この食品は、低カロリーで低糖質、かつ食物繊維が豊富であることから、飽食の現代社会のニーズに答える商品である。



図9 再生セルロースとグルコマンナンの複合食品¹³⁾

8. おわりに

セルロース主鎖の分子運動と暮らしについて、まずは身近な洗濯を題材に、なぜセルロース繊維が家庭での洗濯でしわになるのかについて言及した。その他の具体例には、セルローススポンジやタオル、ガスバリア性、食べられるセルロースについて触れたが、普段、何気なく過ごしていると見落としがちな疑問も、科学的な視点からみつめることによって、新たな暮らしを支えられる提案ができる可能性を有している。ここに家政学ならではの領域にとらわれないおもしろさがあると考え、そして、セルロースは、衣食住の生活をはじめ、環境問題に至るまで、あらゆる領域に関わる興味深い材料である。実際に、生活に必要不可欠な水に関しても、海水を真水に変えるセルロース誘導体膜が世界中で活躍するなど、セルロースは形を変えてわたしたちの生活を支えている。また、再生セルロースの原点である再生繊維においても、近年、快適な下着としての利用が拡大しており、安価で丈夫な合成繊維に対して、吸湿速乾性と滑らかな風合いを与える天然由来の素材として消費者のニーズに答えている。さらに、近い将来には、綿の需要と供給に莫大な差が生じることを踏まえると、再生セルロースの利用の拡大が期待される。一方、わたしたちが数年前まで暮らしの中で当たり前前に使用していた洗顔料やボディソープなどのスクラブ製品には、マイクロプラスチックビーズが使用されていたが、排水処理施設では除去できずに海洋汚染につながっていたことが問題となり、これもセルロースやコーンスターチなどの天然由来の成分に置き換えられている。このように、生分解性のエコ・マテリアルであるセルロースの利用は拡大しつつあるが、2019年12月に開催された国連気候変動枠組条約第25回締約国会議(COP25)では、日本は地球温暖化対策を後退させるような消極的な発言をした国などが選定される「化石賞」を不名誉ながら受賞した。家政学においても「賢い消費者」になるための消費者教育が年々重要視されており、わたしたち消費者が日々の暮らしの中で、どのよう

な商品やサービスを選択するかが問われている。その選択肢の一つとして、セルロースがわたしたちの暮らしを豊かにする材料となるよう、引き続き基礎研究の発展に寄与したい。

文献

- 1) Matsunaga, T.; Ikada, Y.: Surface modifications of cellulose and polyvinyl alcohol, and determination of the surface density of the hydroxyl group. *Modification of Polymers, ACS Symposium Series*. 1980, Vol. 121, No. 26, 391-406.
- 2) Yamane, C.; Aoyagi, T.; Sato, K.; Okajima, K.; Takahashi, T. Two different surface properties of regenerated cellulose resulting from structural anisotropy. *Polymer Journal*. 2006, Vol. 38, 819-826.
- 3) Yamane, C. Structure formation of regenerated cellulose from its solution and resultant features of high wettability, A review. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2015, Vol. 30, No. 1, 78-91.
- 4) Yamane, C.; Mori, M.; Saito, M.; Okajima, K. Structures and mechanical properties of cellulose filament spun from cellulose/aqueous NaOH solution system. *Polymer Journal*. 1996, Vol. 28, 1039-1047.
- 5) Okugawa, A.; Sakaino, M.; Yuguchi, Y.; Yamane, C.: Relaxation phenomenon and swelling behavior of regenerated cellulose fibers affected by water. *Carbohydrate polymers*. 231, DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115663 (2020).
- 6) Okugawa, A.; Yuguchi, Y.; Yamane, C.: Relaxation phenomenon and swelling behavior of regenerated cellulose fibers affected by organic solvents. *Carbohydrate polymers*. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.117656 (2021).
- 7) 日本衣料管理協会刊行委員会. “第1部 繊維に関する一般知識”. 繊維製品の基礎知識. 日本衣料管理協会, 2006, 18.
- 8) セルロース学会. セルロースのおもしろ科学とびっくり活用. 講談社, 2012, 37.
- 9) レンゴー株式会社. 藤田真夫, 亀井清, 広濱秀次. 揮散性薬剤放出シート. 特開平11-117195. 1997-10-07.
- 10) 全国生活衛生営業指導センター編著. 新版よくわかるクリーニング講座—クリーニング師編. ERC出版, 2004, 152.
- 11) 小野木重治. 高分子と複合材料の力学的性質. 化学同人, 1976, 316-318.
- 12) Okugawa, A.; Ishihara, K.; Taniguchi, H.; Kono, H.; Yamane, C. In vivo decomposition of ¹³C-labeled cellulose in the mouse. *Cellulose*. 2020, Vol. 27, 2417-2426.
- 13) オーミケンシ株式会社. “ぶるんちゃん—セルロースとグルコマンナンからできた低カロリーな新しい食品”. <https://www.purunchan.com/>(入手日: 2020.12.18).