

誰かに教えたくなる 科学技術の話 10

草木から生産する革新繊維



東京大学名誉教授 月尾 嘉男

生活と文化の基盤「衣」

人間の生活基盤を要約する「衣食住」という言葉がある。食と住は人間以外の動物にとっても必要であるが、衣は人間に特有な生活基盤である。さらに中国の古典『管子』にある「衣食足りて礼節を知る」という言葉のように、人間の文化にも衣は影響している。そのため、人間は古来、快適かつ便利な衣を入手するため数多くの繊維を開発してきた。その繊維の最新事情を紹介する。

四大天然繊維

人間が最初に衣の材料としたのは当然であるが天然素材である。獣皮を例外として大半は繊維であり、麻、綿、絹、毛が四大天然繊維であった。麻は亜麻、大麻、苧麻、網麻、黄麻などが利用されてきたが、最高の品質は亜麻である。すでに五千年前からメソポタミアからエジプトで栽培され、とりわけエジプトが古代から世界最大の産地で、エジプトのミイラは亜麻の布地で包装されていた。

綿の栽培も五千年前に登場し、発祥の場所はインダス文明とアンデス文明とされている。インダスの綿は紀元前四世紀

のアレキサンドロス大王のインド遠征によって西方にもたらされ、アンデスの綿はコロンブスのアメリカ大陸到達を契機としてヨーロッパにもたらされた。綿を糸や布にする自動機械を開発したイギリスを中心に、綿布は産業革命を象徴する製品となっていた。

蚕の繭から製造する絹は紀元前二十七世紀頃の中国の神話時代に発見され、紀元前二十五世紀頃には織機も中国で発明されたという伝承がある。この製法は極秘とされ、織物のみが輸出されていたが、五世紀頃から次第に蚕が漏出するようになる。日本には四世紀頃に中国から帰化した人々により技術が伝達されて以後、国内で改良され、明治時代には世界最大の生産地帯として外貨を獲得した。

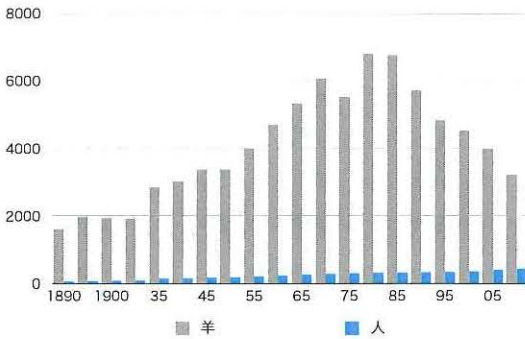
毛の原料を供給する羊の放牧はメソポタミア文明とともに発生し、古代ローマの隆盛によりヨーロッパ全域に拡大していった。とりわけJ・カエサルは兵士の衣服に使用するため牧畜と羊毛工業を発展させた。その結果、羊毛は地中海域の重要な交易商品となり、放牧は大陸からイギリス、さらにはオーストラリア、ニュージーランドにまで拡大し、世界有数の繊維製品になっていった。

天然繊維のもたらす環境破壊

これら四大天然繊維は人間の生活水準の向上に絶大な貢献をしたが、生産の増大とともに厄介な問題が発生した。自然環境の破壊である。綿の栽培には畑地が必要であり、羊の放牧には牧場が必要である。そのために森林を伐採して畑地や牧場に変更することになる。栽培や放牧が家族経営規模であればまでも、巨大資本が参入して広大な畑地や牧場を造成するようになると問題が顕著になる。

ニュージーランドは紀元一〇〇〇年頃

図1 ニュージーランドの羊と人の数(万)



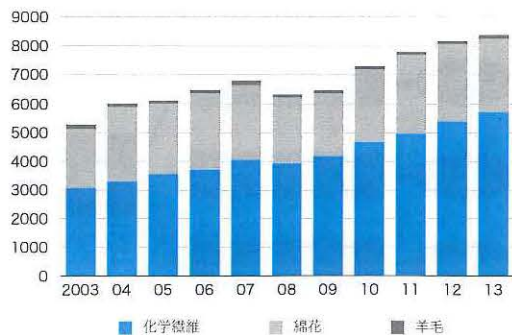
にマオリ民族が到来し、天然の自然は多少破壊されたが、それでも国土全体は氷河と天然の森林で被覆されていた。ところが十九世紀中頃にイギリスから到来した移民が放牧を主業とし、最大の時期には人口の二十倍以上の羊が放牧されるようになった(図1)。その結果、現在では国土の四割が牧場になり、森林は三割に減少してしまった。

ウズベキスタンとカザフスタンの国境にアラル海という湖沼がある。わずか五十年前には琵琶湖の百倍の湖面をもつ世界四位の湖沼であったが、現在は一割以下に縮小している。天変地異の影響ではなく、ここに流入する二大川の清流を途中の乾燥地帯に引水し、綿の栽培をした結果である。現在、一部は湖水として存続させるが、大半は荒地として放棄することになっている。

登場した化学繊維も問題に直面

このような環境問題を背景として、化学繊維もしくは人造繊維と命名される人工の繊維が次々と登場してきた。化学の世紀といわれる十九世紀後半からレーヨン、アセテート、キュプラ、ビスコースレーヨン、ナイロン、ビニロン、アクリル

図2 主要繊維の生産比率(万トン)



ル、ポリエステルなど、現在の日常生活に浸透している化学繊維が開発され、最近では七割が化学繊維、三割が天然繊維という時代になっている(図2)。

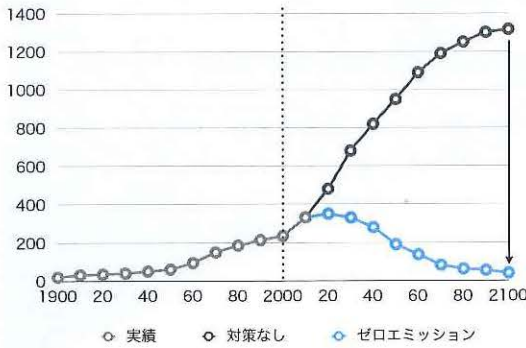
蚕や羊は疫病流行により何度も壊滅状態になっていくし、綿や麻は天候不順により生産が大幅に変動するが、化学繊維は素材を安定して供給できるという意味で人類に貢献している。しかし問題は石油や石炭という有限の化石資源を原料としていることである。実際、世界の石油の約一割は繊維生産のためだけではないが、化学原料として利用され、日本で

は約二三%にもなっている。

周知のように、化石資源は枯渇が憂慮されている。五十年以上前から石油は百年程度で枯渇する有限な資源であると予測されてきたが、現在でも同様であるため、オカミ少年と揶揄されることがあるが、これは掘削技術の向上と新規の油田の発見の効果であり、有限な資源であることに変化はない。したがって過度に依存することは長期の戦略としては適切ではない。

さらに重要な課題は化石燃料の使用が
大気温度上昇の主要な原因とされ、一部

図3 二酸化炭素排出量 (CO² 億トン)



に異論はあるものの、徹底した対策を実施しなければ、今世紀末には気温が現在より四度程度も上昇すると予測されている。その上昇を一度程度に抑制しようとするれば、今世紀末までに化石燃料の使用をゼロにするゼロエミッションが必要とされている(図3)。グラフからも理解できるが大変な難題である。

再生可能資源への転換

あらゆる対策のなかで重要な対策が再生可能資源の利用である。太陽電池、風力発電、水力発電などとともにバイオマスと名付けられる植物も有望な再生可能資源である。人間が食料とする植物を利用しては本末転倒であり、注目されているのは**非可食性バイオマス**すなわち食料ではない植物の利用で、石油を原料としていた素材についても**非可食性バイオマス**の利用が注目されている。

非可食性バイオマスの代表は草木であり、**木質バイオマス**と名付けられ、簡略に説明すれば、草木から化学素材を生産することを目指す研究開発が進行している。草木には光合成の能力があり、空中の二酸化炭素と水分と太陽光線を原料として、酸素を空中に放出し、炭水化物を

自身の躯体や枝葉に蓄積している。これによって人間をはじめとする動物の排出する二酸化炭素が処理されている。

期待のCNF

その木質バイオマスを加工して既存の繊維とは桁違いの能力をもつ繊維にしようという開発が進行しており、その代表が**セルロースナノファイバー(CNF)**である。木質バイオマスは細目の毛髪程度の繊維で構成されており、拡大していくと**セルロース**を鉄筋、**ヘミセルロース**と**リグニン**をコンクリートとする鉄筋コンクリートのような構造であり、その鉄筋がCNFである。

このCNFが素晴らしい素材であることを説明するために、まず木材が異常な性能をもつことを紹介する。世界最古の木造建築は檜材で構築された法隆寺であるが、建立から約千四百年が経過した現在でも往時のままの外観を維持しているだけではなく、柱材などの曲げ強度も変化していない。現在の鉄筋コンクリートの建物やプラスチックの製品は、それだけ長期に強度を維持できない。

鉄筋コンクリートの建物と比較すると木造建築に強固な印象はないが、はるか

に頑強な素材である。その差異は材木の鉄筋に相当するCNFが鉄鋼に比較してきわめて頑丈な素材であることに原因がある。単位重量は鉄鋼の二割程度と軽量であるが、強度は鉄鋼の八倍もあり、温度がマイナス二〇〇度からプラス二〇〇度の範囲で弾性が変化しないという優秀な特性を持つ。

人間が開発した化学繊維は数多くあるが、その代表である炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維と比較しても、CNF

図4 樹脂複合繊維の性能比較

	CNF	炭素繊維	アラミド繊維	ガラス繊維
密度 (g/cm)	1.60	1.82	1.45	2.55
引張弾性率 (GPa)	140	230	112	74
引張強度 (GPa)	3.0	3.5	3.0	3.4
価格 (¥/kg)	400	3000	5000	300

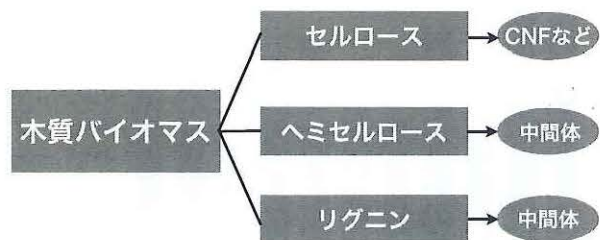
矢野浩之「スルロースナノファイバー：日本には資源も知恵もある」2015

の特性が明確である(図4)。しかし、この優秀な繊維が木材から生産できることになれば、大量の樹木が伐採され、さらに製品が廃棄された場合には二酸化炭素が発生して、結局は環境問題とりわけ大気温度の上昇に影響するのではないかと危惧されるかもしれない。

しかし、カーボンニュートラルという概念があり、樹木の躯体も枝葉も本来は空中に存在していた炭素を植物が自体に固定したものであるから、地中に埋蔵されていた化石燃料を燃焼して排出される炭素と相違して、木材の燃焼や腐敗により排出される炭素の収支は一定であるという理屈である。CNFは温室効果ガスの産出がゼロの資源として期待の新星なのである。

ここまでセルロースについてのみ紹介してきたが、同時に生産されるヘミセルロース、リグニンについても、資源として利用する研究は並行して進行している(図5)。衣服に関係なさそうな素材の話題に発展してきたが、すでにCNFを使用した不織布も開発されており、この革新材料を利用すれば、断熱性能、耐水性、通気性能などが飛躍した衣料を製造

図5 木質バイオマス利用構想



できることになる。

人類が農業を手中にする以前の一人一日のエネルギー消費と現在の数字を比較すると、過去一万年間で百倍に増加している。この急激な増加は自然の循環の外部に存在していた資源を人間社会に導入したことにより達成されたのであるが、その結果が資源枯渇、環境破壊の発生である。現在、科学技術は自然循環の一環となる方向へ転換を着々と開始しており、その一例がCNFである。