

## 6. 衣服の用途に適した繊維を

### 天然繊維より形状も耐久性も優る合成繊維

本来、衣服は寒さや太陽の光や風や埃や雨露などの気象条件に適応できるように身体をかばう役目を持っていますから、保温性や保湿性や通気性などの性質を備えた物でなければなりません。しかし同時に衣服は人間の行動を制限するような物であってはなりませんから、着心地や動作性や機能性も兼ね備えていなければなりません。その上、経済性や耐久性ばかりでなく、装飾性までも求められています。このような種々の性質を満足させる物は自然界には見当たりませんから、古来多くの知識と技術を持って動物や植物から種々の材料を用いて衣服になる物を開発してきました。

自然界で衣服に利用できる多くの繊維の中で、絹の繊維以外はみな短くそのままでは布にすることができません。また、非常に長い絹の繊維は布にするにはそのままでは細すぎます。そのため、短い繊維や細い繊維を縫って糸とし、糸を編み上げたメリヤスなどの編み物や糸を機織機で織り上げた織物などの布として、種々の衣服が作られています。長さや太さなど繊維の形状のほかに、繊維を利用して衣服にするためには、衣服の耐久性も考慮しなければなりません、繊維が切れてゆく場合には大きな力に抗しきれずにプツンと切れる場合と繊維が長い間に擦られて次第に摩耗して細くなり切れてゆく場合の2通りがありますから、繊維の強さは繊維の引張り強さと破断歪みと弾性率と摩耗寿命を尺度として表します。種々の繊維を衣服に利用するためには、このように繊維の長さや太さなどの形状や繊維の引張り強さと破断歪みと弾性率と摩耗寿命などの耐久性に関する力学的性質が重要になってきます。本節では天然繊維ばかりでなく再生繊維や合成繊維についてこれらの性質を纏めて比較し、衣服として利用する場合の特徴を考えて見ましょう。

広く衣服に用いられている天然繊維の形状は表 6 - 1 にまとめてあるように、単一の繊維として利用す

表 6 - 1 天然繊維の長さや直径

|          | 長さ(mm)    | 直径(mm) |
|----------|-----------|--------|
| インド綿     | 12 ~ 20   | 0.021  |
| アメリカ綿    | 16 ~ 30   | 0.016  |
| エジプト綿    | 20 ~ 32   | 0.016  |
| 麻        | 20 ~ 140  | 0.016  |
| 大麻       | 100 ~ 300 | 0.020  |
| 黄麻       | 150 ~ 360 | 0.017  |
| 絹(日本繭)   | 125000    | 0.0022 |
| 絹(中国繭)   | 140000    | 0.0031 |
| タイシルク    | 32000     | 0.0015 |
| 絹(山繭)    | 48000     | 0.0066 |
| 羊毛(メリノ種) | 20 ~ 150  | 0.021  |
| カシミア毛    |           | 0.017  |
| アンゴラ毛    |           | 0.025  |
| 駱駝毛      |           | 0.018  |
| アルパカ毛    |           | 0.027  |

るに十分な太さと長さをすべての繊維が満たしていません。絹の繊維は十分な長さを持っていますが、極端に細い形状をしています。その他の天然繊維はいずれも衣服にするには十分な長さを持っていませんから、繊維を縫って長くて強い糸を作り衣服に用いています。これに対して、再生繊維と合成繊維は製造の過程において、素材を液状にした後にノズルから押し出して繊維の形に変形していますから、用途に応じて繊維の太さと長さを調整することができます。繊維を縫って衣服に適した糸に紡績することもできますが、比較的太い長繊維に延ばして単一の繊維とし、婦人用のストッキングに編み上げたり、ギターのガットに用いて美しい音を出しています。

第 2 章で調べたように繊維の間に働く摩擦力を利用して、繊維を縫って長い糸に紡いでゆきましたが、高分子化合物も分子同士の分子間力や絡み合いの力が働いて、こんがらかるために高い粘性を持ち、究極まで粘性が高くなりますと外力を加えると変形したままになり、衣服に利用できるような繊維を形作ります。分子の絡み合いが弱ければ、当然繊維の強さも弱くなると考えられますから、分子の長さや分子の間に働く分子間力の強さが繊維の強さに影響を与えます。図 3 - 8 に掲げたように、約 100nm(0.1 $\mu$ m、 $1 \times 10^{-7}$ m)以上の長さの高分子化合物で分子の絡み合いが見られますが、それ以上に長くなっても絡み合いの変化が小さく、ガラス転移点はほぼ一定になっています。分子がある長さに達するまでは繊維は極めて弱く、ガラス転移点を越える付近からは徐々に強くなり、柔軟性が乏しくなってきます。そのためある限界を越すと性質の向上が小さく紡糸等の加工がし難くなってきますから、経済効率の点から製造過程で適正な分子の長さに制御されています。

しかし、分子の絡み合いは分子の長さだけでなく分子間に働く水素結合や硫黄 - 硫黄結合や鎖の形などにも大きく影響されます。そのため、分子の絡み易さを表す尺度として種々の合成繊維について凝集エネルギー密度が求められていますので、表 6 - 2 に掲

表 6 - 2 各種合成繊維の凝集エネルギー密度 (cal/cm<sup>3</sup>)

|               | 構造式         | 凝集エネルギー密度 |
|---------------|-------------|-----------|
| ポリエチレン        | 図 5 - 12(A) | 62        |
| ポリスチレン        | 図 5 - 12(C) | 73        |
| ポリメタクリル酸メチル   | 図 5 - 12(L) | 82        |
| ポリ塩化ビニル       | 図 5 - 12(D) | 91        |
| ポリメタクリロニトリル   | 図 5 - 12(M) | 114       |
| ポリエチレンテレフタレート | 図 5 - 7     | 114       |
| セルロースアセテート    | 式 5 - 2     | 119       |
| 66-ナイロン       | 図 5 - 4     | 182       |
| ポリアクリロニトリル    | 図 5 - 12(G) | 237       |

げておきます。炭素＝炭素 2 重結合の重合により合成される合成繊維でも、全く大きな原子や原子団を持たないポリエチレンは小さな凝集エネルギー密度を示しています。分子の鎖に付いた原子や原子団の違いにより異なる凝集エネルギー密度を示し、枝が大きく張ったポリスチレンやポリ塩化ビニルは大きな値を示していますから絡み易いと思われます。また、水素結合が分子間に可能な場合には大きな凝集エネルギー密度を示しています。このように分子の間に働く絡み合いが繊維の強さや柔軟さなどの力学的な性質に大きく反映してきます。

次に、衣服に用いられる繊維の耐久性などを示す力学的な性質の指標となる引っ張り強さ、弾性率、破断歪み、摩耗寿命を表 6 - 3 に纏めました。ここで掲げた引っ張り強さと弾性率は圧力を表す単位の MPa で表していますが、kg/cm<sup>2</sup> のように一定の太さの繊維で吊るし上げられる重りの重さで表すこともできます。運動会の綱引き用の綱や力の掛かる紐などに麻の繊維が古くから使われてきましたが、この表から分かるように、麻の引っ張り強さが非常に大きく破断歪みが極端に小さいので、繊維が破断し難くしかも破断するまでほとんど変形しない性質から肯けます。綿の力学的性質と比較しますと、絹の繊維の引っ張り強さも弾性率も綿の繊維とあまり違いがありませんが、絹の繊維が切れるまでに伸びる割合を示す破断歪みは非常に大きな値を示しています。絹は櫛形に

表 6 - 3 各種繊維の力学的性質

|            | 引っ張り強さ(MPa) |      | 弾性率<br>(MPa) | 破断歪み<br>(%) | 摩耗寿命<br>(回) | 摩耗減少<br>(%) | 比重<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------|-------------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
|            | 標準状態        | 湿潤状態 |              |             |             |             |                            |
| 綿(アメリカ綿)   | 537         | 659  | 16000        | 5           | 39          |             | 1.54                       |
| 麻(ラミー種)    | 861         | 1019 | 27600        | 2           |             |             | 1.50                       |
| 絹          | 429         | 301  | 16500        | 20          | 7           |             | 1.39                       |
| 羊毛(メリノ種)   | 157         | 139  | 6500         | 30          | 3           | 83          | 1.32                       |
| ビスコースレイヨン  | 265         | 139  | 16500        | 21          | 20          |             | 1.50                       |
| 銅アンモニアレイヨン | 298         | 199  |              | 14          | 60          |             | 1.50                       |
| アセテート      | 151         | 93   | 5900         | 30          | 3           | 42          | 1.32                       |
| ナイロン       | 563         | 508  | 3100         | 35          | 70000       | 5           | 1.14                       |
| ビニロン       | 395         | 299  | 11000        | 20          | 14637       |             | 1.28                       |
| ポリエステル     | 597         | 597  | 13500        | 26          | 11770       | 5           | 1.38                       |
| アクリル       | 384         | 333  | 8300         | 38          | 4           | 39          | 1.16                       |
| ポリプロピレン    | 482         | 482  |              | 43          |             |             | 0.91                       |
| ポリウレタン     | 76          | 71   | 0            | 225         |             |             | 1.15                       |
| 鋼鉄線        | 2428        |      |              |             |             |             | 7.86                       |

長く伸びた分子が互いに櫛の部分で噛みあって絡み合っていますが、この噛み合った部分がずれて延びてゆくためと思われます。羊毛も破断歪みが絹と同じように大きいことは分子の強い絡み方による物と思われます。3種類の再生繊維は綿や麻と同じセルロースでできていますが、紡糸過程でセルロースが絡み直しをするために、引っ張り強さにおいてかなりの劣化が見られます。

多くの繊維の引っ張り強さが乾燥した標準状態と湿潤状態で異なりますが、ポリエステルやポリプロピレンなどの合成繊維はほとんど水との親和性がなく、その引っ張り強さには全く変化がありません。水の中でも繊維の強度が変化しませんから、水着やレインコートや傘などの濡れることを前提とした衣服などに適しています。代表的なポリエステルのポリエチレンテレフタレート（PET）は乾燥状態でも湿潤状態でも引っ張り強さに変化がありませんから、ペットボトルとして飲料水の容器に広く用いられています。しかもその引っ張り強さが大きいために、炭酸飲料などの内部圧力の大きな飲料水の容器にも利用されています。

表6-2に掲げました摩耗寿命は0.15gの力で引っ張っている太さ1デニール(約 $7 \times 10^{-7} \text{cm}^2$ )の糸が回転する車に擦れるように装着して、糸の破断するまでの車の回転数で測定しています。しかし、車の大きさや表面の滑らかさや材質によって繊維との摩擦の仕方が異なりますから、その計測値は再現性や普遍性に欠けてしまい、他の測定値と比較することが困難です。また、金剛砂の中で一定回数摩擦した後の繊維の太さの減少量から摩耗減少の割合を求めています。これらの摩耗寿命や摩耗減少は織物の破れて穴が空くまでの寿命と多少の相関関係がありますから、長時間の使用による繊維の劣化のもとになる摩耗の特性を表す尺度になると思われます。天然繊維や再生繊維に比べて、合成繊維の摩耗寿命は格段に大きく、ナイロンやポリエステルなどの繊維が長時間の使用による繊維の劣化に対して極めて優れていることを示しています。ナイロンは絹と同じアミド結合で結ばれた繊維であり、絹の代用品として合成されてきました。婦人を飾り立てる大切な小物としての絹の靴下に代わり、ナイロンのストッキングが作られました。繊維の耐久性が高いために急速に普及しました。そのため、「戦後に強くなった物はお婦人とナイロンの靴下」と言われたほどの文化的変革でした。

各種の繊維と比較して、鋼鉄線の引っ張り強さは約2430 MPaと報告されていますから、同じ太さの繊維で比較すればナイロンの繊維は鋼鉄線の約1/3に過ぎませんが、鉄の比重が7.86ですから同じ重さの繊維で比較しますと、ナイロンの繊維は鋼鉄線の1.6倍も大きな力に耐えうることになります。その上、細くて長い長繊維として生産できますから、しなやかで光沢のある織物にすることができます。このため、ナイロンの繊維は絹の繊維の代用品として衣服に織り上げられたばかりでなく、釣り糸や魚網や自動車用のタイヤの補強材や絨毯などのあらゆる産業において高い利用価値を持つ繊維として脚光を浴びました。

繊維の形状や力学的性質を比較しますと、格段の耐久性の向上ばかりでなく、紡績し

て糸にするか長繊維のままで用いるか、布にする場合の適用法を変化させることができます。これらのことを考えますと慣れ親しんできた天然繊維に比べて合成繊維は極めて優れていますから、Carothers はじめ合成繊維を開発した多くの化学者に大いに敬意を表すべきでしょう。

## 空気は軽くて最良の防寒具

衣服は寒さや太陽の光や風や埃や雨露などの気象条件に適応できるように身体をかばう役目を持っていますが、中でも防寒は最も重要な役目と思われ、そのため衣服には保温性が強く求められています。一般に、暖かい物質から冷たい物質への熱の移動は輻射と伝導と対流の 3 種類の現象により起こると考えられ、防寒のためにはこの熱の移動を抑えなければなりません。赤外線的光が暖かい物質から発せられ、冷たい物質に吸収されるときに輻射により熱の移動が起こりますから、赤外線を反射し透過しない物質は輻射による熱の移動を抑えることができます。熱伝導は暖かい物質と冷たい物質の間に物質が挟まっているときに、暖かい物質と挟まった物質が接触することにより挟まった物質に熱が移動し、さらにその挟まった物質を通して伝わる熱の移動で、間に挟まる物質の熱伝導度が大きいほど熱の移動が大きくなります。対流は間に挟まって暖められた物質が冷たい物質と直接接触するところまで移動して熱の伝達をする現象ですから、間に挟まった物質を動き難い状態にすれば対流による熱の移動は抑えられます。

内部の物質が冷め難く断熱効果の高い魔法瓶は、温度と化学反応の関係を研究した Dewar が外界の温度の影響を受け難いフラスコとして考案したもので、彼の名前に因んでジュワー瓶とも呼ばれています。この魔法瓶は 2 つのガラスのフラスコを重ね合わせ、その隙間の空気を取り除いて真空にし、間に挟まっている物質のほとんどない状態にして対流と伝導による熱の移動を抑えるように工夫されています。さらに、内側のフラスコには銀メッキをほどこし、赤外線的光を反射させて輻射による熱の移動も抑えるように工夫されています。現在の魔法瓶はガラスの代わりに熱伝導性の小さな特殊な金属で作られるようになり、沸点 - 195 の液体窒素が 1 月も液体として保存できるほどに保温性がよくなりました。

衣服は炭素を中心元素とする有機化合物の繊維でできていますから、赤外線的光をあまり透過しません。そのため衣服を通して輻射による熱の移動は防寒にあまり影響を与えません。しかし、火災現場などでは非常な高温の所に消防士は入らなければなりませんので、赤外線を反射してこの熱輻射を極力抑えるように金属箔などを張った消防服が考案されています。

表 6 - 4 には各種の繊維の熱伝導度と比熱を掲げましたが、熱伝導度は面積  $1\text{m}^2$ 、厚さ  $1\text{m}$  の物質の両面間に温度差が  $1$  のときに、 $1$  秒間に移動する熱量と定義されていますから、 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  の単位で表されています。表には比較のために空気と水と若干の金属の値も掲げておきますが、各種の繊維の比熱は空気と比較的近い値を示していま

す。このことはから各種の繊維が人間の肌に接触するときを感じる熱感覚と、空気に包まれたときの熱感覚の間にはあまり違いを感じないものと思われます。

表 6 - 3 に掲げたように比重が  $1 \sim 1.5\text{g/cm}^3$  程度の値を示す各種の繊維と比較して、空気や二酸化炭素などの気体の比重は  $0.001 \sim 0.002\text{g/cm}^3$  ですから極端に軽いことを意味しています。空気の熱伝導度が各種の繊維より小さいので、繊維の間に挟まっている空気が多いほど布は軽くなり、布を通しての熱の移動は小さくなります。空気は非常に移動し易い物質ですから、当然対流による熱の移動を伴います。小さな空間を作りそこを空気で満たしてやれば、空気は動き難くなり対流による熱の移動を抑えることができ、熱伝導度が小さいために伝導による熱の移動も抑えられます。

発泡ポリスチレンの材質はポリスチレンですが、その中に細かな二酸化炭素あるいは空気の気泡が閉じ込められています。図 6 - 1 に示すように気泡の割合と熱伝導度の間には比例関係があり、気泡が多くなるほど熱伝導度が減少していきますから、発泡ポリスチレンの熱伝導度はポリスチレンの熱伝導度と空気の熱伝導度の平均的な値を示すと思われます。ポリスチレンの比重が  $1.056$  ですから、比重  $0.035$  の発泡ポリスチレンには  $30$  倍に相当する体積の気泡が入っています。熱伝導度が

表 6 - 4 各種繊維の熱伝導度と比熱

|           | 熱伝導度<br>(W/m/K) | 比熱<br>(Cal/g/K) |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 綿         | 0.08            | 0.319           |
| 麻         |                 | 0.322           |
| 絹         | 0.05            | 0.331           |
| 羊毛        | 0.04            | 0.325           |
| ビスコースレイヨン |                 | 0.324           |
| アセテート     | 0.25            |                 |
| 6-ナイロン    | 0.24            | 0.330           |
| 66-ナイロン   | 0.24            | 0.300           |
| ポリエステル    | 0.15            | 0.243           |
| アクリル繊維    | 0.21            | 0.360           |
| ポリプロピレン   | 0.12            | 0.369           |
| ポリスチレン    | 0.13            |                 |
| 発砲ポリスチレン  | 0.034           |                 |
| 発砲ポリウレタン  | 0.017           |                 |
| 石綿        | 0.1             | 0.201           |
| 空気        | 0.0241          | 0.240           |
| 水         | 0.561           | 0.998           |
| 鉄         | 83.5            | 0.104           |
| アルミニウム    | 236             | 0.210           |

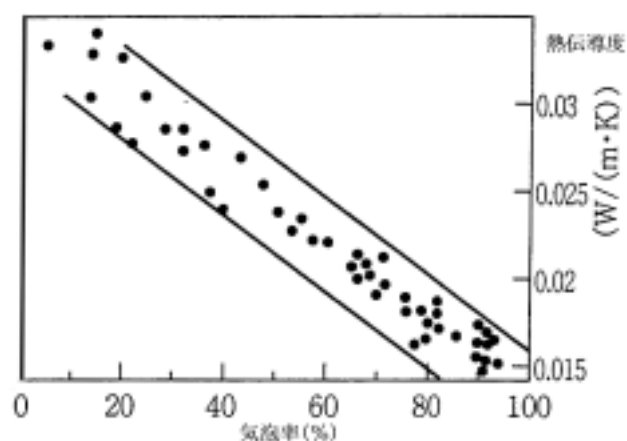


図6-1 発泡ポリスチレンの気泡と熱伝導度

0.13 W/m/K のポリスチレンと比較して、この発砲ポリスチレンの熱伝導度は表 6 - 3 に示すように 0.034 W/m/K まで激減します。同じように布団やマットレスなどに用いられている発泡ポリウレタンの熱伝導度も極めて小さな値を示しています。

市販されているアルミニウム箔は約 0.015mm の厚さを持っていますが、仮にこのアルミニウム箔で衣服を作るとします。同じように厚さ 0.015mm の空気で衣服を作り、比重 2.69g/cm<sup>3</sup> のアルミニウム箔の衣服と比較すると、空気の膜でできた衣服は約 2000 倍軽く、約 10000 倍の防寒効果があります。また、間に厚さ 0.015mm の空気を挟み込んだ 2 枚重ねのアルミニウム箔で衣服を作ったとすれば、1 枚のアルミニウム箔で作った衣服と比較して重さは 2 倍になりますが、約 10000 倍の防寒効果が期待できます。この仮定から、空気の比重が極めて小さいために衣服の重さはほとんど変化しませんが、繊維の間に動き難い空気を多く包み込むことにより、格段に防寒効果の向上することがわかります。衣服は細い繊維を並べた布でできており、その隙間に空気が挟まっていますから、人間の身体から冷たい外界への衣服を通した熱の移動は種々の繊維の熱伝導と間に挟まっている空気の熱伝導と対流によるものと思われます。言い換えると、多くの隙間を持った布を用いれば、その隙間に多くの空気が満たされるために、極めて軽く、防寒効果の高い衣服を作ることができます。

## パンチパーマやマカロニの形に加工した合成繊維

細く短い繊維を縫って糸にし、糸を編みあるいは機織して布に作り上げますから、繊維と繊維の間に働く摩擦力による繊維の絡み合いが重要な働きをしています。摩擦力はお互いの繊維の間に働く力と摩擦係数に影響されますから、表面の滑らかな摩擦係数の小さな繊維では強く縊りを掛けて糸の強度を上げ、布の密度を高くして緻密な織り方にしなければ布地としての強度

表 6 - 5 各種繊維の摩擦係数

が保てません。表 6 - 5 には各種の天然繊維、再生繊維、合成繊維の平行間の静止摩擦係数を直交繊維間の静止摩擦係数とともに掲げておきます。

羊毛は繊維の表面が鱗状(スケール)になっていますから、鱗に沿った方向と鱗に逆らう方向で摩擦係数が異なっています。羊毛のように縮れていて摩擦係数の大きな繊維では、糸を作るときの縊り方や布を織るときの織り方がゆ

| 繊維素材        | 直交繊維間       | 平行繊維間 |
|-------------|-------------|-------|
| 綿           | 0.26        | 0.52  |
| 麻           |             | 0.46  |
| 絹           | 0.29        | 0.22  |
| 羊毛(スケール方向)  | 0.20 ~ 0.25 | 0.11  |
| 羊毛(スケール逆方向) | 0.38 ~ 0.49 | 0.14  |
| ビスコースレイヨン   | 0.19        | 0.43  |
| アセテート       | 0.29        | 0.56  |
| ナイロン        | 0.16 ~ 0.60 | 0.47  |
| ポリエステル      |             | 0.58  |

るやかでも十分に強度が保てますから、繊維の量が少なくなってフワフワの糸を作り、ふっくらした布を作ることができます。繊維の間に小さな隙間ができ、糸と糸の間にも多くの隙間を持った布になります。それらの隙間はみな空気が詰まりますが、個々の隙間が小さいためにあまり動けません。そのために熱伝導の小さな空気が対流も起こさず布の間に詰まっていますから、軽くて、保温効果の高い衣服になります。羊毛や綿などの天然繊維は個々の生物の目的に適した繊維の形にできていますが、合成繊維は小さなノズルから押し出すようにして細く長い繊維に作っていますから、原糸となる繊維は表面が滑らかで真っ直ぐな摩擦係数の小さな繊維になります。

多くの合成繊維の原糸は分子が乱雑な方向に分子運動をしている液体の状態のまま、細く長い形に固めた物ですから、原糸の中の分子も乱雑で必ずしも充分な絡み合いをしていません。この原糸に引っ張る力を応力として加えますと、外からの力に対抗して分子間力が大きくなるように分子が同じ方向に整列します。Deteresa はナイロンに類似したアラミド繊維を繰り返し引き伸ばす延伸実験をして、図 6 - 2 のような結果を報告しています。原糸は応力に比例して変形すると思われましたが、1 回目に伸ばすときには分子の

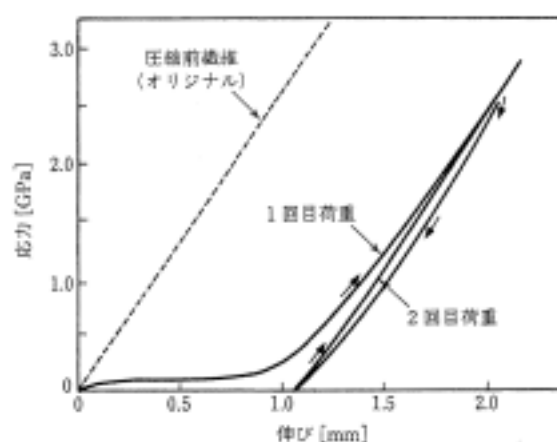


図6-2 原糸の繰り返し延伸実験

配列が変化するためにある程度まで小さな応力で伸びますが、整列した繊維が繰り返し引き伸ばされる時には応力と伸びの歪みの間には弾性関係が現れています。同じように原糸を暖めた状態で引き伸ばす力を加えますと、分子の配列が変化して一方向に分子が整列し、そのまま冷却しますと整列したままでガラス状態に固まりますから、強い絡み合いが保たれて引っ張り強さが大きくなります。このような加工は延伸加工と呼ばれ、多くの合成繊維に施されています。

長い分子が絡み合っている合成高分子化合物はガラス転移点以下では絡み合いが全く解けることなく分子運動も固体のようにほとんど止まってしまいます。ガラス転移点以上で分子運動はできますが、絡み合いが簡単には解けませんから高い粘性を示し、しなやかな塑性を示します。軟化点までの温度上昇によりわずかに絡み合いは残りますがかなり流動性を増し、融点において絡み合いがなくなり分子運動が完全に自由になります。このような性質を熱可塑性といい衣服に用いられている多くの合成繊維はこの性質を示します。表 6 - 6 には再生繊維と合成繊維のガラス転移点、軟化点、融点、分解点などの熱的な性質を掲げます。この表からも明らかなように 3 種類の再生繊維はいずれも明確な軟化点も融点も示さずに分解してしまいますが、多くの合成繊維は高い温度で

柔らかくなる熱可塑性の性質を持っています。

表 6 - 6 各種繊維の熱的性質

| 繊維              | ガラス転移点 | 融点(*分解点) | 軟化点       |
|-----------------|--------|----------|-----------|
| ビスコースレイヨン       |        | 300*     |           |
| 銅アンモニアレイヨン      |        | 300*     |           |
| アセテート           |        | 260      | 200 ~ 230 |
| 66 - ナイロン       | 50     | 260      | 230 ~ 235 |
| 6-ナイロン          | 40     | 220      |           |
| ポリエチレンテレフタレート   | 69     | 260      | 238 ~ 240 |
| ポリトリメチレンテレフタレート | 49     | 225      |           |
| ポリブチレンテレフタレート   | 22     | 221      | 200 ~ 220 |
| ポリアクリロニトリル      | 105    |          | 190 ~ 240 |
| ビニロン            | 85     |          | 220 ~ 230 |
| ポリエチレン          | -36    | 135      | 100 ~ 115 |
| ポリプロピレン         | -3     | 173      | 140 ~ 160 |
| ポリ塩化ビニル         | -19    | 210      | 60 ~ 70   |

合成繊維は小さなノズルから押し出すようにして細く長い繊維に作っていますから、原系となる繊維は表面が滑らかで真っ直ぐな摩擦係数の小さな繊維になります。空気を多く含む物質の熱伝導は小さくなりますから、合成繊維が最後の工程でその形状を制御することができる利点を利用して空気を含む繊維を作る種々の研究がなされました。曲がりくねった系にして絡み易くして、フワフワの系に作らなければ保温効果の高い衣服を作ることができませんから、引っ張り強さが大きく曲がりくねった系にして絡み易くなるように成型し、衣服に適した繊維になるように種々の加工を施しています。

衣服にアイロンを掛けて皺を伸ばすように、合成繊維の原系を暖めながらくねった形や縮れた形に成型して、そのままの形で冷やせば曲がりくねったフワフワの系に加工することができます。このような後処理の加工をかさ高加工と呼んで、色々の成型の仕方が工夫されています。例えば、数本の繊維を捻りながら糸を縋るようにねじり、加熱して繊維に成型を加え急冷します。その後、縋りを戻して繊維をばらばらにしますと、それぞれの繊維は螺旋状にカールが掛かり仮縋り加工と呼ばれるかさ高加工をすることができます。仮縋り加工された糸は巻きバネのような形をしていますから、繊維自体の伸縮のほかにこの螺旋状の形が変形することによる伸縮性も加わり、柔軟性に富んだ糸や布にすることができます。そのうえ仮縋り加工された糸は螺旋の間隔を種々変化させることができますから、パンチパーマを掛けた髪のように非常にかさ高くなり空気を多

く取り込んだ糸や布にすることができます。また、真っ直ぐな繊維を小さな空間に押し込め乱雑に折り曲げ、熱加工してそのぐちゃぐちゃに折れ曲がった形を保つようにする押込加工と呼ばれる加工技術も開発されています。

マカロニやストローのように中心に穴の空いた中空糸と呼ばれる繊維に成型することもできるようになりました。穴の太さが  $0.01\mu\text{m}$  ( $10^{-8}\text{m}$ ) 程度に細い中空糸まで製造されていますから、この穴の中の空気はほとんど移動しなくなります。そのため、この中空糸を用いた毛布やダウンジャケットは非常に軽くて保温性に優れています。さらに、このような細い管には液体が吸いあがる毛管現象と呼ばれる性質がありますから、眼鏡拭きやタオルに織り上げますと水や油をよく吸い取ります。近年はこの極細く穴の空いた中空糸を束ねて細かい塵まで通さないフィルターを作り、水や空気を流して清浄な水や空気にする浄水器や空気清浄器に用いるようになっていきます。

熱可塑性という合成繊維の熱的な特性を利用して、延伸加工、仮縫い加工などの後処理を施し、非常にかさ高く空気を多く取り込んだ糸や布にすることにより、保温効果の高い衣服が作っています。合成繊維が摩擦などの力学的性質に優れているために運動着や作業着などに広く用いられていますが、これらの材質は熱可塑性を示すことが欠点になり、温度の高くなると柔らかくなり融けてかさ高くフワフワにした糸や布が破れてしまいます。運動中に床に膝を着きながら滑ったりしますと、膝と床の間に挟まった布の温度が摩擦熱で上がり一瞬にして穴が空いた経験があると思います。著者は合成繊維で作られた軍手を嵌めて熱いものを持ちましたが、高熱で穴が空き融けた繊維で危うく火傷になるところでした。

羊毛や綿の繊維はクネクネとして繊維同士が絡み易い形をしていますから、摩擦係数が大きくフワフワした空気を多く取り込んだ糸や布に作り上げることができます。しかし、合成繊維は分子が乱雑な方向に分子運動をしている液体の状態のまま小さなノズルから押し出すようにして細く長い繊維に作っていますから、原糸となる繊維は分子の絡み方も充分ではなく、表面が滑らかで真っ直ぐな摩擦係数の小さな繊維になります。そこで、熱可塑性という合成繊維の熱的な特性を利用して、延伸加工、仮縫い加工などの後処理を施して、非常にかさ高く空気を多く取り込んだ糸や布にすることができるように衣服に適した繊維を作っています。パンチパーマやマカロニのような形に繊維を加工して空気を多く取り込むことのできる繊維が開発されていますが、衣服の用途に応じて、種々の繊維の熱的な性質も考慮しなければならないと思われます。

## 着心地を良くする繊維の水分率

衣服が寒さや太陽の光や風や埃や雨露などの気象条件に適応できるように身体をかばう役目を持っていますから、繊維や布の保温性や耐久性について前節まで考えてきました。しかし、同時に衣服は人間の行動を制限するような物であってはなりませんから、着心地や動作性や機能性も兼ね備えていなければなりません。筋肉の活動による体

温の上昇を抑えるために身体中の多くの汗腺から多くの汗を発汗しており、運動の程度や体調にもよりますが、3時間の運動で約1200mLの汗をかくという報告があります。汗は非常に薄い食塩の水溶液ですから、衣服の中にかいた汗の水分は当然水蒸気となって衣服の内部に溜まりますので、繊維や布は保湿性や通気性などの性質を備えた物でなければなりません。物質は水を表面に吸着して湿りますが、

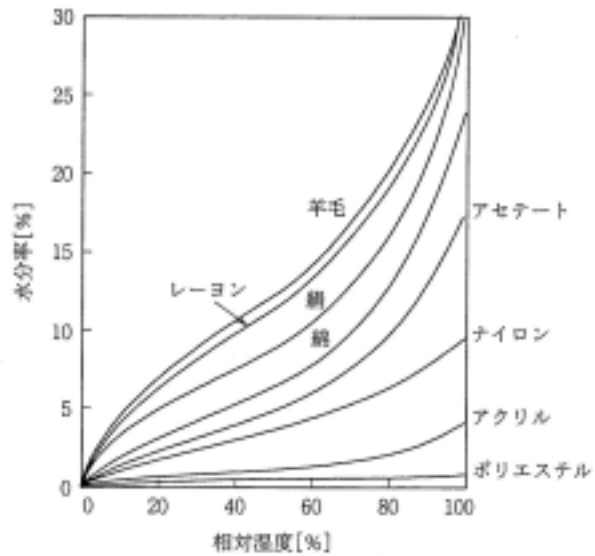


図6-3 繊維の親水性

$$X = \frac{(W - W_0)}{W_0} \times 100 \quad \text{式 6 - 1}$$

同時に表面から水蒸気として蒸発して乾き、吸着と蒸発は平衡状態にあります。水の吸着量は物質表面の材質や状態に関係し、表面積に比例します。重量 $W_0$ の乾燥した繊維がある湿度で平衡状態に達した繊維の重量を $W$ とすると、繊維に吸着する水の量は式 6 - 1 に示す水分率 $X$ で表しています。図 6 - 3 には各種の繊維の25における相対湿度の変化に伴う水分率の変化を示すグラフを掲げております。

このグラフからも明らかなように、湿度が高くなり大気中の水蒸気が多くなれば吸着量が増し、乾燥して湿度が低くなれば吸着量が減少します。相対湿度は温度に影響される値ですから、標準的な条件として温度20℃、湿度65%の条件のもとでの水分率を公定水分率と規定して、各種の繊維の保湿性を示す水分率を比較しています。表 6 - 7 には各種の繊維の公定水

表 6 - 7 各種繊維の水分率

|            | 水分率  |
|------------|------|
| 綿 (アブランド)  | 8.5  |
| 亜麻         | 12.0 |
| 麻(ラミー)     | 12.0 |
| 羊毛(メリノ)    | 15.0 |
| 絹          | 11.0 |
| ビスコースレイヨン  | 11.0 |
| 銅アンモニアレイヨン | 11.0 |
| アセテート      | 6.5  |
| ナイロン       | 4.5  |
| ビニロン       | 5.0  |
| 塩化ビニル      | 0.0  |
| ポリエステル     | 0.4  |
| アクリル       | 2.0  |
| ポリエチレン     | 0.0  |
| ポリプロピレン    | 0.0  |

分率を掲げておきますが、羊毛や綿などの天然繊維はいずれも湿度の上昇に伴い水分率も上昇します。また、ポリエステルやポリプロピレンなどの合成繊維はほとんど湿度に無関係に小さな値を示しています。

ビスコースレイヨンと銅アンモニアレイヨンの組成は綿や麻と同じセルロースですから比較的高い水分率を示していますが、再生繊維でありながらアセテートの水分率がかなり小さい値を示しています。レイヨンは水酸基を多く持つセルロースの構造をしています。アセテートはセルロースの水酸基の約 70% が酢酸エステルに変化した構造を持っています。この酢酸エステルへのエステル化の割合が小さいほど水分率が高くなるとする報告もあります。また、比較的水素結合しやすいアミド結合を持つナイロンや水酸基を持つビニロンもかなり高い水分率を示しています。これらのことから、水素結合しやすい原子や原子団を持つ分子が繊維を構成しているときに水分率を高めるものと思われる。

人間は多量の水分を汗として発散していますが、その水分は衣服の内側で繊維に吸着されて繊維が湿ります。湿った繊維は衣服の外側で水分を発散させて乾いてゆく平衡状態になります。大きな水分率を示す繊維であれば、汗の水分は繊維を介して衣服の外側に容易に発散されますが、小さな水分率を示す繊維では汗の水分はそのまま衣服の内側に籠もってしまいます。水分率の大きな繊維や布から作った衣服は汗をよく発散し着心地が良いと思われれます。

## 放電の電撃ショックを防ぐ水分

2 種の物質を擦ると表面の分子や原子団が一部剥離しますが、そのときに物質の表面で電子が移動して帯電します。帯電の極性は接触する物質の組み合わせにより決まる相対的な性質で、相手となる物質により電子を出す側が正に、電子を受け取る側が負に帯電します。冬になって空気が乾燥する季節になると、衣服が擦れ合って静電気が発生し、繊維間の静電引力(クーロン力)により互いに引き付けあいますから、強く繊維同士が擦れ合いますます高く帯電します。そのために、シャツやスカートが身体に纏わり付いてしまったり、その静電気が放電してしばしば不愉快な思いをすることがあります。鋭い先端からの放電限界の最大電圧は正の帯電で 1400V、負の帯電で - 2000V 程度になると実験的に確認されていますが、人間が接地面で絶対値が 3000 ~ 5000V 程度の電圧の火花放電をするときに電撃ショックを感じると云われています。

表 6 - 8 には各種の繊維を種々の物質で擦るときに繊維に発生する静電気の帯電量と誘電極性を掲げておきます。帯電量や誘電極性は繊維を構成する分子に結合している原子や原子団の種類によって変化します。ニトリル基 ( $C \equiv N$ ) やハロゲン原子やカルボキシル基( $COOH$ )や炭化水素の原子団は電子を受け取る性質を示しますから負に帯電し易く、アミノ基 ( $NH_2$ ) や窒素原子を含む原子団は電子を与える性質を示します。この表では繊維が放電限界の最大電荷密度を 1 とするときの繊維の電荷密度を割合で表し

ており、0.05 に満たない物は 0.0 と表しています。

表 6 - 8 各種の繊維の誘電極性と帯電量

| 摩擦物<br>繊維 | ナイロン  | 毛     | レイヨン  | 綿     | 絹     | ポリエステル | アセテート | アクリル  | ポリプロピレン | 銅     | 黄銅    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 綿・(糸)     | - 0.0 | - 0.0 | - 0.0 | - 0.0 | + 0.0 | + 0.0  |       | + 0.0 | + 0.0   | + 0.0 | + 0.0 |
| 絹         | - 1.3 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.2 | - 0.0 | + 0.2  | + 0.0 | + 0.3 | + 0.4   | + 0.1 | + 0.0 |
| 羊毛(糸)     | - 0.2 | ± 0.2 | + 0.6 | + 0.2 | + 0.7 | + 0.2  | + 0.0 | + 0.9 | + 0.1   | + 0.2 | + 0.3 |
| レイヨン      | - 0.0 | - 0.0 | - 0.0 | + 0.0 | + 0.0 | + 0.0  |       | + 0.0 | + 0.0   |       |       |
| アセテート     | - 0.3 | - 0.1 | - 0.1 | - 0.2 | - 0.1 | - 0.0  | + 0.0 | + 0.4 | + 0.0   |       |       |
| ナイロン      | - 0.1 | + 0.3 | + 0.3 | + 0.1 | + 0.1 | + 0.4  | + 0.3 | + 0.4 | + 0.0   | + 0.5 | + 1.0 |
| ポリエステル    | - 0.5 | ± 0.3 | + 0.5 | - 0.9 | - 0.4 | - 0.1  | + 0.5 | + 0.1 | + 0.1   | + 0.4 | + 0.4 |
| ポリ塩化ビニル   | - 0.8 | - 1.0 | - 1.1 | - 1.1 | - 0.8 | - 0.3  | - 0.6 | - 0.5 | - 0.1   |       |       |
| アクリル      | - 0.7 | - 1.7 | - 0.7 | - 0.7 | - 0.7 | - 0.7  | - 0.8 | - 0.1 | - 0.1   | ± 0.6 | + 1.0 |
| ポリプロピレン   | - 0.5 | - 0.6 | - 0.7 | - 1.3 | - 0.2 | - 0.9  | - 0.2 | - 0.1 | - 0.0   | - 1.0 | - 1.0 |
| ポリエチレン    | - 0.4 | - 0.2 | - 0.3 | - 0.7 | - 0.3 | - 0.4  | - 0.2 | - 0.1 | - 0.1   | - 0.4 | - 0.2 |
| ポリ尿素      | + 1.3 | + 1.2 | + 0.8 | + 1.6 | + 1.1 | + 0.7  | + 1.4 | + 0.7 | + 0.6   | + 1.1 | + 1.5 |

一般的な共有結合の化合物では負電荷を持つ電子が原子を繋ぎ合わせて分子を構成していますから、分子の中に多少の電荷の偏りができます。このような分子も気体や液体の状態では自由に動き回れますから、分子はあらゆる方向に乱雑に向いていて全体とし電荷の偏りを互いに打ち消します。しかし、このような分子を電場に置きますと電場を打ち消すように分子が向きを替えて整列し、電場と反対の電荷が誘起されます。原子分極と呼ばれるこの分極は電荷の偏りが大きな分子ほど電場を強く打ち消すことができますが、この打ち消す強さを誘電率(  $\epsilon$  )と呼んで式 4 - 3 のように定義しています。第 4 章で説明したように、電子の偏りを持つ分子では電荷の偏りがあり、原子分極による大きな誘電率を示しています。

分子の中に存在する多くの電子も負電荷を持っていますから、電場に分子を置きますと電場を打ち消すように分子の中で電子が多少移動して電子の偏りを生み、分子は電場と反対の電荷を持つ電子分極が誘起されます。さらに、電場を打ち消すように分子の一部分の構造が変形して分子全体として電子に偏りを生み、分子は電場と反対の電荷を持つ配向分極が誘起されます。特に、繊維を構成している高分子化合物では、長く繋がっ

た原子の鎖が変形することも移動することも困難ですから、主鎖に結合した原子や原子団の向きや位置が変化する配向分極が起こります。

分子の中の電子は  $10^{-15}$  秒程度、液体や気体の分子は  $10^{-12}$  秒程度の時間内で活発に運動しています。電子レンジに用いられるマイクロ波は 1 秒間に  $10^{10} \sim 10^{11}$  回 ( $10^{10} \sim 10^{11}$  Hz) ほどで電場を交互に変化させますから、その非常に短い時間内に電子や分子が激しく運動して、その電場の変化に追従するように電子分極や原子分極も変化します。しかし原子の相対位置の変化を伴いますから、分子を構成している原子や原子団の移動による分子の変形には  $10^{-10} \sim 10^{-3}$  秒程度の時間を要します。分子の変形がこの電場の変化に追いつくときに配向分極による誘電率が変化しますから、表 6 - 9 には 3 つの周波数の電磁波に対する各種の繊維の比誘電率を掲げておきます。ポリエチレンは炭素と水素の原子だけでできている高分子化合物で、主鎖に対して電子の偏りを引き起こす原子や原子団を結合していませんから、配向分極も起こりません。ポリ塩化ビニルは電子の偏りを持つ炭素 - 塩素結合を持っていますから、主鎖の変形により電場を打ち消すように変形することができ、大きな配向分極を示します。

表 6 - 9 繊維の電気抵抗と周波数による誘電率の変化

| 繊維          | 電気抵抗<br>( $\Omega$ m)  | 比誘電率 ( $\epsilon$ ) |        |           |
|-------------|------------------------|---------------------|--------|-----------|
|             |                        | 60Hz                | 1000Hz | $10^6$ Hz |
| 麻           | $10^{11} \sim 10^{12}$ | 10                  |        | 5         |
| アセテート       | $10^{10} \sim 10^{12}$ | 5.6                 | 5.3    | 5.1       |
| ナイロン        | $10^{11} \sim 10^{13}$ | 4.5                 | 4.8    | 3.7       |
| ポリエステル      | $10^{14}$              | 3.45                | 3.5    | 3.6       |
| ポリメタクリル酸メチル | $10^{15} \sim 10^{19}$ | 3.5                 | 3.4    | 3.1       |
| ポリ塩化ビニル     | $10^{11} \sim 10^{15}$ | 6.3                 | 4.6    |           |
| ポリスチレン      | $10^{17} \sim 10^{19}$ | 2.6                 | 2.6    | 2.6       |
| ポリエチレン      | $10^{17} \sim 10^{19}$ | 2.3                 | 2.3    | 2.3       |

原子分極は自由な分子運動の可能な液体や気体の状態でのみ電場を打ち消すように誘起されますが、電子分極と配向分極は分子の移動を伴いませんから、固体状態やガラス状態でも誘起されます。このように外部の電場のエネルギーにより分極を誘起されていた物質から外部の電場が取り除かれるときに、外部の電場を打ち消すように整然と並べられていた分子や電子はあらゆる方向に乱雑に向いた元の状態に戻ります。そのとき、外部電場を打ち消すように誘起されていた内部の電場のエネルギーは電気エネルギーとして放電されます。この現象を利用すれば電気エネルギーを短時間蓄えることができますから、コンデンサーに応用されラジオや TV や各種の電気器具の電子部品として利用

されてきました。また、交流の電気と直流の電気で発現する挙動が異なり、電場の変化する周期によっても誘起分極の大きさが変化しますから、種々の電子部品にこの現象は応用されています。大きな誘電率を持つ固体やガラス状態の物質では摩擦により生じた静電気による電場は大きな電子分極や配向分極を誘起して大量の電気エネルギーを蓄えます。静電気で帯電した物質が火花放電をするときには、コンデンサーと同じように大量の電気エネルギーが瞬時に放出されますから、大きな電撃ショックを与えます。

帯電した繊維の電気伝導性が高ければ、電子は繊維の中を移動して電氣的に中和されてしまいますが、電気抵抗が大きく電導性が低い繊維では帯電したままになります。繊維の電気抵抗が  $10^9 \Omega \text{m}$  以下の時には静電気は拡散漏洩してしまい帯電しませんから、表 6 - 9 に掲げたように天然繊維や再生繊維やナイロンは比較的電気抵抗が小さいために帯電し難く、ポリエステルやアクリルやポリエチレンなどは大きな電気抵抗を示していますから非常に帯電し易いと思われ

れます。さらに、水の電気抵抗は  $2 \times 10^9 \Omega \text{m}$  ですが、水に食塩などのイオン性物質が溶けている場合には極端に電気抵抗が低下し、海水の電気抵抗は  $2 \times 10^{-1} \Omega \text{m}$  を示します。水分率が大きくなると繊維に発生する静電気は汗や繊維の成分を僅かに溶かした水を通して漏洩してしまい、水分を含む繊維には静電荷の極端に減少する傾向が図 6 - 4 のように認められます。図 6 - 3 に示したように各種の繊維は相対湿度が小さくなると、繊維の水分率が減少しますから、静電気の漏洩が小さくなり、帯

電し易くなります。異常乾燥注意報が発せられる冬の寒い季節に室内では相対湿度が下がって繊維の水分率が下がりますから、身体への衣服の纏わり付きや火花放電による電撃ショックなどの不愉快なことが起こりやすくなります。

人間は多量の水分を汗として発散していますが、大きな水分率を示す繊維であれば、汗の水分は繊維を介して衣服の外側に容易に発散されますが、小さな水分率を示す繊維では汗の水分はそのまま衣服の内側に籠もってしまいます。繊維に吸着された水分は電気抵抗が小さいために、繊維の摩擦により発生する静電気を拡散漏洩してくれますから、身体への衣服の纏わり付きや火花放電による電撃ショックなどの不愉快なことの起こら

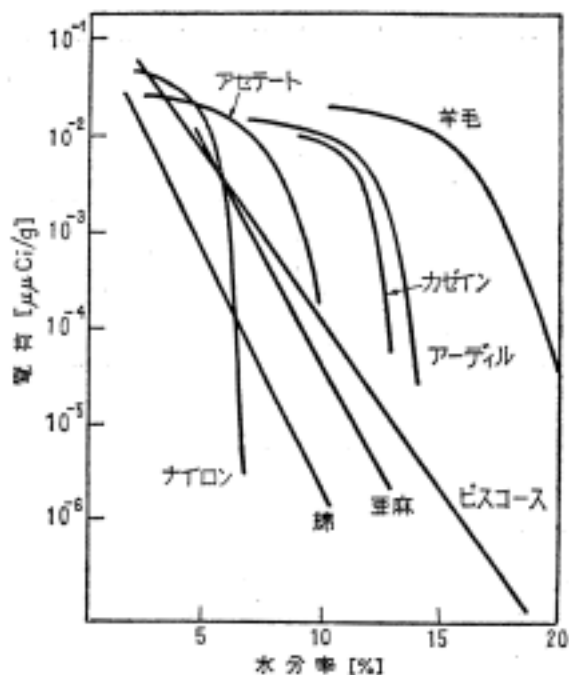


図6-4 静電荷と水分率の関係

ないように抑えてくれます。水分率の大きな繊維や布から作った衣服は汗をよく発散し、纏わり付きや電撃ショックなどの不愉快なことを抑え、着心地が良いと思われれます。

## 燃やして見分ける衣服の素材

卒論の実験をしていた大学 4 年生の時に、ガスバーナーが実験台の上で燃えていることにも気付かず、著者は実験台を背に寄りかかりながら世間話に夢中になっていました。何となく背中にほんのりとした温かさを感じたときには時既に遅く、着ていたセーターがカチカチ山になって燃え、逃げても逃げても火が追いかけてきました。幸い話し相手をしていた友人が消し止めてくれて火達磨にならずに済みましたが、一張羅のセーターを 1 枚駄目にしてしまいました。

衣服が寒さや太陽の光や風や埃や雨露などの気象条件に適応できるように身体をカバーする役目を持っていますから、繊維や布の保温性や耐久性について前節まで考えてきました。保温性に関係して熱可塑性や熱伝導性などの熱的な性質についても考えましたが、このような不注意も想定するならば繊維の燃焼に関する性質についても考えることが必要と思われれます。経済産業省に設置されている日本工業標準調査会で規格化している JIS では小さな炎による着火時間と燃焼時間と燃焼速度で表すマイクロバーナー法により繊維の燃え難さを評価しています。この評価方法は多くの複雑な数値によるもので、着火時間と燃焼時間は大きいほど燃え難く、燃焼速度は大きいほど燃え易いことを示していますが、種々の繊維の比較には適しておりません。例えば、熱可塑性のポリエステルやナイロンの繊維では着火と同時に温度が上昇し、軟化点を越えて液状になってしま

表 6 - 10 各種繊維の燃焼性

| 繊維         | JIS ミクロバーナー法 |         |                          | 酸素指数法                |
|------------|--------------|---------|--------------------------|----------------------|
|            | 着火時間(s)      | 燃焼時間(s) | 燃焼速度(cm <sup>2</sup> /s) | LOI-O <sub>2</sub> % |
| 綿          | 5.0          | 31.0    | 12.1                     | 18.4                 |
| 絹          | 3.0          | 16.0    | 13.1                     | 23.6                 |
| 羊毛         | 4.0          | 51.0    | 6.2                      | 23.8                 |
| ビスコースレイヨン  | 4.0          | 23.0    | 16.3                     | 18.2                 |
| 銅アンモニアレイヨン | 3.5          | 22.0    | 17.0                     | 18.0                 |
| アセテート      | 3.5          | 16.5    | 22.7                     | 18.0                 |
| ナイロン       | 6.0          |         |                          | 21.2                 |
| ポリエステル     | 6.0          |         |                          | 20.8                 |
| アクリル       | 7.5          | 41.0    | 9.1                      | 18.0                 |
| ビニロン       | 6.0          | 64.0    | 5.8                      | 19.0                 |

うために燃え難くなって燃え広がらなくなってしまう燃焼速度などに誤差が生じてしまいます。燃焼の持続可能な酸素の必要濃度で表す酸素指数法は測定条件が複雑ですが各種の繊維の比較が容易で、大気中の酸素濃度 21.2% よりも大きな酸素濃度を必要とする繊維は燃え難く、小さな酸素濃度で充足するものは燃えやすいことを示しています。酸素指数法の値が 26% 以上の素材は JIS 企画、厚生労働省規格、消防庁規格国土交通省規格などで難燃規準や防災規準に適合しています。表 6 - 10 には各種の繊維の JIS 規格によるマイクロバーナー法と酸素指数法の結果を掲げて起きます。

綿の繊維は酸素指数法の値に巾があり、水分率が高くなると燃え難くなります。酸素指数法の値で比較すると羊毛の非常に燃え難くアクリル繊維のかなり燃えやすいことが伺えます。著者のカチカチ山事件の折に着ていたセーターがアクリル繊維と羊毛の混紡でなく純毛のセーターであったとすれば、あのように短時間

表 6 - 11 繊維の燃焼条件による煙濃度(Cs)

|         | 400 加熱 | 600 加熱 | 750 加熱 |
|---------|--------|--------|--------|
| 綿       | 0.05   | 0.02   | 0.03   |
| 羊毛      | 6.90   | 1.40   | 1.12   |
| レイヨン    | 0.31   | 0.11   | 0.09   |
| アセテート   | 0.36   | 0.40   | 0.81   |
| ナイロン    | 1.48   | 1.20   | 1.28   |
| ビニロン    | 4.36   | 2.80   | 3.64   |
| ポリエステル  | 2.50   | 2.70   | 3.63   |
| アクリル    | 7.40   | 4.60   | 5.48   |
| ポリ塩化ビニル | 4.60   | 4.60   | 4.32   |

に背中で燃え上がることにはならなかったと思われます。江戸時代には余り羊毛の衣服は普及していませんでしたが、当時の武家の火事場装束は燃え難い材質の羊毛で作られていたようです。保温性や着心地には関係しませんが、このように燃え難い繊維の性質は大切な性質と思われます。

繊維は炭素原子を中心に長く結合した分子でできていますから、十分な酸素と反応して燃焼すると主として二酸化炭素と水を生成します。しかし、発生する煙や気体の成分は温度や酸素の量によって大きく変化し、酸素が不足すれば有毒な一酸化炭素の量が増加してしまいます。各種繊維から発生する煙の濃度は火災のときの非難活動や消防活動のために、2.7m 先まで透過する光の減少率 Cs で表します。表 6 - 11 には燃焼条件を変化させたときの各種繊維から発生する煙の濃度 Cs を掲げましたが、2.7m まで光が透過するときに Cs は 1 であり、Cs の値が大きいほど濃い煙を発生していることを意味します。この表からも明らかなように生物が生産する素材による天然繊維や再生繊維はあまり煙を発生ませんが、アクリルやポリ塩化ビニルなどの炭素 = 炭素 2 重結合の化合物を重合して製造される合成繊維は濃い煙を発生します。

十分に酸素が存在する完全燃焼の状態と十分な酸素の供給のないままに燃焼する不

完全燃焼で、各種の繊維を燃焼したときに発生する気体の成分が異なってきます。完全燃焼と不完全燃焼の2つの燃焼条件で、1gの繊維を燃焼したときに発生する気体の重量を表6-12に掲げておきます。発生する気体はいずれも有毒な気体ですが、即効性の毒性と遅効性の毒性がありますから、表には参考のために毒性の発現する最少量と発現に要する時間を併記しています。一酸化炭素(CO)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の比率は酸素の供給量により大きく変化し、不完全燃焼の条件下で一酸化炭素が増加します。他に有毒なホスゲン(COCl<sub>2</sub>)やシアン化水素(HCN)が発生する繊維もあります。

表6-12 各種繊維の燃焼による発生気体(g)

| 繊維          | 条件  | CO      | CO <sub>2</sub> | COCl <sub>2</sub> | HCN    | H <sub>2</sub> S | アルデヒド | 有機酸   | NH <sub>3</sub> |
|-------------|-----|---------|-----------------|-------------------|--------|------------------|-------|-------|-----------------|
| 羊毛          | 完全  | 0.446   | 1.451           |                   | 0.007  |                  |       |       |                 |
|             | 不完全 | 0.300   | 0.650           |                   | 0.008  |                  |       |       | 0.035           |
| 絹           | 完全  | 0.634   | 1.352           |                   | 0.036  |                  | 0.003 |       | 0.053           |
|             | 不完全 | 1.141   | 1.033           |                   | 0.007  |                  | 0.031 |       | 0.031           |
| レイヨン        | 完全  | 0.116   | 1.835           |                   |        |                  |       |       |                 |
|             | 不完全 | 0.225   | 1.130           |                   |        |                  |       | 0.062 |                 |
| ナイロン        | 完全  | 0.304   | 1.226           |                   | 0.008  |                  | 0.006 |       | 0.032           |
|             | 不完全 | 0.355   | 0.907           |                   | 0.009  |                  |       |       | 0.021           |
| ポリ塩化ビニル     | 完全  | 0.229   | 0.435           | 0.001             |        | 0.496            |       |       |                 |
|             | 不完全 | 0.086   | 0.743           | 0.001             |        | 0.473            |       |       |                 |
| ポリスチレン      | 完全  | 0.174   | 2.192           |                   |        |                  |       |       |                 |
|             | 不完全 | 0.540   | 1.689           |                   |        |                  | 0.003 |       |                 |
| 毒性(ppm/min) |     | 200/160 | 100000/3        | 50/1              | 150/30 | 600/60           |       |       | 100/480         |

このように繊維を燃やすときにその燃え易さや発生する煙の濃度や発生する気体の成分が繊維の種類により異なってきますから、衣服の素材を簡単に見分ける方法として繊維を燃やしてみることが簡単で便利です。繊維を炎に近づけたときの变化、炎の中に入れたときの变化、炎から遠ざけたときの变化、発生する気体の匂い、残った灰の性質などで繊維の素材が概略は識別できます。アクリルと羊毛の混紡したセーターのような場合には適用できませんが、通常衣服は多くの場合に1種類の繊維で作られていますから、実生活でも有用な見分ける方法と思われ表6-13に要約を纏めておきます。

事故にでも遭わなければ衣服を燃やすことはほとんどありませんが、非常のときには繊維により対応の仕方が異なりますから、燃焼に対する性質を記憶しておくことが必要と思われれます。衣料品店で衣服を選ぶときに素材を調べるのが重要になります。また、繊維を燃焼することにより簡単に繊維を見分けることが出来ます。

表 6 - 13 簡単な繊維の見分け方

| 繊維             | 炎に接近時     | 炎中       | 炎から離す時   | 気体の匂い    | 燃焼後の灰  |
|----------------|-----------|----------|----------|----------|--------|
| 綿・麻            | 燃え始める     | 燃える      | 燃え尽きる    | 紙の燃える匂い  | 柔らかな灰  |
| 羊毛・絹           | 縮れる       | 縮れながら燃える | 細々と燃え続ける | 羽毛の燃える匂い | 黒くもろい灰 |
| ビスコース<br>レイヨン  | 燃え始める     | 燃える      | 燃え尽きる    | 紙の燃える匂い  | 灰はない   |
| 銅アンモニア<br>レイヨン | 燃え始める     | 燃える      | 燃え尽きる    | 紙の燃える匂い  | 灰はない   |
| アセテート          | 溶融する      | 溶融して燃える  | 燃え続ける    | 酢酸の匂い    | 黒くもろい灰 |
| ナイロン           | 溶融する      | 溶融して燃える  | 燃え続けない   | セロリの匂い   | 硬く灰色の塊 |
| ポリエステル         | 溶融する      | 溶融して燃える  | 燃え続ける    | 弱く甘い匂い   | 硬く黒色の塊 |
| アクリル           | 溶融して燃え始める | 溶融して燃える  | 燃え尽きる    | 肉を焼く匂い   | 硬く黒色の塊 |
| ビニロン           | 溶融する      | 溶融して燃える  | 燃え続ける    | 甘い花の匂い   | 硬く黒色の塊 |
| ポリ塩化ビニル        | 溶融する      | 溶融して燃える  | 燃え続けない   | ピリッと甘い匂い | 硬く黒色の塊 |