

## 2. こんがらかるのは長い物の特徴

### 繊維は細い部分で切れる

衣服が寒さや太陽の光や風や埃や雨露などの気象条件の変化に適応できるように身体をかばう役目を持っており、着心地や動作性や機能性も要求されますが、人間が容易に入手でき衣服に利用できるような天然の素材は限られています。小さな動物の毛皮では人間の大きな身体を包むことにはかなり困難を伴います。熊や鹿などの動物の毛皮は人間にとって十分に大きな物ですが狩猟することが困難です。羊や山羊の毛皮は大きさや入手のし易さの点から適当ですが、意外に重量があり衣服にしたときには多少動作性に欠けるように思われます。原始時代の人間は多少の欠点はあっても、毛皮を纏うことが多かったように思われます。

その後人間の知識や技術が向上して細い繊維を利用して衣服を作るようになりました。自然界の植物性繊維としては植物の身体を支える幹の繊維と各種の綿毛状の繊維が利用されました。大木の幹を構成する繊維は十分な長さを持っていますが、衣服に利用するには硬過ぎます。こうぞや麻のような灌木や草の繊維は柔らかくて衣服にすることが出来ますが、長さが1~2mしか取れず衣服に利用するには短過ぎます。また、種々の柳や綿などは種子を遠くに運ぶために植物繊維の羽毛を持っていますが、これらの繊維も短すぎてそのままでは衣服になりません。鳥の羽毛は繊維になりやすく、糸や布に加工することは成功していません。羊毛などの動物の毛は容易に入手できますが、繊維の長さが短く細いためそのままでは糸や布として利用することが出来ません。くもの糸や昆虫が出す糸は非常に長い物もありますが、細くてそのままでは衣服に利用できません。このように自然界の植物性繊維も動物性繊維も十分な強度も太さも持っていませんから、衣服に利用するには技術が必要になります。そこで短い繊維や細い繊維を衣服に利用する技術について考えてみましょう。

繊維を利用して衣服にするためには、繊維が十分な長さや強さを必要とします。繊維の強さを考える上では繊維がどのように切れてゆくと考えることが大切と

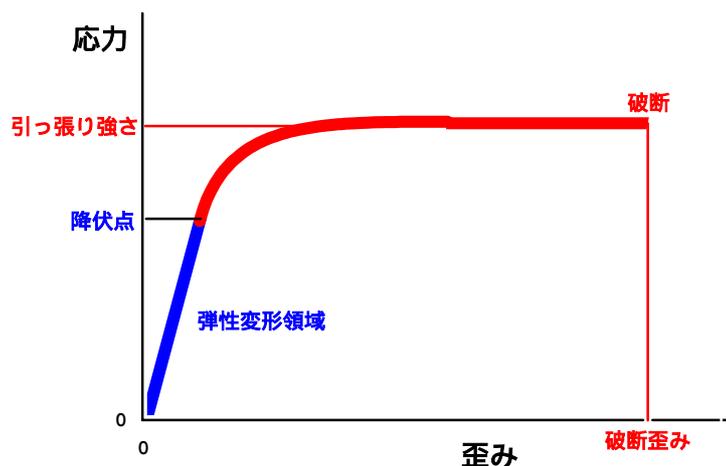


図2 - 1 引っ張り試験の状況

思われます。繊維が切れてゆくときに、繊維が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通りの切れ方が考えられます。

図2-1は繊維を引張る力(応力)と変形の様子を示す模式図ですが、青線の部分は弾性変形領域と呼ばれ、引っ張ることにより変形しますが、引っ張ることを止めるとすぐに元の形に戻ります。引っ張る力を加えたときに引っ張る方向には繊維は伸びますが、細くなりますから直交する方向では縮みます。降伏点と呼ばれる弾性(Elastic)の限界点を越えて、強く引っ張りますと元の形にもはや戻れなくなり、そのままの形に変形してしまいます。このように加えられる力(応力)により変形したままになる性質を塑性(Plastic)と呼んでいます。さらにもっと強く引っ張りますと繊維は益々細く長く変形し、最後に太さが0になって破断するときに応力が0になり変形は止まります。この破断に要する力を繊維の引っ張り強さといいます。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \sigma = \frac{F}{A} \quad \text{式 2 - 1}$$

外部から加えられる引っ張ったり捻ったりする力に比例し、繊維の太さに反比例して繊維は変形しますから、応力は外部から加えられる力(荷重)をF、繊維の太さを表す断面積をAとすると式2-1の関係になります。日本工業規格(JIS)による引っ張り試験では、変形の大きさ(歪み、)は試料繊維の元の長さをL、試料の引っ張り方向の変化量をLとすると式2-1として定義されパーセントで表されています。応力に耐えられずに破断したときの歪みを破断伸びと呼び、値が大きいほど大きく変形できる柔軟な性質を意味しています。図2-1の青線部分の弾性変形領域では応力と歪みの間に直線関係がありますから、繊維の太さが一樣であれば引っ張る力と繊維の伸びの間にHookeの法則と呼ばれる比例関係が成り立ちます。このときの比例定数を弾性率と呼び、値が大きいほど変形し難く小さいほど変形し易いことを意味します。バネやゴムなどのように弾性変形領域の広い弾性体でもこの関係がありますから、バネ秤など種々の物に利用されています。

応力は太さに反比例しますから、太い部分と細い部分のあるような太さが一樣でない繊維を引っ張る時には、太い部分ではあまり変形が起こらず太さを保ちますが、細い部分では大きく変形して長さが伸びると共に太さはますます細くなります。降伏点を越えるとこの傾向はますます進みますから、結果として最も細い部分で繊維は伸びて細くなり破断してゆきます。長い繊維、特に自然界に存在する繊維は一樣な太さのことはほとんどありませんから、必ず平均の太さよりもはるかに細い部分が含まれていると考えられ、必然的に切れやすい部分があると思われます。繊維が大きな応力により引っ張られるときには、最も細い部分からプツンと切れてゆきます。

これに対して長時間の間に、繊維がほかの物質と接触するときには、その表面が擦れ

て摩耗してゆきますから、次第に繊維は細くなり引っ張り強さが小さくなって切れてゆきます。繊維の摩耗は表面の構造に大きく依存していますが、繊維の種類や製造工程などによる表面に近い部分の分子の並び方にも大きく影響されます。繊維の表面が滑らかな場合や、繊維の表面を潤滑油などの薄い液体の層で覆う場合には摩擦が減少しますから、摩耗も極端に少なくなると考えられます。しかし、摩耗による繊維の劣化は摩擦だけではなく、表面近くの材質の力学的性質も大きく影響します。そのため、適当な力で引っ張った繊維を回転する車に接触させ、繊維が摩耗して切れるまでの回転数で、摩耗寿命を計測しています。しかし、車の表面の滑らかさや材質によって繊維との摩擦係数が異なりますから、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。この摩耗寿命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おもわれます。

繊維を利用して衣服にするためには、繊維が十分な長さで強さを必要とします。繊維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っ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。

### 短い繊維でも縷れば長い糸に

衣服に適した植物性繊維として、草木を支える幹の繊維と各種の綿毛状の繊維が利用されました。表2-1には各種の繊維の利用する長さや太さを表す直径をまとめましたが、こうぞや麻のような灌木や草の繊維は柔らかくて衣服にすることが出来ませんが、長さが1~2mしか取れず衣服に利用するには短過ぎます。また、種々の柳や綿などは種子を遠くに運ぶために植物繊維の羽毛を持っていますが、これらの繊維も短すぎてそのままでは衣服になり

表2-1 各種繊維の長さや直径

繊維種	長さ (mm)	直径 (mm)
綿	20 ~ 30	0.019
麻	8 ~ 70	0.02
藁	0.3 ~ 2.0	0.015
竹	0.8 ~ 4.0	0.012
針葉樹	1 ~ 5	0.04
落葉樹	1 ~ 2	0.025
絹	32000 ~ 140000	0.002 ~ 0.007
羊毛	20 ~ 150	0.017 ~ 0.028
人毛		0.083
馬毛		0.09
牛毛		0.111
豚毛		0.18
石綿	1	0.003

ません。羊毛などの動物の毛は容易に入手できますが、同じく表 2 - 1 にまとめたように繊維の長さが短く細いためにそのままでは糸や布として利用することが出来ません。くもの糸や昆虫が出す糸は非常に長い物もありますが、細くてそのままでは衣服に利用できません。このように自然界の植物性繊維も動物性繊維も十分な強度も太さも長さも持っていないから、衣服に利用するには工夫と技術が必要になります。そこで短い繊維や細い繊維を衣服に利用する技術について考えてみましょう。

接触した二つの固体の物体が互いに別の方向に動くときには、押し付け合う力に比例して摩擦が起こることを da Vinci と Amontion が見出しています。この摩擦力  $F$  は式 2 - 2 に示す関係式にまとめられますが、そのときの  $P$  は物体の間に働いている押し付け合う力(荷重)、比例定数  $\mu$  は摩擦係数を意味します。物体の表面が鏡のように滑らかであれば摩擦係数の値は小さく、表面がやすりのように凸凹としている場合には摩擦係数が大きくなります。静電引力の関係を明らかにした Coulomb がさらにこの関係を詳細に検討し、止まっている物体の間の摩擦力(静止摩擦力)は動いている物体の間の摩擦力(動摩擦力)よりも大きいことも明らかにしています。

$$F = \mu P$$

式 2 - 2 アモントン - クーロンの摩擦力の関係式

多くの物体が硬く詰め込まれている場合には互いの物体の間に強い荷重が働くために大きな摩擦力が生じますが、緩く詰めたときには荷重が小さくなるために摩擦力も小さくなってしまいます。細い繊維でも同じようにこのアモントン - クーロンの関係式が成り立ちます。多くの繊維を強くしっかりと束ねておけばその繊維の間に大きな荷重が掛かりますから、強い摩擦力が生じ、互いの繊維は動くことができません。前節で考えたように、繊維が引っ張られて切れてゆく過程では、はじめに繊維が伸びて細くなるように変形が起こります。このような変形を抑えることにより繊維の破断を抑えることができます。強くしっ

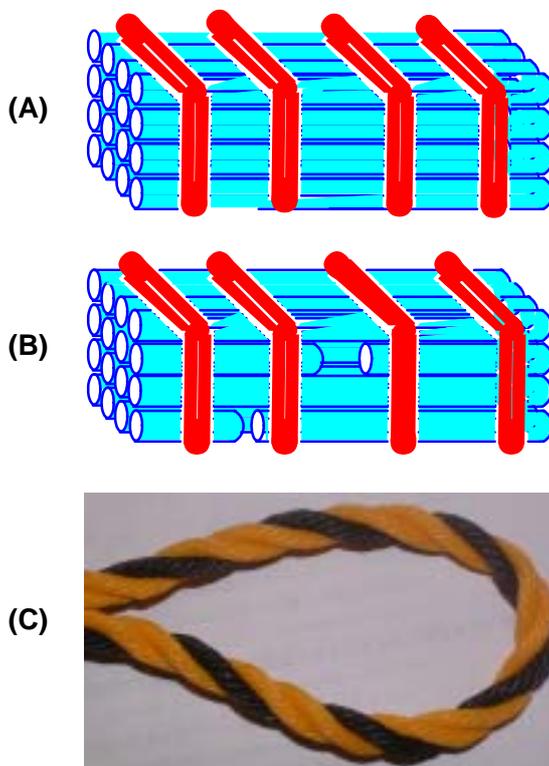


図 2 - 2 紡糸の模式図

かりと束ねた多くの繊維の中では個々の繊維は動くことも伸びることも出来ませんが、切れることも出来なくなります。図 2 - 2 (A) のように長い繊維を強く束ねれば結果としてあたかも太い 1 本の長い糸のようになります。

このように多くの束ねた糸の何本かの繊維がたとえ切れていたとしても、図 2 - 1(B) のように他の多くの長い繊維との間に強い摩擦力が働いていますから互いの繊維は動くことができず、伸びて次々に切れるようなことはおこりません。例えば、100 本の繊維でできた糸の繊維の 2 本が切れていたとしても、その局所の強度が 98% になるだけで他のところに影響を与えません。さらに、少しはなれたところでまた別の 1 本が切れているとしてもその局所の強度が 99% になるだけで、糸全体としては 98% の強度を持っているものと思われます。このことは綿や羊毛のような短い繊維でも適当に並べて強く束ねれば同じように長い糸ができることを意味しています。

短い繊維でも並べて強く束ねれば長い糸のできるということがわかりましたが、強く束ねることは簡単には解決されない技術的問題として残っています。多くの繊維をまとめて外側を別の長い繊維で強くぐるぐる巻きにすれば、多くの繊維を強く束ねることができるでしょう。しかし、外側に巻く別の長い繊維を用意することは容易ではありませんし、1 本の糸にそのような手間を掛けていたのでは、衣服にするだけの十分な糸を準備することはできません。多くの繊維を束ねて全体をねじりますと、図 2 - 1(C) のように内側の繊維はあまり変化しませんが外側に並んだ繊維は内側の繊維の束を周るように締め付けることとなります。結果として多くの繊維は自動的に外周にある繊維により強く束ねられることとなります。このように短い繊維でも擦り合って強く束ねて糸を作ることを「糸を繕る」あるいは紡糸といいます。

接触した二つの物体の間に働く摩擦力は式 2 - 1 に示す関係式にまとめられますが、そのときの摩擦係数  $\mu$  は物体の表面が鏡のように滑らかであれば小さく、表面がやすりのように凸凹としている場合には大きくなります。当然、表面が滑らかな繊維と摩擦係数の大きな繊維では、繕りを掛けて糸にしたときに性質が異なってくると思われます。特に平行繊維間の摩擦係数の小さな繊維では強く繕りを掛けて強く束ねなければ、繊維の間の摩擦力が小さくなってしまいうために、切れ易く弱い糸になってしまいます。繊維が枝分かれしていたり、クネクネと曲がっていたり、縮れていたりとすると、平行繊維間の摩擦係数が大きくなり繊維の間の摩擦力が大きくなります。このような摩擦係数の大きな繊維では、強い繕りを掛けなくても糸に十分な強度を持たせることができますから、柔らかくフワツとした糸を作ることができます。

このように繊維を繕って作った糸を集めてさらに繕りを掛ければ、さらに太い紐やロープを作ることができます。ちなみに本州と四国を結ぶ明石大橋やサンフランシスコの金門橋などは鉄の細い線に何重もの繕りを掛けてまとめたワイヤーが使われて吊り上げられています。

## 編み物は結びの極意

繊維を糸にする技術は分かりましたが、布にするには別の技術を必要とします。そこで糸から布を作る技術についても考えて見ましょう。人類は紐を結ぶことにより物体を繋ぎ合わせたり、物体に紐を付けたりする生活の知恵を持っています。本結び、花結び、蝶結び、テグス結びなど種々の結び方がありますが、何れも紐と紐の間の摩擦により結び目が解けなくなっています。例えば、図 2 - 3 には本結びによる紐の結び方を示しておきましたが、赤い矢印の方向に紐を引きますと、赤色の実線部分が引っ張られて青色の実線部分を締め付けます。互いの紐の荷重が大きくなりますから、摩擦力が大きくなり赤色と青色の 2 本の紐は強く結ばれます。また、船を杭に繋ぎとめるときに使われるもやい結びは図 2 - 3 に示すように、赤い矢印の方向に紐を引きますと赤色の実線部分が引っ張られて青色の実線部分を締め付けますから、緑色の杭に巻き付けた部分が輪になります。このときも結ばれた部分の荷重が大きくなりますから摩擦が大きくなり、もやい結びは固く結ばれます。

長い紐を連続的に結んでゆけば、その結び方や使う紐の本数や太さを工夫することにより組み紐と呼ばれる太い紐にもなりますが、布状に結んでゆくことも出来ます。大きな穴を残して平面状に結べば網になりますから、水の中でも切れにくいナイロンの糸などでこの網を作れば魚網となります。細い木綿の糸で結んでゆけばレース編みになりますが、模様の違いにより手数も異なり非常に高価なものから機械で作った物まで市販されています。弱い繕りで作られた羊毛の毛糸できめ細かく結んだ物は保温が良いために、靴下やセーターなどの形の編み物になります。図 2 - 4 (A) に示すように、編み棒にもやい結びをして図 2 -

4(B)のように引き絞ると編み棒の太さの輪ができます。図 2 - 4(C)のように布の幅に連続的にもやい結びを繰り返して小さな輪を一系列に作ります。次に編み棒を使って図 2 - 4(D)に示すようにそれぞれの輪に通すように新しい輪を作ってゆきます

と、また連続的な輪が布の幅だけできますから、さらに輪に通すように新しい輪を作ります。この操作を続けてゆけば図 2 - 4 (E) に示すように毛糸 1 本で布状に編み上がっ

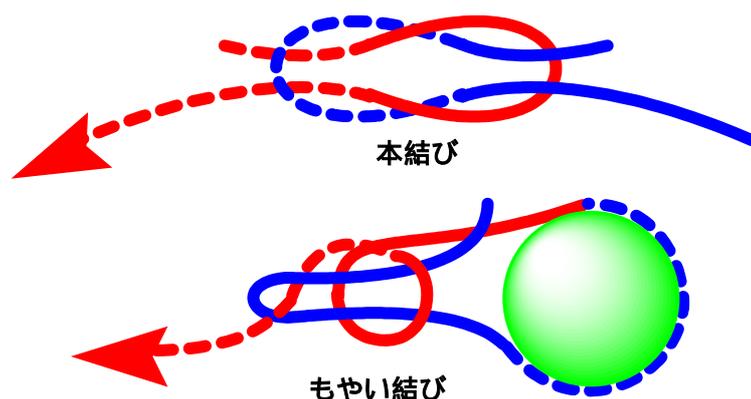


図2 - 1 代表的な2通りの結び方

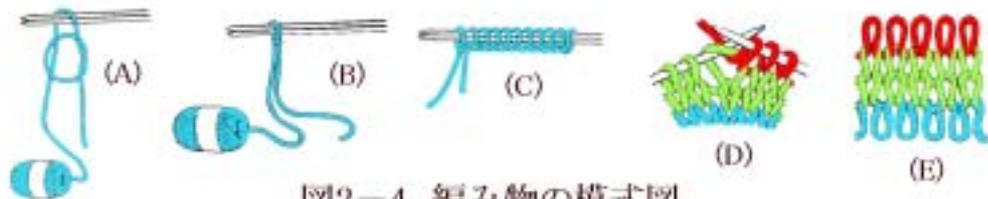


図2-4 編み物の模式図

てゆきます。これが編み物の基本の形ですが、途中で毛糸の色を変えたり、規則的に輪の順番を変えたりすることにより、種々の模様や特殊な網目を入れることができ、飾り編みと呼ばれているようです。

元禄時代に渡来した木綿糸で編み物のように編み上げられた布地のメリヤスは編み物と同じように伸縮性が良いため、「莫大小」と当て字されて靴下や下着用に普及しました。編み物やメリヤスなどのように布を自由に造ることができますが、1本の糸から作られていますから中で糸が切れてしまうと、容易に解けてしまう欠点を持っています。

人間の意思に反して、長い紐が自然に結ばれてしまい結び目を解くことが難しいこともあります。長い糸や紐ではこのような結び目が自然に出来てしまうことがしばしば起こりますが、このような状態を紐がこんがらかるといいます。特に、紐の摩擦係数が大きくて滑り難いときや紐がクネクネと曲がっているときには、絡み合って結び目が出来易くこんがらかり易くなります。このようにもつれたり絡み合ったりしてこんがらかる現象は長い物体に特徴的な性質です。編み物が1本の糸を結び上げて布にしてゆくように、1本の長い物体がこんがらかる場合もありますが、複数の長い物がこんがらかることもあります。

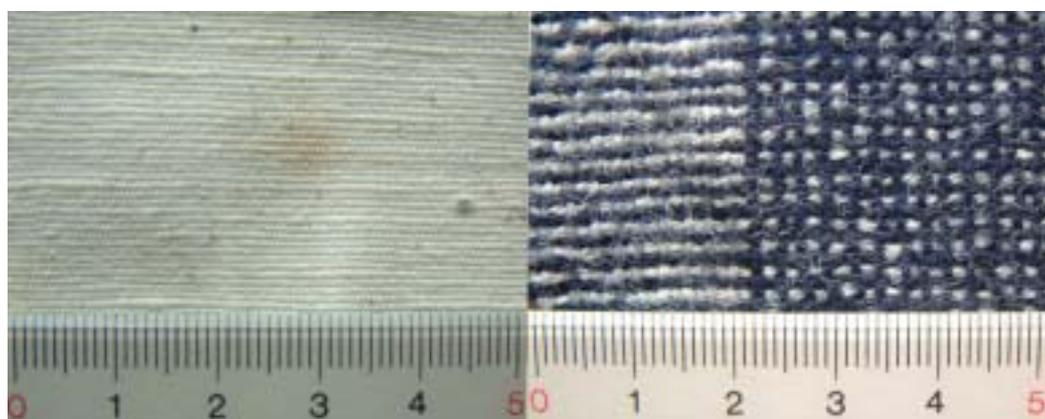
セーターをお湯で洗濯して小さく縮んでしまい、着ることの出来なくなった経験を持っている人もいるかと思います。羊毛はクネクネと縮れた比較的短い繊維ですが、材質が蛋白質ですから、70以上に加熱しますと変性を起こして、より強く縮れるように変形します。糸にしないままで羊毛を平らに並べておき、水蒸気を吹きかけて加熱しますと、蛋白質の変性がおこり、羊毛の繊維は絡み合いながら縮れてゆきます。結果として、縫いを掛けることなしでも、羊毛の繊維の間で複雑にこんがらかってきますから、羊毛の繊維でできた平らな布が出来上がります。このようにして作られた布は糸を編んだ物ではありませんから、編み目がなくフェルトあるいはラシャと呼ばれている特殊な布として昔から珍重されてきました。1950年代まで多くの日本の紳士が被っていた中折れ帽は羊毛の繊維を帽子の型の中に綺麗に並べて、水蒸気で蒸すように加熱して作っていました。フェルトの特長により縫い目のない帽子を型の通りに作ることができますし、虫食いになっても簡単に直すことが出来ると思われれます。また、ビリヤード台に織り目や編み目がある通常の布を張りますと、ビリヤードの玉が布目の影響を受けて曲がってしまいますから、織り目も編み目もないフェルトが用いられています。フェルトは非常に

良い性質を持っていますが、羊毛などの繊維に限られた布の製法で、木綿や麻や絹などの繊維にはほとんど適用されていません。

### 縦糸の間を縫うように横糸を並べた織物

編み物やメリヤスのように編み上げられた布地は伸縮性が良くゆるやかな感触のため、防寒具や靴下や下着用に普及しましたが、1本の糸から作られていますから途中で糸が切れてしまうと、容易にほどけてしまう欠点を持っています。このような長い1本の糸を編み上げて布を作る方法よりも広く用いられている布の作り方は、多くの縦糸を並べておき、その間を横糸で交互に織ってゆく機織の方法です。横糸と縦糸のそれぞれの間隔を狭めてゆけば、互いの糸の交わる部分に強い摩擦力が働きますから、横糸も縦糸も容易に解けることはありません。その上多くの縦糸と横糸で織り上げてありますから、そのうちの何本かが切れても大きな損傷にはなりません。そのため、適当な大きさに裁断しても端の部分が多少糸の外れ落ちる程度で、裁断した形の布として使うことができます。

はじめに機織された2~3例の布地を見て見ましょう。最も普及している布地として江戸時代から浴衣や手拭や禪などに広く用いられてきた晒し木綿は、太陽の光に晒して漂白して白色にした細い木綿糸を1cm当たりそれぞれ約20本の縦糸と横糸にして織り上げた緻密な木綿の布です。ガーゼは晒し木綿と同じような太さの木綿糸を使って織り上げた布地ですが、縦糸も横糸も1cmの間に約13本しか使っていないから、肌理が粗く通気性が良いので包帯や医療に広く用いられています。図2-5(A)の例は晒し木綿と同じように1cmの間に20本の木綿の細い糸を使って縦糸とし、比較的太い糸を横糸に1cm当たり13本の密度で使って織り上げたために、白色の布ながら模様ができます。また、図2-5(B)の例は1cmの間に10本の密度を持った縦糸と横糸の羊毛の糸で織り上げた布です。白色と紺色の横糸を交互に使っていますが、左の部分では白色と紺色の糸を交互に縦糸に使い、右の部分では紺色の糸のみを縦糸に使っています。このように縦糸と横糸を巧みに変えることにより2種類の織り模様が生まれてきます。



(A) 木綿地

(B) 羊毛地

図2-5 縦糸と横糸の違いによる布の違い

そこで、織物のできる過程を最も理解し易い手動の機織機で調べてみましょう。横糸は緯（い）と呼ばれる流線型をした糸巻きに巻いておきます。全ての縦糸の端は機織機の奥の横木に整然と並べて結び付けておきます。図 2 - 6 に示すような経（けい）と呼ばれる板の上に開けられた多くの穴に縦糸は 1 本ずつ通して手前の横木に巻きつけて弛まないように張っておきます。経には小さな穴と縦長の穴が交互に並んで開けられていますから、機織機に装着した経を上下運動しても、縦糸の端から偶数本目の縦糸は縦長の穴を通っているために全く上下運動をしません。しかし、奇数本目の縦糸は小さな穴を通っているために経の上下運動に伴い上下します。奇数本目の縦糸が上にあるときに、

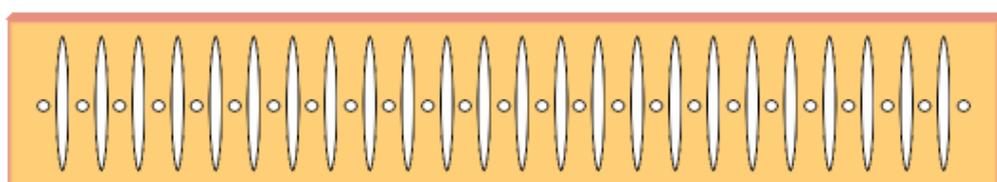


図2-6 縦糸用の経の模式図

偶数本目の縦糸の並んだ列の上に緯を滑らせます。つぎに、奇数本目の縦糸が下に移動して偶数本目と奇数本目の縦糸の上下が入れ替わったときに、奇数本目の縦糸の並んだ列の上に反対方向から緯を横に滑らせます。緯が移動するたびに中に巻きこまれている横糸が引き出されてきますから、縦糸の間を縫うように横糸が織り込まれていきます。互いの糸が外れないように、緯が動くたびごとに横糸をしっかりと奥に押し込みます。この操作を繰り返すことにより縦糸の間を縫うように横糸が並べられて織物が出来上がってゆきます。1cm 当たり 20 本の横糸でできている晒し木綿のような肌理の細かい布では経の上下と緯の往復を約 10 回するとき 1cm 織り上げられますから、女性用ワンピースの 1 着分に必要な布を織り上げるためには、緯の往復と横糸を押し込める操作が少なくとも 3000 ~ 5000 回繰り返されなければなりません。また、1 枚の浴衣は長さ 10m の浴衣地で作られていますから、経の上下と緯の往復と横糸を押し込める操作が 10000 回繰り返されています。このような織物は機織機を使って手仕事で織り上げてきましたが、現在では同じような原理で繰り返しの作業を機械的に迅速に行うことにより時間を短縮しましたから、非常に効率よく多量の織物が作られるようになっています。

この機織の方法では原理的には縦糸の太さと本数と密度により布の幅が決まり、縦糸の長さだけの長い布を作ることができます。機織は長年にわたって手作業で行われていましたから、織る人の身体の大きさに適した幅の布を織ることが作業の能率化に繋がり、次第に布の幅が規格化されてきました。日本の着物の生地となる反物の布幅は 36cm に規格化されていましたが、英国製の生地は 1 ヤール (71cm) に作られていました。しかし、産業革命以後の機械化により布幅を大きくすることが可能になりましたので、種々

の形に自由に裁断できるようにダブル幅（142cm）の生地も作られました。近年、世界中がメートル法に統一されるにつれて、布地の幅もメートル法に則って作られるようになり、用途や機織機の大きさに依存した種々の幅の布が市販されるようになっていきます。

このように繊維を撻って糸とし、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。そこには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撻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が保てません。しかし、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撻り方も布を織るときの織り方もゆらやかでも十分に強度が保てますから、ふっくらした保温性の良い布を作ることができます。糸の撻り方も布の織り方も原料となる繊維の性質に大いに影響されます。