

# レーザー光の干渉を用いた布の物理的性質の比較

愛媛県立松山南高等学校 光の干渉班

片上航瑠 國田章真 佐々木桜 二宮結愛 担当教諭 参河厚史

## 1. はじめに

X線回折を利用した結晶構造解析の理論を用いて、布を回折格子と見立ててレーザー光を透過させることで二次元回折像を得ることができ、その明点間隔を測定することで布の隙間の大きさを測定することが可能であることを確かめた。私たちは、この方法を用いて天然繊維や合成繊維でできた布に力を加えたとき布の隙間を調べることで布の物理的特性、特に力に対する特性を調べることとした。高橋ら(1974)の研究では、加えた力に対する布の伸長方向の特性が明らかになっている。私たちは布に加えた力と平行方向・垂直方向の二方向での隙間の変化を調べるとともに、一度、最大重量9.8Nまで力を加えた後に力を減らしていくとき、実験後に日をおいてから再び力を加えたとき、力を複数回加えたときの布の隙間を測定し変化を調べた。私たちは、この研究を通して、天然繊維でできた布の価値を再発見し、プラスチック製品の代替となる布製品の促進や環境の保護につなげたいと考えている。

## 2. 実験方法

図1は実験概念図である。ヤングの実験の複スリット、及び透過型回折格子を用いた光の回折・干渉実験において、スクリーン上の0次の明点と1次の明点の間隔 $\Delta x$ に対して回折格子と見立てた布とスクリーンとの距離 $L$ が十分に大きいときに、干渉条件式から近似的に $\Delta x$ は、 $\Delta x = L\lambda/d$ となる。これより、明点間隔 $\Delta x$ を測定することで布の隣り合う縦糸どうし、横糸同士の間隔 $d$ を求めた。

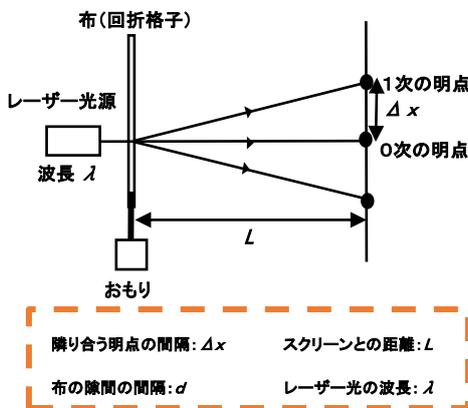


図1 実験概念図

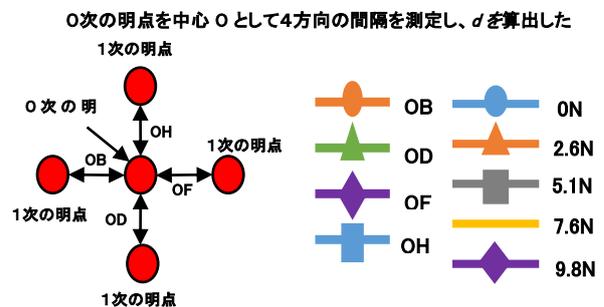


図2 回折像の解析

### (1) 伸び率について

布に加わる力が0Nのときの布の隙間の大きさ $d$ を基準( $d_0$ )として、それに対する隙間の大きさの変化量( $\Delta d$ )が占める割合( $\Delta d/d_0$ )を布の伸び率とした。伸び率がプラスならば布が伸びたということ、マイナスならば布が縮んだということを示す。

### (2) 実験①

2.5Nのおもりで鉛直下向きの力を加えた布にレーザー光(波長 $\lambda = 632\text{nm}$ )を垂直に入射させ、スクリーン上の回折像の0次の明点を中心0として4方向の明点間隔をノギスで測定する。おもりを1つずつ増やすごとに $\Delta x$ を測定する。最大4個で9.8Nの力になるようにする。最大まで力を加えた後、おもりを1つずつ減らしていくごとに $\Delta x$ を測定する。 $\Delta x$ の測定後、布の隙間の大きさ $d$ と伸び率を算出する。実験①では綿とポリエステルをそれぞれ4枚用いて、伸び率の平均で比較をする。

### (3) 実験②

同じ布で実験①を0、1、4、9、16日後の計5回目をとおいて繰り返す。実験を繰り返すことによる布の変化と、日をおくことによって変化した布の隙間がどのようになるのかを調べる。実験②では綿とポリエステル布をそれぞれ4枚用いて、実験①と同様に伸び率の平均を出した。

(4) 実験③

9.8Nのおもりを100回連続してつるした後、おもりを外して伸び率を算出し考察する。おもりは最大500回つるす。繰り返し力を加えることによって、布の力に対する耐久性を明らかにする。実験③では綿とポリエステルの布をそれぞれ5枚用いて、実験①と同様に伸び率の平均を出した。

3. 結果

(1) 実験①

綿(図3)では、おもりのつるし始めの伸び率が最も大きく変化していた。また伸び率の変化が±10%に収まった。おもりを減らした時の0Nの伸び率は、0%近くになっていた。ポリエステル(図4)では、力と平行方向は隙間が広がり、垂直方向は隙間が狭まっていくことが顕著である。おもりを減らした時の0Nの伸び率は20%広がったままであった。

(2) 実験②

綿(図5)では、どんなに日をおいても伸び率は15%以下であった。また、5回目(16日後)は、加える力を変えても伸び率の変化-5~0%以内だった。

ポリエステル(図6)では、0Dと0H(力と平行方向)が0Nと一部の2.6Nのとき以外は測定不可だった。よって、0Bと0F(力と垂直方向)の結果を用いた。ポリエステルはどの力の大きさの時も、伸び率はほとんどマイナスの値となった。実験①で、力と平行方向の伸び率がプラスになると、力と垂直な方向の伸び率はマイナスになることが分かっているため、今回は力と平行方向での測定が不可能であったが、伸び率はプラスを示すと判断した。

(3) 実験③

綿では、おもりをつるす回数を増やしても、伸び率はマイナスを示していた。また、力と平行方向のほうが垂直方向と比べてより小さい伸び率であった。おもりをつるす回数が増えても、伸び率の変化は小さい。

ポリエステルでは、おもりをつるす回数が増えると伸び率も大きくなっていった。

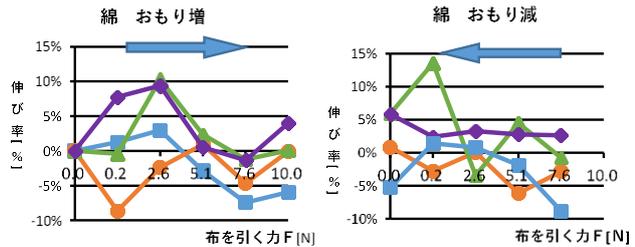


図3 綿の伸び率の変化

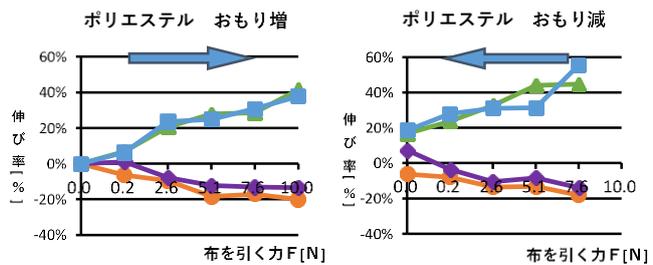


図4ポリエステルの伸び率の変化

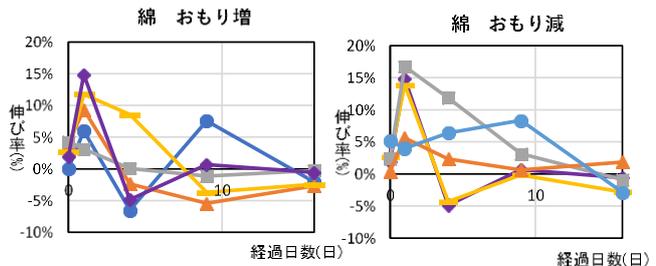


図5 経過日数と伸び率の変化(綿)

0N : 青 2.6N : 橙 5.1N : 灰 7.6N : 黄 9.8N : 紫

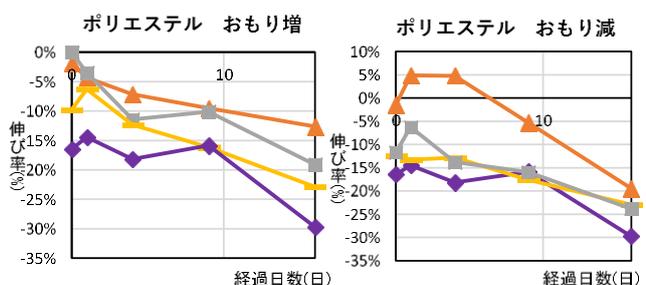


図6 経過日数と伸び率の変化(ポリエステル)

(図3と同様)

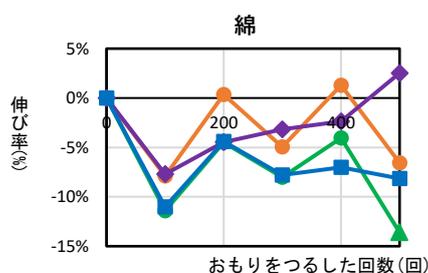


図7 おもりをつるす回数と伸び率の変化(綿)

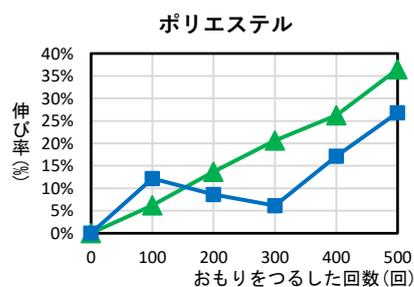


図8 おもりをつるす回数と伸び率の変化(ポリエステル)

#### 4. 考察

実験①より、綿は加える力が小さいときの伸び率の変化が大きいが、加える力を大きくしていくと、伸び率の変化は小さい。すなわち、力の加え始めの伸びの変化が大きいが、それ以降は大きく変化しないといえる。加えて、綿は布の隙間が最初の大きさに戻りやすいこと、最大 9.8N では隙間の大きさの変化が小さいことが考えられた。一方、ポリエステルは力を加えた方向に綿よりも伸びやすいこと、伸びた直後では布の隙間の大きさが広がったままであることが考えられた。また、平行方向の伸び率がプラスだと垂直方向はマイナスの値になることより、ポリエステルは平行方向の隙間が広がると、垂直方向の隙間が縮むという関係であると分かった。

実験②より、綿は実験を 5 回繰り返しても隙間の大きさは大きく変化していないことが分かった。また、0、1 日後は伸び率の変化が大きかったが、それ以降は徐々に伸び率の変動が小さくなっていったことから、4 日後からは布の形状維持の性質がよく現れたといえる。ポリエステルの力を加えた方向では 0N と一部の 2.6N のとき以外は明点間隔を測定できなかった。これは、布に大きな力が加わることで隙間の大きさが広がり過ぎて、レーザー光による回折・干渉が起こらなかったからであると考えられる。また 5.1N 以降も同様のことがみられたため、布の隙間が広がった状態が維持されていたと予想できる。力を加えた方向と垂直な方向は日をおいても伸び率がマイナスを維持、すなわち、縮んだ状態を維持していることが分かった。ポリエステルは繰り返した実験によって布の隙間が元の状態に戻ることなく力を加えた方向は伸びた状態が維持されることが分かった。どちらの布もおもりをすべて外した直後は布の隙間が広がっているが、綿は、日をおくことで力によって広がった布の隙間が元に戻る性質がポリエステルに比べて強いことが分かった。

実験③より、綿は力を加える回数を増やしても伸び率の変化は小さいことから、繰り返し加えた力に対する布の隙間の大きさの変化は小さいということがわかる。マイナスになったことは、おもりで力を加えることによって広がった布の隙間がレーザー光をあてるときにおもりを外したため、その瞬間に広がった隙間が糸の弾性により縮んだからではないかと考えられる。ポリエステルは、おもりをつるす回数が増えるにつれ、伸び率が大きくなることから布の隙間がますます広がったということがわかる。布の隙間が元の状態に戻らないのは、糸が弾性の限界を超えて伸び切ったからであると考えられる。

#### 5. 結論

今回の研究から、綿は最大 9.8N の力では隙間の大きさに顕著な変化が見られなかったこと、一度力を加えても日をおくと十分に隙間の大きさが戻っていることからポリエステルよりも布の隙間の形状を維持することができる考えた。ポリエステルは、明点間隔が測定できないほど隙間が広がったままであったことや力を加える回数が増えるほど布の隙間が大きくなったことから、力と平行方向での伸びやすさが優れているが、繰り返し力を加えると、元の状態に戻ることが難しく、耐久性に関しては綿に比べて劣る(表 1)。

表 1 : 綿とポリエステル耐久性の比較

	力に対する応答性	隙間を維持する性能	伸縮性
綿	加え始め:伸び○	○	伸びやすさ:△ 縮みやすさ:○
ポリエステル	力と平行方向:伸び◎ 力と垂直方向:縮み◎	×	伸びやすさ:◎ 縮みやすさ:×

(より応答するものを◎とする)

(より隙間を維持できるものを○とする)

(より伸縮性が大きいものを◎とする)

## 6. 今後の課題

次の3点を今後の課題とする。1点目、布に力を加えたとき、力を減じたとき布の隙間でどのような変化が起こっているのかを光学顕微鏡等を用いて調べる。2点目は、伝統的な布の物理的性質を明らかにするために、愛媛県発祥の伊予かすりを実験に用いる。3点目、比較した布の性質を分かりやすく表示する方法を検討する。

## 7. 謝辞

本研究を行うにあたってご助言いただいた、愛媛大学教育学部中本剛教授、愛媛県立新居浜東高等学校藤本茂州教頭に厚く御礼申し上げます。

## 8. 参考文献

- ・高橋雅江・南澤明子・竹中はる子（1975）「二次元回折格子としての布の回折像による織物の物性」日本女子大学