

獣毛の構造と手触りの関係についての研究

西内 佑翼 紫藤 麟太郎 宮本 みなみ

(1)要旨

私たちは、動物の毛の手触りの違いやその違いを決定づける要因について興味を持ち、研究を行いたいと考えた。先行研究を調べると、手触りの差を生む要因は、主に毛髪1本の物理的特性によるものであり、力学的な解析により手触りを評価することができると分かった。そこで、私たちは手触りの中でもコシ感に着目し、コシ感を生み出す物理的特性と獣毛の縦断面構造の関係について研究を行った。この研究により、最終的には本物の獣毛に似た手触りの合成繊維の開発などにつながるようなデータを得ることを目標に、研究を進めた。

イヌ(ボーダー・コリー)、ジャージー牛、ポニーの尻尾の毛について、後述する引張試験及び走査型電子顕微鏡を用いた横断面の観察によって、ヤング率と断面二次モーメントの値を求めた。また、これら2つの値を用いて各獣毛の曲げ剛性を求め、縦断面との関係を考察すると、ヤング率は縦断面の空隙が多くなるほど大きな値となる一方、曲げ剛性の値に大きな影響を与えるのは断面二次モーメントであった。この結果より、これらの獣毛のコシ感の差を生み出す最大の要因は獣毛1本の太さであることが分かった。しかし、この結果を合成繊維開発へ応用するにはまだ、解析を行った動物の種が少なく同じ種における個体差などが十分に考慮できていないと考えられ、今後はデータ数を増やしていくことが望まれる。

(2)研究目的・意義

私たちの研究グループは、全員が動物を飼っており、動物と触れ合うことが好きであった。話し合ううちに、各々が飼育している動物の体毛を撫でるとき、動物ごとに手触りが違うことに興味を持った。そこで、私たちは動物の手触りを決定する要素として獣毛のコシ感と毛の縦断面構造に着目し、動物の手触りの差の要因を解明することを目的として研究を行った。その関係の解明により、動物アレルギーを持っている人でも本物の動物を撫でているかのような感触を味わえるぬいぐるみなどの製作や、動物に近い手触りの合成繊維を作ることに役立てたいと考えている。

(3)先行研究

本研究に着手するにあたり、先行研究から以下のことが分かっていると把握したうえで研究を進めた。

『毛髪物性に関する研究1』

株式会社資生堂素材開発研究センター 曾我部, 安田, 野田ら

- ・毛髪のハリ・コシ感は毛束の摩擦や曲げ硬さにより生じるが、毛髪1本の物理特性によるものが大きい。
- ・材料力学的な解析により、物理特性を評価できる。

『毛束を構成する曲げ剛性と物理特性との関係』

文化女子大学 被服材料科学研究室 桑原, 森, 上田, 上甲ら

- ・毛束の特性が毛の硬さや柔らかさに寄与するが、もっとも基本的な因子は毛髪1本の曲げ硬さである。

『各種獣毛断面データの収集』

素材応用技術支援センター 渡邊, 明歩谷ら

- ・ミクロトーム用替え刃で獣毛の縦断面のサンプルを作成できる。

『毛皮素材判定のための毛の顕微鏡写真集』

大阪府立産業技術総合研究所

- ・獣毛の縦断面を得るには、固定した獣毛を剃刀で縦割りを行う薄切法と固定した獣毛を研磨紙で研磨する研磨法がある。

以上の事柄を踏まえ、実験のための理論を構築した。

(4)理論

先行研究にならって、コシ感の評価にはヤング率 E 、曲げ剛性 EI を用いることとした。

本研究では曲げ試験と引張試験の両方でヤング率を求める。

- ・ヤング率

フックの法則が成立する弾性範囲における同軸方向の物体のひずみと応力の比例定数である。 $\sigma[\text{N/mm}^2]$: 応力

度 $E[\text{N/mm}^2]$: ヤング率 ε : ひずみ として $\sigma = E\varepsilon$ という関係が成り立つ。

応力度 σ , ひずみ ε はそれぞれ

$F[\text{N}]$ 加えた力 $S[\text{mm}^2]$ 物体の断面積 $L[\text{mm}]$ 物体の元の長さ $\Delta L[\text{mm}]$ 物体の変形量 として

$$\sigma = F/S \quad \varepsilon = \Delta L/L$$

上記の式で求められる。ヤング率は物体固有の強度を表す指標としてしばしば用いられる。

引張試験ではこの公式を用いてヤング率を計算する。

また、曲げ試験も行う。この試験では物体に任意の荷重を加えることで生じる物体の変形、たわみを測定し、ヤング率を求めることができる。

今回私たちがヤング率を求めるうえで行った曲げ試験では、材料力学の公式より
荷重 $P[\text{N}]$ ・長さ $L[\text{mm}]$ ・たわみ $\delta[\text{mm}]$ ・ヤング率 $E[\text{N/mm}^2]$ ・断面二次モーメント $I[\text{mm}^4]$
として以下の等式が成り立つ。

$$\delta = \frac{PL^3}{192EI}$$

曲げ合成 EI は物体の横断面の形状を考慮した曲げへの強度であり、上記の式の一部として含まれているように、曲げ剛性の値が大きくなるほど曲げにくいということを表す。

さらに、獣毛の横断面はほぼ楕円であると知られていて、長径を $2a$ 短径を $2b$ とすると

$$I = \frac{\pi ab^3}{4}$$

という式が得られる。これらを正確に求めるために、走査型電子顕微鏡下で獣毛の横断面の測定を行う必要がある。

(5)研究方法

本研究で用いる獣毛はウシ(ジャージー種)、ウマ(ポニー)、ネコ(アメリカンショートヘア)、イヌ(ボーダー・コリー)とした。ネコとイヌは班員が飼育している個体の毛を、ウシとウマは、大山牧場様が飼育していた個体の毛いただき、実験に用いた。なおすべて同じ1個体の獣毛しか実験には使用していない。

- ・今回用いた毛はある程度太く長い材料にしやすい尻尾の毛を用いた。
- ・獣毛は24時間換気された部屋のなか、ジップロック中で約半年間保存した。
- ・試料作製や実験を行う前に獣毛は中性洗剤(主成分：ラウリル硫酸ナトリウム)で軽く洗浄し、汚れなどの影響をできるだけ取り除いた。

実験1 縦断面の作成について

＜用いた材料＞

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| ・4種類の獣毛(ジャージー、ポニー、ネコ、イヌ) | |
| ・スライドガラス | ・セロハンテープ |
| ・新聞紙 | ・マスキングテープ |
| ・クリアコート(方法1のみ) | ・UV レジン(方法2のみ) |
| ・薄刃ナイフ(方法1のみ) | ・#1200の耐水ペーパー(方法2のみ) |

この実験では動物ごとで縦断面の構造に差異があるのかを確認することを目的とするため、観察日が異なることは考慮しない。縦断面のサンプルを作る方法は先行研究にならい、2種の方法で行った。

方法1として、薄切法を用いた。方法1ではまず、新聞紙に乗せたスライドガラス上に獣毛1本をセロハンテープでぴんと張るように固定し、スライドガラスにクリアコートで獣毛が埋まるぐらい吹きかけ、約4時間自然乾燥させた。クリアコートで獣毛が動かずに固まるまで乾燥して固定したのち、薄刃ナイフでできる限り獣毛の中心を削り出した。ここで獣毛の中心を削り出すのは、メデュラやコルテックスの構造を観察するためである。しかし、この方法では獣毛が途中で切れやすく、比較的太い獣毛であったジャージーでしか上手く縦断面を削り出せず、手を薄刃ナイフでケガしてしまう恐れもあったため、方法2に変更して縦断面を作成した。

方法2ではスライドガラスにセロハンテープで両端を固定した。その後、UV レジンに獣毛が浸かるくらい塗り、UV レジンライトを当てて獣毛を包埋し、#1200 の耐水ペーパーで研磨した。研磨の際、断面を荒く削らないよう、耐水ペーパーを水で濡らしながら研磨を行った。さらに、断面を削りすぎて、空隙がなくなってしまうことを防ぐために、2〜3 往復やさしく研磨するたびに、光学顕微鏡で観察することを繰り返しながら研磨を行った。獣毛に紫外線を当てて固定を行っているが、縦断面の観察への影響は少ないと考えたため、UV レジンを用いることは問題ないと考えた。方法2では細い獣毛でも縦断面を作成することができ、実験者の技能はほとんど必要なく、機械的に断面を出すことができる利点があるため、ネコ・ポニー・イヌの縦断面の結果は方法2で作成したサンプルの結果である。ジャージーは、方法1の薄切法で十数回の試行の結果、偶然上手く断面を出せたものを実験3で観察している。

実験2 横断面の作成について

この実験では、断面二次モーメントIを求めるために必要となる横断面の長径・短径を求めるために横断面の作成を行った。ここでの横断面とは、獣毛を輪切りにした際の断面のことを言う。なお、横断面の作成方法は先行研究にならったものではなく、私たちが考案したものである。

方法1 <用いた材料>

- ・4種類の獣毛(実験1と同じ) ・UV レジン(Daiso 社)
- ・UV レジンライト ・簡易マイクロトーム ・ストロー

まず、ジャージーとポニー用のストローを4cmの長さに切った。イヌとネコの獣毛は4cmに満たなかったため、両端がストローから少しはみ出るくらいの長さにストローを切った。次にストローの中に獣毛をたるまないように張りながら両端をセロハンテープで固定した。そして、ストローの一端の穴を塞ぐようにセロハンテープを張り付けた。最後に、UV レジンをストローに流し込んでUV レジンライトでレジン硬化させた。その後、簡易マイクロトームで切片化を試みたが、レジンが固すぎたため、うまく切片化できず、方法2を考え出した。

方法2 <用いた材料>

- ・4種類の獣毛(実験1と同じ) ・ストロー(Daiso 社) ・セロハンテープ ・軍手
- ・ロウソク(パラフィン) ・ウォーターバス ・簡易マイクロトーム ・ビーカー(50mL)

まず、UV レジンを用いた時と同じ方法でストローの中に獣毛をセロハンテープで固定した。次に、ストローの一端の穴を塞ぐようにセロハンテープを張り付けた。ここで重要なのは、獣毛の両端がストローの中で斜めに固定しないように注意をすることである。斜めに固定しまうと、マイクロトームで切片化を行う時により正確な横断面を作ることができないと考えたため、ここには注意して作業を行った。そして、ビーカーに入れたロウソクをウォーターバスで融解し、軍手をはめてやけどに気を付けながらストローの中に流し込んで包埋した(図1)。ロウソクが十分に固まるまで待った後、簡易マイクロトームで切片化を行った。

初めの試料作製では切片の厚さを2.0mmほどで切片化していたが、ロウソクの中で獣毛が動いてしまい、きれいに切片化することができなかった。

そこで、切片の厚さを0.30mmほどまで薄く切片化し、かつ刃を素早く動かすことで獣毛が破断する際の断面の傾きが小さいきれいな切片を作ることができたため、この方法を実験3の方法とした。

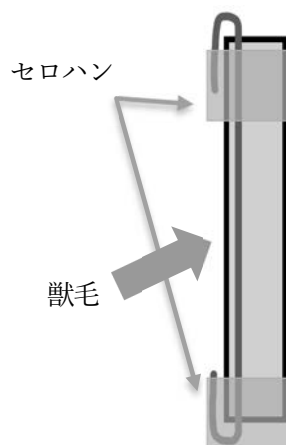


図1

実験3 電子顕微鏡での観察・測定

この実験では、実験1で作成した縦断面と実験2で作成した横断面の観察・測定を行った。徳島文理大学様より走査型電子顕微鏡(SEM)をお借りして実験を行った。観察方法は毎回以下の手順で行った。

始めに、試料の帯電を防ぐ目的で試料に白金・鉛を蒸着させた。次に、走査型電子顕微鏡に試料をセットして電子を照射し、観察・測定を行った。横断面の観察では、断面二次モーメントIを求めるために獣毛の長径と短径の測定を行い、断面の中心構造を観察した。縦断面の観察では、獣毛の断面における動物ごとの空隙の有無や、その空隙の作られ方の違いを観察した。

実験4 曲げ試験について

<用いた材料>

- ・4種類の獣毛(実験1と同じ)
- ・ビーカー(300mL)
- ・メジャー
- ・ろうと台
- ・グルーガン
- ・デジタルフォースゲージ
- ・iPad
- ・スタンド

前述の理論であったように、私たちは、ヤング率を求めるために曲げ試験を行った。先行研究では、ヤング率を求めるために引張試験を行っていたが、私たちには、試料の固定方法など実験設備の面で引張試験を行うことは厳しいとのご指摘を頂いたため、私たちはヤング率を求めるために引張試験に比べて行いやすい曲げ試験を行うこととした。この試験では、たわみ(物体に任意の荷重を加えることで生じる物体の変形)と、加えた加重を測定した。

まず、上の図2のようにビーカーをデジタルフォースゲージスタンドに置き、メジャー、iPadをスタンドで固定した。iPadで撮影している様子は図3である。なお、たわみはメジャーで測ったため、iPadとデジタルフォースゲージとの距離は約48cmと厳密ではないが、同じ日に同じ装置で実験し終わっていたため、たわみの値と荷重がiPadで撮影できていればよいものとした。次に、ろうと台に獣毛をたるまないようグルーガンで両端を固定した(図4)。そして、ビーカーの上をろうと台を乗せてデジタルフォースゲージで獣毛が破断するまで荷重を加え、その様子をiPadのスローカメラで撮影した。撮影後、破断直前の荷重とそれにより生じたたわみを記録した。



図2

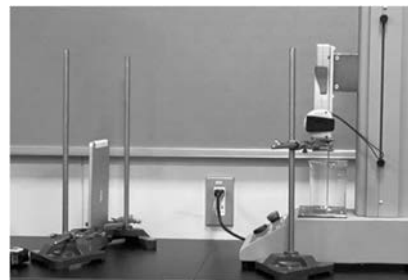


図3



図4

(6)結果

実験3で観察した4種類の獣毛の縦断面の構造は以下の図のとおりである。以降、縦断面でみられる隙間のような構造を空隙と呼んでいる。

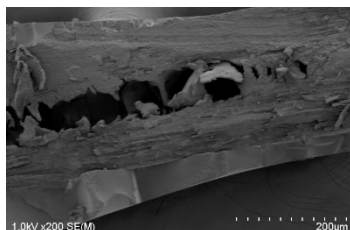


図5(ジャージー)

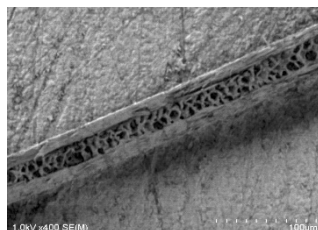


図6(イヌ)

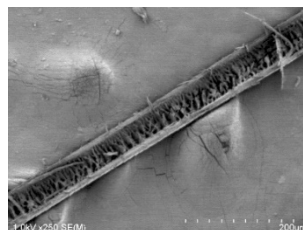


図7(ネコ)

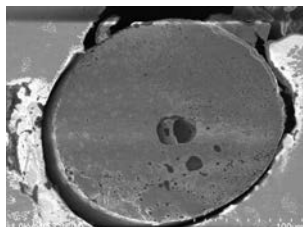


図8(ジャージー)

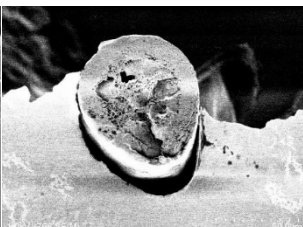


図9(イヌ)

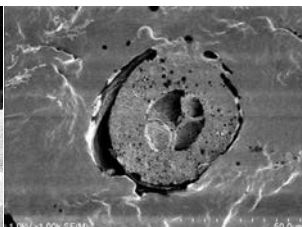


図10(ネコ)

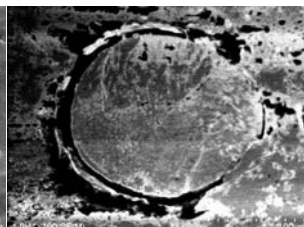


図11(ポニー)

図5～図7より、ジャージー・イヌ・ネコの縦断面には空隙のような構造が確認できた(ウマは画像なし)。しかし、ポニーの縦断面にはそのような構造は確認できなかった。また、図8～11からポニーの横断面だけ獣毛の中心に空隙がなかった。イヌ・ネコ・ジャージーの空隙の作られ方には違いがあることも縦断面の観察から分かった。

横断面の様子と長径・短径の得られたデータは以下のとおりである。
(視認性向上のため、表中ではポニーをウマ、ジャージーをウシとしている)

サンプル名	長径[μm]	短径[μm]	サンプル名	長径[μm]	短径[μm]	サンプル名	長径[μm]	短径[μm]
イヌ 1	66.8	45.2	ウマ 1	169	157	ウシ 1	205	158
イヌ 2	55.0	41.8	ウマ 2	186	159	ウシ 2	206	182
イヌ 3	67.3	54.6	ウマ 3	201	169	ウシ 3	218	177
イヌ 4	51.9	42.0	ウマ 4	188	168	ウシ 4	207	191
イヌ 5	61.2	46.1	ウマ 5	182	165	ウシ 5	209	177
イヌ 6	58.9	48.4	ウマ 6	181	164	ウシ 6	212	187
イヌ 7	59.6	51.8						
イヌ 8	56.1	42.1						
イヌ 9	58.1	44.9						
イヌ 10	55.8	50.9						
イヌ 11	55.7	41.2						
イヌ 12	51.8	37.3						

サンプル名	長径[μm]	短径[μm]
ネコ 1	94.9	75.4
ネコ 2	90.7	72.0
ネコ 3	87.7	60.9

図 12 各獣毛の長径・短径

これらの長径・短径のデータから各動物での平均の断面二次モーメント I を求めた。これはヤング率 E を求めるために必要となった。

平均の断面二次モーメント I [mm^4] を図 12 の結果から求めると、

ポニーは $3.99 \times 10^{-5} [\text{mm}^4]$

イヌは $2.82 \times 10^{-7} [\text{mm}^4]$

ジャージーは $5.93 \times 10^{-5} [\text{mm}^4]$ となった。

また、実験 3・4 の結果からジャージーのみではあるがヤング率 E を求めたところ、図 13 のような結果が得られた。

なお、ジャージー6 のヤング率は、実験 4 で獣毛が切れるまでかけた荷重の値が他よりも以上に大きかったため除いている。ジャージー平均の値は牛 6 を除いた 9 つの実験 4 の結果から求められたものである。

このヤング率 E の結果は、先行研究で示されているヤング率(ヒトのヤング率: 9.49GPa)と大きな差があった。この原因としては、毛をろうと台に固定したのち、それらをビーカーに設置したものに荷重を加えることでデータを得るという実験であったため、実験対象に対して垂直に力を加える過程で獣毛にだけでなく、ろうと台やビーカーに力が逃げていた可能性が高く、正しいデータを得るための獣毛 1 本に加える適切な荷重の値よりも大幅に大きな荷重が加わっていたことなどが考えられる。これにより理論値よりもたわみが小さくなったと考えられる。さらに、この実験の問題点として、どの程度力が獣毛以外に逃げているかの見極めが非常に難しいことが挙げられる。本研究では同一個体の獣毛の平均のヤング率を求めるうえでヤング率のデータをなるべく多く得る必要があったため、再現性に乏しい曲げ試験ではデータの信頼性が低いと考えた。

以上のことから、私たちの行った曲げ試験は獣毛のヤング率を求める方法として適していないと結論付けられたため、実験 4-改として引張試験を行うこととした。

実験 4-改 引張試験について

<用いた材料> ・4 種類の獣毛 ・デジタルフォースゲージ ・変位計 ・万力
・フラットチャック ・セロハンテープ ・パソコン

種類	ヤング率[Gpa]
ジャージー 1	6.7×10^4
ジャージー 2	5.0×10^4
ジャージー 3	5.6×10^4
ジャージー 4	8.4×10^4
ジャージー 5	6.3×10^4
ジャージー 6	-
ジャージー 7	5.7×10^4
ジャージー 8	6.5×10^4
ジャージー 9	8.5×10^4
ジャージー 10	1.0×10^5
ジャージー平均	7.0×10^4

図 13 ジャージーのヤング率 E

実験 4 で使用していたデジタルフォースゲージに連動して動くように変位計を固定し、デジタルフォースゲージにフラットチャックというアタッチメントを取り付けた。デジタルフォースゲージスタンドには万力を取り付け、フラットチャックと万力にセロハンテープを丸めて張り付けた。セロハンテープは獣毛がアタッチメントから抜けてしまうことを防ぐ目的で使用した。次に獣毛の毛先部分を切り、両端をフラットチャックと万力に挟んで固定した。デジタルフォースゲージの荷重が 0.0N でたるまずに張った状態で元の長さ L(mm)を記録する。そしてデジタルフォースゲージの変位と荷重がどちらも 0.0 の状態であることを確認してから記録をはじめ、デジタルフォースゲージで獣毛を引張った。獣毛が破断したら、変位と荷重のデータを記録して、ヤング率を求めるための公式に代入した。なお、私たちが使用したデジタルフォースゲージの分解能は 0.1N であったため、記録するグラフの点の違いでヤング率の値が理論値から大きくずれてしまうことを避けるために、荷重の値が変化した瞬間の荷重と変位の値を記録した。引張試験の結果は以下のとおりである。本実験では、曲げ試験のようにろうと台やビーカーを仲介せず、実験対象である獣毛に直接力が加わるため、曲げ試験と比較して再現性やデータの信頼性および作業効率が飛躍的に上昇した。

F[N]	L[mm]	ΔL[mm]	E[Gpa]
1.1	49	0.709	3.2
1.3	42.5	0.771	3.7
1.3	44.8	0.564	4.4
1.2	40.2	0.550	3.7
1.3	40.0	0.419	5.2
0.8	45.2	0.561	2.7
0.9	34.5	0.141	9.3
1.4	53.9	0.481	6.6
1.2	42.5	0.539	4.0
0.7	40.0	0.186	6.4
0.8	51.8	0.108	16

図 14(ポニー)

F[N]	L[mm]	ΔL[mm]	E[Gpa]
1.4	55.3	0.372	7.1
1.6	52.7	0.331	8.7
1.4	54.6	0.655	4.0
1.3	57.8	1.053	2.4
1.6	42.7	0.207	11
1.6	42.0	0.235	9.7
0.7	39.5	0.284	3.3
1.6	57.0	0.490	6.3
1.9	44.0	0.666	4.3
1.4	51.8	0.632	3.9
1.8	53.2	0.401	8.1

図 15(ジャージー)

F[N]	L[mm]	ΔL[mm]	E[Gpa]
0.2	12.5	0.194	2.7
0.2	14.4	0.116	5.2
0.1	21.9	0.085	5.4
0.2	15.5	0.182	3.5
0.1	21.0	0.201	2.2
0.2	12.0	0.155	4.4
0.1	21.2	0.141	3.1

図 16(ネコ)

F[N]	L[mm]	ΔL[mm]	E[Gpa]
0.1	40.3	0.131	15
0.2	31.5	0.465	6.5
0.3	31.5	0.561	8.1
0.2	41.2	0.478	8.2
0.1	60.9	0.416	7.1
0.1	62.2	0.682	4.4
0.1	61.0	0.488	6.0
0.1	42.1	0.160	13
0.1	39.0	0.320	5.8
0.1	46.8	0.548	4.1

図 17(イヌ)

(7)考察

引張試験で得られたデータの誤差について、今回用いた実験装置はデジタルフォースゲージをアタッチメントや分析ソフトなどで、補った簡易的な装置であるため、専門的な引張試験機に比べるとどうしても多少の誤差が生まれてしまう。具体的には、試料と装置の固定部分に余分な力が加わり、加えた荷重に対して実際よりもひずみが小さくなってしまふことや、分析ソフトの分解能が小さいことで計算がずれるといったことが考えられる。

しかし、得られたヤング率の値が先行研究と比較しても大きなずれがないこと、実験にはすべて、同じ実験装置を用いたことを考慮すると、データの比較だけであれば上記の誤差は許容することが出来るものとして、考察を進めた。

各獣毛のヤング率の値から、手触りは、イヌ(ボーダー・コリー)>ジャージー>ポニーの順に硬いということが分かった。しかし実際の手触りの感触ではジャージー、ポニー、イヌ(ボーダー・コリー)の順に固いと感じたため、ヤング率のみでの比較では納得のできない結果となってしまった。そこで、手触りの評価を物体の大きさをパラメータに含む硬さである曲げ剛性で行うこととした。

$$\text{曲げ剛性(EI)} = \text{ヤング率(E)} \cdot \text{断面二次モーメント(I)}$$

求めたヤング率 E、断面二次モーメント I から曲げ剛性を計算すると、ポニーは $0.23(\text{N} \cdot \text{mm}^2)$ ジャージーは $0.37(\text{N} \cdot \text{mm}^2)$ イヌは $0.0022(\text{N} \cdot \text{mm}^2)$ 、この数値からイヌはポニーの 100

倍柔らかいと考察できた。しかし、データだけを見て「イヌはポニーの 100 倍柔らかい」と結論づけると、我々の普通の生活に落とし込んで考えても、実感が湧きにくい。そこで、ヒトの感覚量は刺激量の対数に比例するというウェーバー・フェヒナーの法則を参考にして、常用対数をとると

ポニー：-0.6382 ジャージー：-0.4317 イヌ：-2.657 (無次元) となった。

ポニーはジャージーの約 1.5 倍柔らかく、イヌはジャージーの約 4 倍柔らかいという関係性を得られた。また、以上のことから手触りに大きな差が生まれるのは、断面二次モーメントが大きく異なるためと考えられる。一方、横断面や縦断面において空隙が多い種であるほど、ヤング率が大きくなる傾向にあった。これは各獣毛内において空隙を形成する竹の節状や網目状の組織が変形に対する抵抗になり、結果としてひずみが小さくなったからだと考えられる。

今回の実験では、手触りのうちコシ感に大きな影響を与えるのは獣毛 1 本の太さであり、断面構造の影響は些細なものであるが、空隙が多いほどヤング率が大きくなる傾向があると結論付けた。

(8)今後の課題と展望

今回の実験では各獣毛の引張試験の回数が少なく、実験装置も簡易的であるため、得られたデータに誤差が大きいと考えられる。また、実験した動物種が 3 種と少なく、詳しい考察や合成繊維への応用にはまだまだデータ数と精度が足りないため、実験回数の増加と実験装置の改良または購入が望まれる。今回、時間の都合がつかず実験 2,3 で作成した試料をすべて観察しきれていないため、さらに、データ数を増やす予定である。また、実験を行った 3 種類の動物では空隙が多いほどヤング率が増加する傾向が存在し、この原因を空隙によって変形に抵抗が生じていると考察したが、仮説にすぎないため、これを検証するために引張試験前後の獣毛の縦断面を走査型電子顕微鏡で観察を行う。また縦断面の画像データを画像解析ソフトなどで、空隙の占める割合を数値で出したのちに、ヤング率の値との相関を統計学的な解析によって定量的にもとめることが必要だろう。

(9)参考文献

- ・曾我部敦, 安田正明, 野田章. 毛髪物性に関する研究 1
毛髪の短径・長径測定と曲げ応力評価法日本化粧品技術者会誌.2002,vol.36,no.3,p207-216
<https://doi.org/10.5107/scej.36.207>, (参照 2024-08-20).
- ・桑原里実, 森万祐子, 上田誓子, 上甲恭平.毛束を構成する毛髪の曲げ剛性と物理特性との関係. Journal of Textile Engineering. 2015, vol.61, no.4, p.41-47
<https://doi.org/10.4188/jte.61.41>, (参照 2024-08-20).
- ・渡邊亮, 明歩谷英樹. 各種獣毛断面データの収集. 2014,vol.43,p.51-54.(参照 2024-08-20).
- ・奥村章. 毛皮素材判定のための毛の顕微鏡写真集. 2008.(PDF だったため分からず)

(10)謝辞

本研究の遂行にあたり、
獣毛の提供をしてくださった大山牧場うしおじさん様
電子顕微鏡を貸してくださった徳島文理大学 理工学部 ナノ物質工学科 佐藤先生、谷川先生に深く感謝申し上げます。