

圧力、糸の太さ、混率、織り方の違いによる 制服の温度上昇の変化

宮城県仙台第三高等学校 理数科

要旨

物と物をこすり合わせることで大なり小なり摩擦熱が発生することは明らかである。しかし、どのような条件下で摩擦熱が発生しやすくなるかについての研究は少ない。そこで本研究では同じ生地同士をこすり合わせ、「織り方」「混率（本研究ではウールとポリエステル配合の割合を指す）」「生地に使われている糸の太さ」「擦るときの圧力」「生地の持つ静止摩擦係数」の5つに着目し、対照実験を行った。実験から、「綾織のほうが平織りより発熱効率が良い」「糸が太いほうが発熱効率が良い」「擦る際にかかる圧力が大きいほど発熱効率が良い」また、摩擦熱の発生効率と静止摩擦係数の値は比例するという4つの結果を得ることができた。

序論

我々の班は、冬季シーズンに人々が手を擦ることで摩擦熱によって手を温める行為に注目した。そこから着想を得て、効率的に摩擦熱を発生させる方法について探求しようと考えた。当初は、掌と掌をこすり合わせる際の効率的に温まれるこすり方について探求しようとした。しかし、人によってシワの形が違ったり、擦る際の圧力を均一にするのが難しいなどの問題が現れたため。そのため、実験材料はすべて無機物で揃えることとなった。我々の班の研究理念はすべての人の役に立てるような結果を残すことであった。そこで、擦り合わせる素材を「制服の生地」とした。これは、一番身近なサンプルとして何が適しているかという問いに対して、三高生には馴染みのないかもしれないが、制服ではないかと考えたからである（尚、本研究ではトンボ株式会社様に素材を提供させていただいた）。

制服の発熱効率を測る研究を行うに伴い、ウールやスチール等の様々な物体の発熱効率の正確な値がすでに研究されていることを知

った。また、どのような条件で発熱量が上がるかについての論文は少ないこと、先行研究から物体の持つ静止摩擦係数と摩擦熱の量

に相関があることがわかった（つまり摩擦力が強ければ強いほど摩擦熱の発生量も多くなる）。

これらのことから、我々の班は制服の静止摩擦係数の測定（これを実験1とする）、制服の発熱効率と「織り方」「ウールとポリエステルの混率」「生地に使われている糸の太さ」「擦るときの圧力」の相関についてデータを集めることにした（これを実験2とする）。

方法と仮説

はじめに、本研究で使用した布は8種類である（わかりにくいので下図1推奨）。布はそれぞれ織り方（綾織と平織りの2通り）、混率 w/p （今回だとウールとポリエステルで左側が wool で右側が poriestel）、番手（紡績した際の糸の太さのことで、値が大きいほ

ど細い) が異なっている。それぞれ左から織り方、混率、番手とし、①綾織 100/0 44 ②綾織 80/20 60 ③綾織 70/30 60 ④綾織 50/50 48 ⑤綾織 50/50 60 ⑥平織り 50/50 48 ⑦綾織 40/60 44 ⑧綾織 40/60 52 とした。

実験 1 について、金属板の上に布を固定し、その上に静止摩擦係数を計測したい布を乗せる(ただし、固定した布とその上に乗せた布の種類はすべて同じものにする)。このとき、金属板の一方を水平面から持ち上げて、水平面に接してる金属板と水平面が作る角度を θ とした。このとき、スマートフォンのツールを利用して θ をもとめた。尚、静止摩擦係数の値と $\tan\theta$ の値は一致するため $\tan\theta$ の値を三角比の表より導いた値を静止摩擦係数の値とした。

続いて、実験 2 について、我々の班は研究を進めるうえで、同じ周期で直線運動を行う装置づくりを行う必要があった。そこで、スライダクランクという機構を利用した。スライダクランク機構とは、回転運動を直線運動に変換する機構である。本研究ではスライダクランク機構とモーターをギアで接続した。このとき、装置の枠組みとギアをレゴブロックで構成することで、改造度の高い装置づくりに成功した。続いて、スライダクランク機構を利用して布を擦る際に、こすられる側を下から「土台、発泡スチロール、温度計、布」の順に接合した。この構成において、発泡スチロールは土台からの熱の遮断と摩擦熱の保温の役割をになっている。布を擦る側は下から順に「布、おもり」の順に接合した。今回実験に使用したおもりは 20g、100g、200g の 3 種類である。ちなみに、おもりの重さに特に意味はない。また、今回の実験では 1 つの生地あたりに 20 個のデータを収集した。その中で、中央値から近い 10 個のデータを採用することで、はずれ値を省きデータの正確性を向上させた。

続いて、我々の班は 3 つの仮説を立てた。1 つ目は「糸が太いほうが静止摩擦係数が大きくなり、温度上昇もしやすい」というもの。これは表面が粗い素材のほうが摩擦係数

が上昇し、発熱効率も上がると考えたからだ。2 つ目は「ポリエステルのほうがウールよりも温まりやすいことが先行研究で知られているので、ポリエステルの割合が多いものほど温度上昇しやすい」というもの。3 つ目は「綾織は平織りに比べて糸の自由度が大きいため温度上昇がしやすい」というものである。綾織とは縦糸と横糸を斜方状に紡ぐ製法のこと、生地自由度が大きい。一方、平織りとは綾織縦糸と横糸が格子状に編まれた折り方のことで、生地自由度が小さい。綾織のほうが糸の自由度が大きいため運動エネルギーを吸収しやすく、摩擦によって温度上昇もしやすいと考えたためこのような仮説となった(図 2 推奨)。

結果

まず実験 1 について、結果として静止摩擦係数の値は

①1.41②1.15③1.73④1.88⑤1.19⑥1.23⑦2.48⑧1.88 となった。これに加え、荷重を大きくするほど温度上昇はしやすくなった。

続いて、実験 2 について、仮説の 1 つである「糸が太いほうが静止摩擦係数が大きくなり、温度上昇もしやすい」を立証するに当たって、生地 4 と 5、別の比較データとして生地 7 と 8 で対照実験を行った。結果は糸が太い 4 と 7 が発熱までの往復回数が少なかった(図 4 推奨)。

次に、「ポリエステルの割合が多いものほど温度上昇しやすい」を立証するためにポリエステルの含率が大きい順に生地 7、3、1 を用いて対照実験を行った。結果は 7、1、3 の順に発熱効率が大きくなった。よって仮説は棄却された。また、実験 1 の結果より、静止摩擦係数は大きい順に 7、3、1 となったため、この結果からだけでは静止摩擦係数と発熱効率には相関がないとも判断できる(図 5 推奨)。

最後に、「綾織は平織りに比べて糸の自由度が大きいため温度上昇がしやすい」ことを立証するために生地 4、6 (4 が綾織で 6 が平織り) を比較した。結果は生地 4 のほうが生

地 6 より摩擦熱の発生効率は高くなった。また、静止摩擦係数も生地 4 のほうが大きかった（図 6 推奨）。

まとめと考察

まず始めに静止摩擦係数と摩擦による温度上昇との相関関係について、静止摩擦係数を縦軸、装置の往復回数を横軸としたところ、強い負の相関が見られた。よって、静止摩擦係数の値が大きくなるほど摩擦による発熱効率が向上するという比例関係にあるとわかった（図 7 推奨）。

次に、糸が太くなるほど発熱効率が向上したことについて考察する。原因として、非常に感覚的な推論となるが、糸が太いほど布の表面が荒くなることが挙げられる。

続いて、ポリエステルとウールの混率の違いによって摩擦熱の値の変化が見られなかったことについて。本研究では先行研究とは全く異なる結論に達してしまった。仮説②を検証した際にだけ上で述べた静止摩擦係数と摩擦熱の発熱効率との相関は見られなかった。原因として、データを抽出する際に外れ値を

省いたため、データ不足によるデータの偏りと判断するのは難しく、単純に相関が見られなかったか、実験設備の不備によるものだと考える。または、先行研究で使用されていた素材と本研究で扱った素材では性質が異なっていたためだと考える。

結果考察の最後に、綾織のほうが平織りに比べて温度上昇が大きかったことについて述べる。結果は仮説と一致し、綾織は平織りに比べて糸の自由度が大きいためこのような結果となったと捉えることができる。

謝辞

我々の班が本研究を実行に移せたのは、素材提供を引き受けてくださったトンボ株式会社様や、石澤公明先生をはじめとした SSH コーディネーターの方々のおかげです。心より感謝申し上げます。また、3 学年の研究は終わりとなりましたが、2 学年に研究を引き継いでいただくことになったため、より良い結果に結びつき、社会の役に立つような研究になることを期待しています。

参考文献

- (1) 西沢信 (2003) 「摩擦による被覆材料の内部温度について」
<https://n-seiry.repo.nii.ac.jp/record/1062/files/KJ00000693021.pdf> (2025 年 4 月 21 日閲覧)
- (2) karakurist
[https://karakurist.jp/\(2025 年 4 月 21 日閲覧\)](https://karakurist.jp/(2025年4月21日閲覧))
- (3) 東京書籍 情報 I Step Forward!

図 1) 素材の種類と特徴

※混率の **w** はウールの割合を表し、**p** はポリエステル割合を表す。

名前	糸の織り方	混率	(太)	番手			(細)
			44	48	52	60	
1	綾織り	100w	○				
2	綾織り	80w 20p					○
3	綾織り	70w 30p	○				
4	綾織り	50w 50p		○			
5	綾織り	50w 50p					○
6	平織り	50w 50p		○			
7	綾織り	40w 60p	○				
8	綾織り	40w 60p				○	

図 2) 赤いのが平織り、青いのが綾織

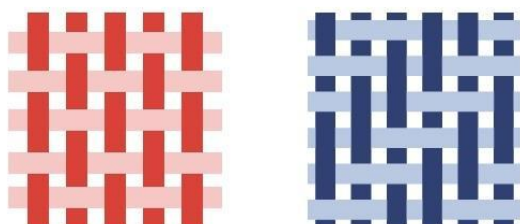


図 3) 実験装置

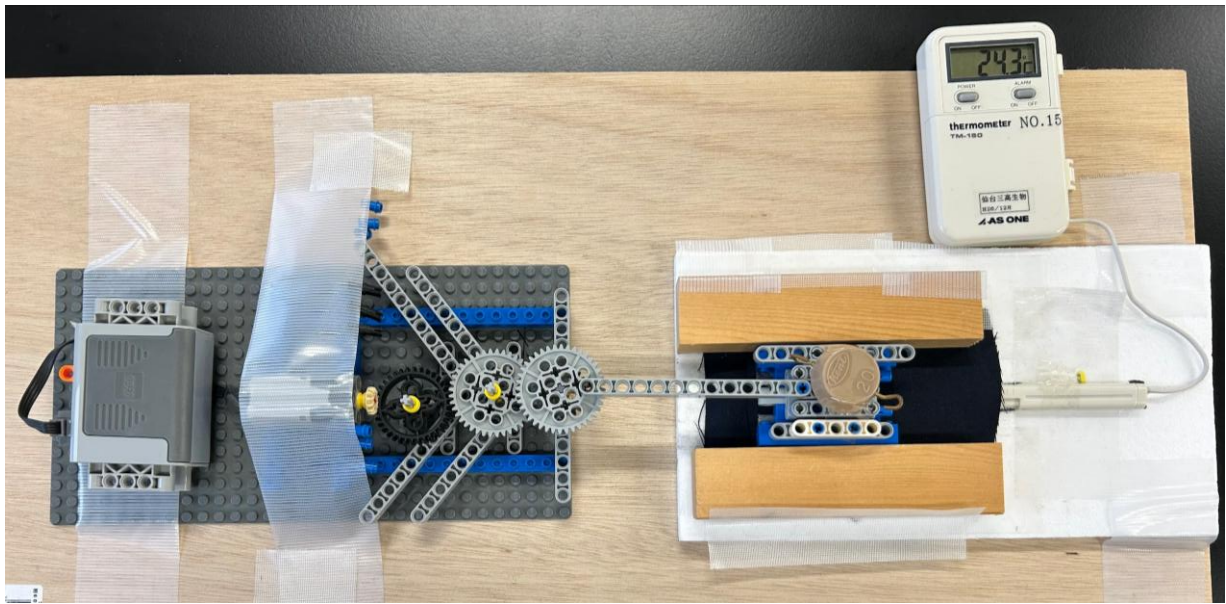


図 4) 糸の太さと往復回数についてのグラフ

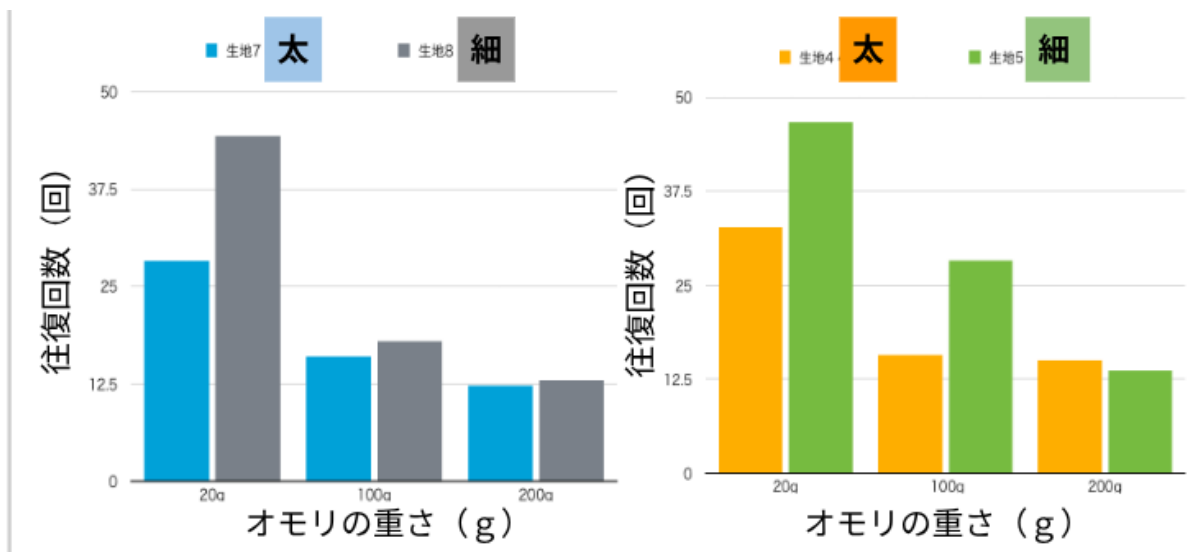


図 5) 混率と往復回数についてのグラフ

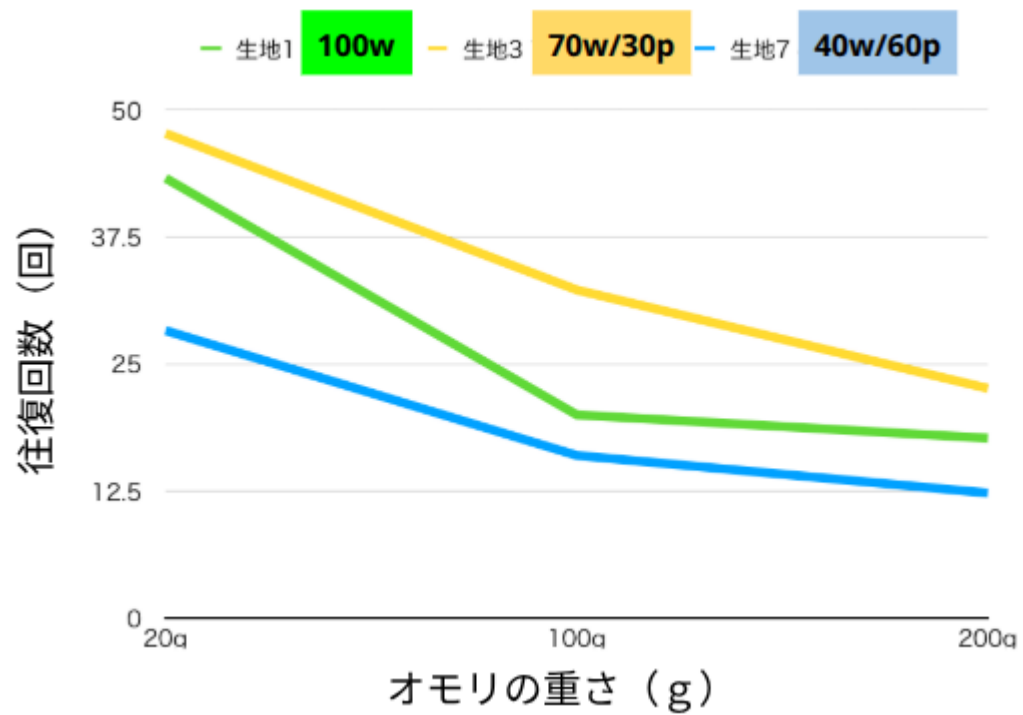


図 6) 織り方と往復回数についてのグラフ

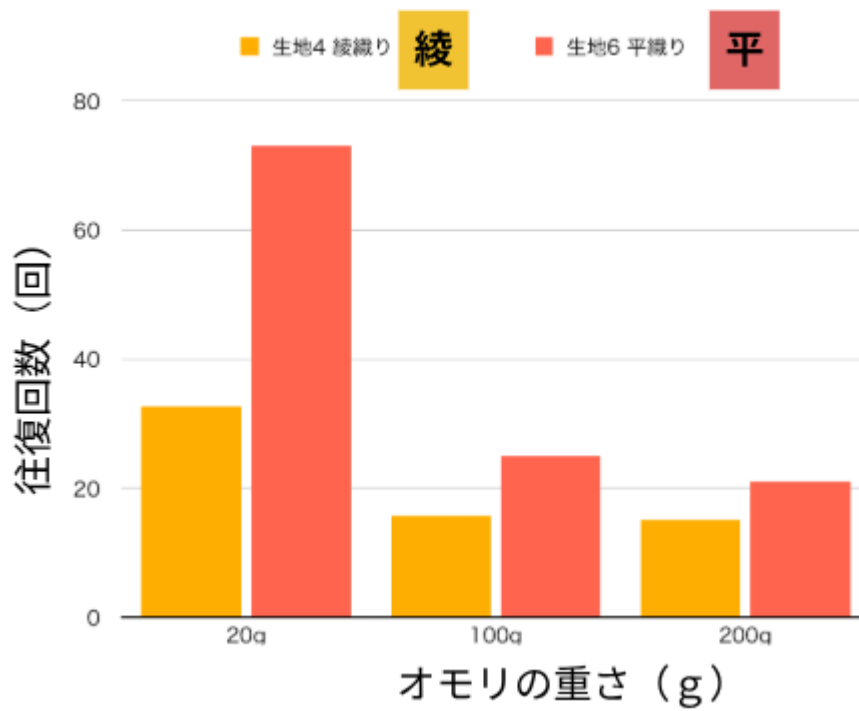


図 7) 結果と相関

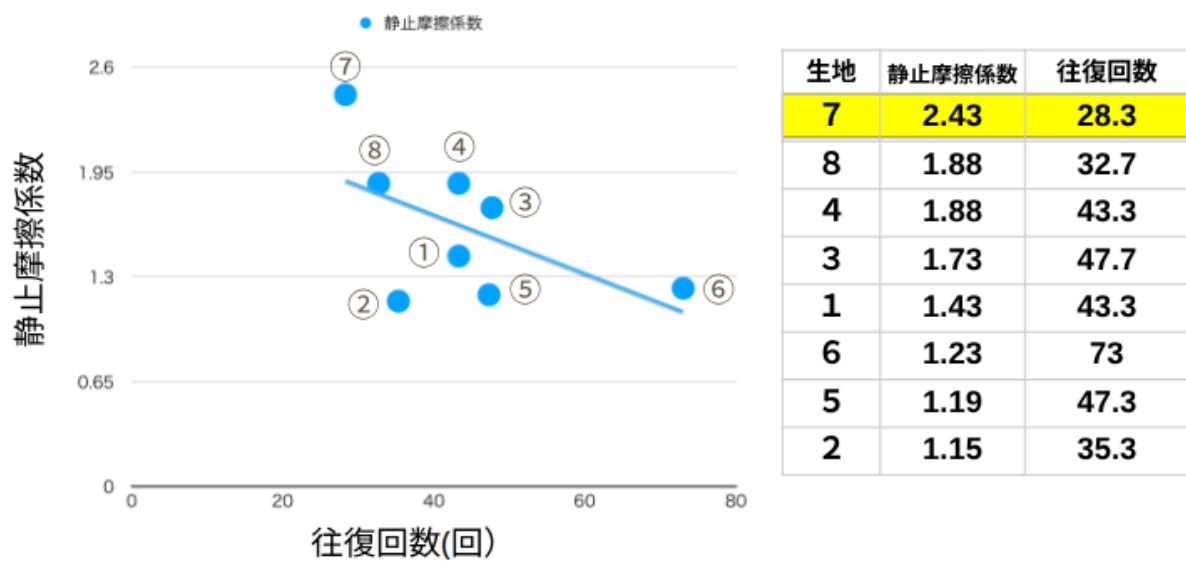


図 8) $\tan\theta$ の導出法

<導出方法>

静止摩擦係数： μ 重力加速度： g

滑らせる布の質量： m とする。

$$mg\sin\theta - mg\mu\cos\theta = 0$$

$$\mu = \sin\theta / \cos\theta = \tan\theta$$

よって $\tan\theta$ を求めることで静止摩擦係数が出る。

