

左上一箇所でホチキス留め

筑波大学

4309

朝永振一郎記念

第13回「科学の芽」賞 応募用紙

応募部門：中学生部門

応募区分：団体応募

題名：「糸が切れる仕組みの解明」

学校名：大磯町立大磯中学校

学年：2年

代表者名：山口 仁香流 河合昂

糸が切れる仕組みの解明

大磯町立大磯中学校 科学部 糸班

2年B組 山口 仁香流

2年D組 河合 昂

要約

糸が切れる仕組みを明らかにすることを目的として、次の実験を行った。

① 初めに糸が切れる場所について調べたところ、糸にはどの場所にも同じ力がかかるため、糸を引いたときに切れる場所はランダムになるということが分かった。

② 次に長さの異なる糸を使って糸の長さで糸が切れる時の力の大きさの関係について調べたところ、糸の長さが違っていても切れる時の力の大きさは同じであるということが分かった。

③ 他にも糸が切れる際の結び目の有無や位置による影響、および結び目で切れやすい原因を調べたところ、結び目が糸のどこにあっても結び目があるところで糸が切れるということが分かった。また、どこに結び目があっても糸は同じ力で切れるということが分かった。さらに、結び目の数を増やすと、結び目の位置でランダムに切れ、結び目が一つの時と切れる力の大きさが変わらないことが分かった。その後の実験で糸はクリップで挟んだところが切れることが多かったことから、糸を結んだことによって、繊維が細くなり、その部分に力がかかって糸が切れやすくなるということが分かった。以上より、糸が切れる仕組みとして、糸は繊維が細くなったところで切れやすいということを実証することができた。

④ さらに、三本の糸をさまざまな形に変えて切れやすさの違いを調べたところ、形によって切れやすさが変わることが分かった。

研究動機および目的

糸を引っ張ると、ある程度の大きさの力で切れる。そのときの力の大きさは常に一定であるのか、また、糸が切れる位置はどこなのか、すなわち糸の端、中央付近、それともランダムな場所なのかということに疑問に思い、この研究を始めた。

初めに糸が切れる場所について調べ、次に糸の長さで糸が切れる時の力の大きさの関係について調べた。さらに、糸が切れる際の結び目の有無や位置による影響、および結び目で切れやすい原因を調べた。これらを通じて、糸の切れる仕組みを明らかにすることを目的とした。

第1章 糸が切れる場所について

仮説 I

ある一定の力で糸を引くとき、糸にはどの場所にも同じ力がかかるため、糸を引いたときに切れる場所はランダムになるのではないか。

実験1 糸への力のかかり方について

1-1. 目的

糸を引くときに、どの場所に力がかかるのかを調べる。

1-2. 方法

ばねばかりを直列に4個つなぎ（図1）両側に引っ張る。そのとき、それぞれのばねばかりが示した値を調べる。

1-3. 結果

どのばねばかりも同じ値を示した。

1-4. 考察

ばねばかりがどれも同じ値を示したことから、糸を引くときはどの場所にも同じ力がかかることが分かった。

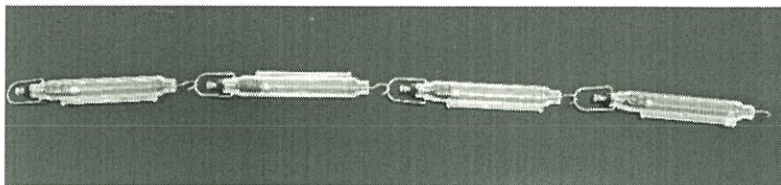


図1 ばねばかりの直列つなぎ

実験2 糸が切れる場所の調査 1. 糸を輪の形にして留める場合

2-1. 目的

実験のしやすい100 cmの糸を用いて、どの場所で糸が切れやすいかを調べる。

2-2. 方法

100 cmの糸を、輪の形に結ぶための長さ20 cmを増やし、両端を輪の形に結び、結び目から結び目の間を100 cmの長さにする。そして、片側を壁にひっかけ、もう片方をボールペンにひっかけて引っ張って切る。この時、壁側の結び目を0 cmとし、そこから何cmの場所で切れたかを100回測定する。

なお、実験に使用したのは(株)フジックス、シャップスパンミンシス糸#60 (z) 3cord (図2)であり、これ以降の実験もこの糸を用いた。

2-3. 結果

100 cmの糸を100回切った時の切れた場所のヒストグラムは図3のようになり、糸は両端で切れることが多いことが分かった。

2-4. 考察

図3から、糸は両端が切れやすいことが分かった。しかし、実験をしていると、糸が切れる時に結び目で切れていることが多かった。つまり、糸の結び目は弱いということが分かった。

このことから、糸を固定する時に結び目を作らないように実験方法を変える必要があると考えられる。

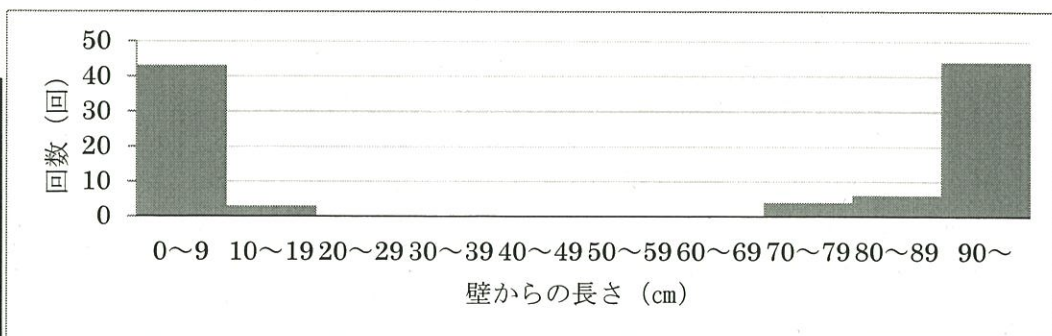


図2 (株)フジックス、シャップスパンミンシス糸#60 (z) 3cord (左)

図3 100 cmの糸を100回切ったときの切れた場所のヒストグラム (右)

実験3 糸の切れる場所の調査 2. 糸を巻き付けて留める場合

3-1. 目的

実験2の糸を結んでひっかける方法では、結び目で切れることが多かった。そのことから結び目が弱く、そこに力がかかって糸が両端で切れているのだと考えた。そこで、結び目を作らない方法として、糸のそれぞれの端をボールペンに巻き付けて引っ張り、同じ実験をすることにした。

3-2 方法

100 cmの糸を巻き付けるため長さ30cm増やし、合計130cmの糸を用意し、糸の両端をそれぞれ5回ほどボールペンに巻き付け、その間が100 cmになるようにする。そして二人で両端を引っ張り、片方の端から何cmの場所で切れたかを200回測定する。なおこの片方の端は統一することにする。

3-3. 結果

100 cmの糸を巻き付けて200回切った時の切れた場所のヒストグラムは図4のようになり、糸はランダムに切れることが分かった。

3-4. 考察

実験3の結果、糸の切れる場所はランダムであるといえることから、仮説Iは正しいことが証明された。予想どおり実験2で両端が切れることが多かったのは、結び目が弱くそこに力がかかったからだということが考えられる。

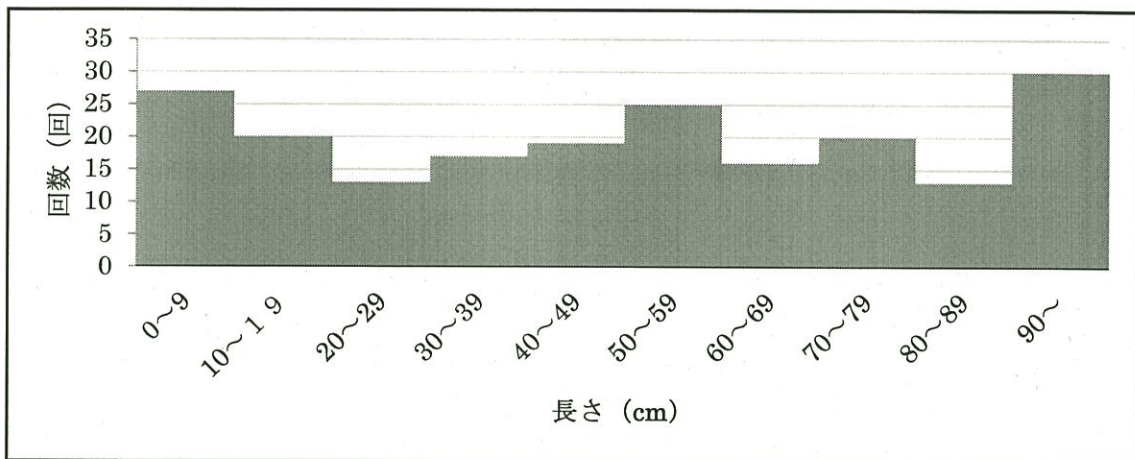


図4 100cmの糸を巻き付けて200回切ったときのヒストグラム

第2章 糸の長さや糸が切れる力の大きさの関係について

仮説II

ある一定の力で糸を引くとき、糸にかかる力はどの場所でも等しい。その場合、糸の長さは関係なく、どの長さでも同じ力で切れるのではないか。

実験4 糸の長さや切れる力の関係

4-1. 目的

糸の長さによって切れる時の力の大きさは違うのかを確かめるため、200cmの糸と20cmの糸がそれぞれ何Nの力で切れるのかを調べる。

4-2. 方法

200cmの糸と20cmの糸を、巻き付けるため長さを30cm増やして切り、糸の端をそれぞればねばかりとボールペンに巻き付け、ニュートンばかりに巻き付けた場所とボールペンに巻き付けた場所の間をそれぞれ200cmと20cmの長さにし(図5)、引っ張り100回切る。その時の力の大きさを測定し、平均を求めて比べる。

4-3. 結果

200 cmの糸を100回切った時、及び20 cmの糸を100回切った時のNのヒストグラムはそれぞれ図6、図7のようになった。二つの図からどちらも約12Nで切れる場合が多いことが分かった。平均を求めると200cmが11.755Nで20cmが11.82Nだった。

4-4. 考察

200 cmの糸と 20 cmの糸の切れる強さはどちらも約 12N であった。これは糸を引っ張る時、糸にはどの場所にも同じ力がかかっているためだと考えられる。このことから仮説Ⅱの通り糸の長さが違っていても切れる時の力の大きさは同じであるといえる。今回の実験では長さの差がそこまで広くないので、もう少し差を広げれば差が出てくるかもしれない。

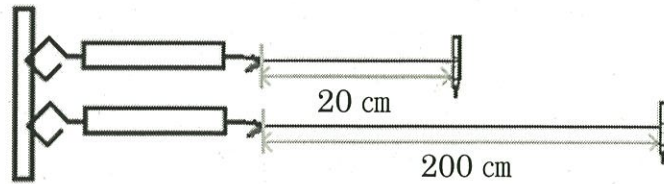


図5 ニュートンばかりを用いた測定方法

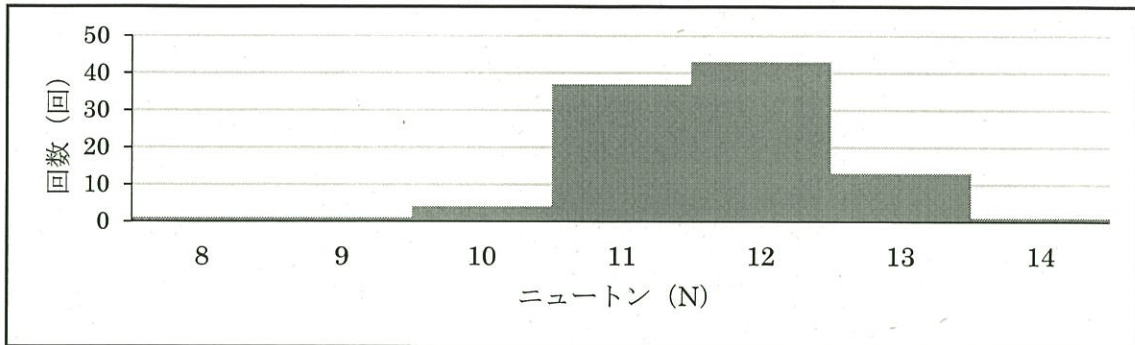


図6 200cmの糸を100回切った時のヒストグラム

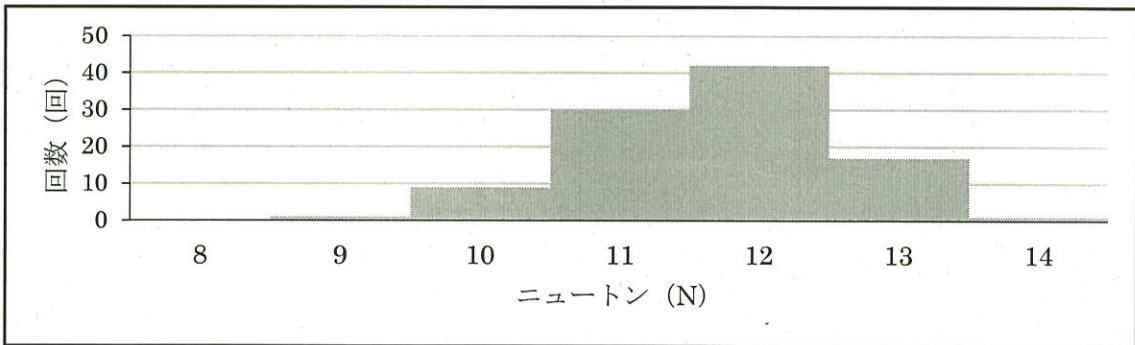


図7 20cmの糸を100回切った時のヒストグラム

第3章 糸が切れる時の結び目の影響

仮説Ⅲ

糸に結び目がある場合、糸は圧迫され結び目がどこにあろうとも結び目で切れるのではないだろうか。

実験5 結び目の位置による切れ方の違い

5-1. 目的

これまでの実験により結び目は弱いことが分かった。そこで、結び目がどこにあると糸が切れやすいのかを明らかにすることを目的として実験を行った。

5-2. 方法

結び目は真ん中にある時と、端の方にある時のどちらが切れやすいかを比較するため次の実験を行った。

結び目が糸の真ん中にある時の実験方法は次のようにする。まず、100 cmの糸を巻き付けるための長さ 30 cmを増やした 130 cmの糸を用意し、次にその切った糸の真ん中を結んで結び目を作り、そこに赤い印をつける。そして結び目を作った糸の片方の端をボールペンに 5 回ほど巻き付け、もう片方の端をばねばかりに 5 回ほど巻き付ける。それを引っ張って切り、その時の力の大きさと結び目の場所で切れたかを 100 回測定し平均を求めて比べる。

結び目が糸の端の方にある時の実験方法は次のようにする。まず結び目が糸の真ん中にある時の実験方法と同じ長さの糸を用意する。次にボールペンに糸を5回ほど巻き付けた際に、ボールペンに巻き付けた端から25 cmになる場所に結び目を作り、そこに赤い印をつけ、ボールペンに5回ほど巻き付ける。もう片方の端をニュートンばかりに5回ほど巻き付け、結び目が糸の真ん中にある時と同じように切り100回測定し平均を求めて比べる(図8)。

5-3. 結果

結び目を糸の真ん中に作った時の結果は図9のようになった。図9より、糸は100%の確率で結び目の場所で切れていることが分かった。また、平均のニュートンは6.995 Nだった。結び目の位置を変えた場合は図10のようになった。図10も100%の確率で結び目の場所で切れていた。また、平均のニュートンは7.535354 Nになった。

2つの表より、結び目が糸のどこにあっても100%の確率で結び目がある場所で糸が切れていることが分かった。また、図9と図10のどちらも糸は同じ力で切れていることが分かった。

5-4. 考察

結び目が糸のどこにあっても結び目の場所で切れたことから、結び目を作った場所は他の場所よりも弱くなっていると考えられる。

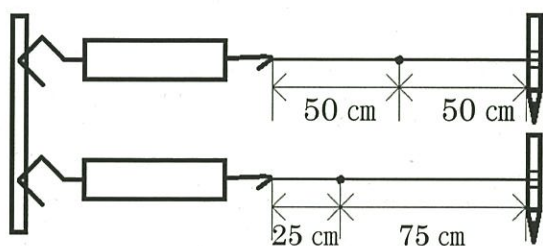


図8 結び目の位置と測定方法

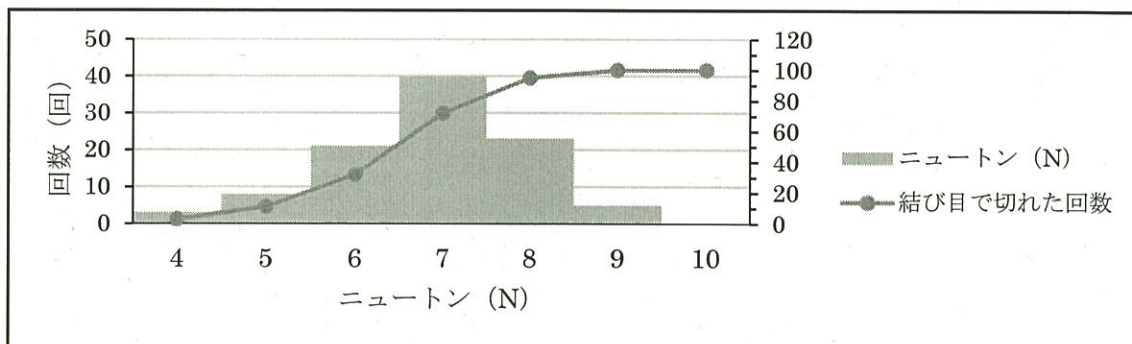


図9 結び目を糸の真ん中に作った場合の結び目で切れた回数とニュートンの組み合わせグラフ

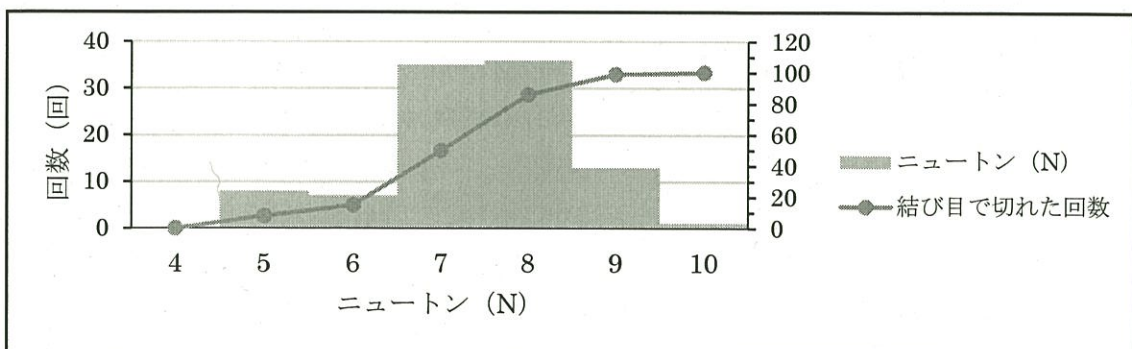


図10 結び目を糸の端の方に作った場合の結び目で切れた回数とニュートンの組み合わせグラフ

実験6 結び目が複数ある場合の結び目で切れる確率

6-1. 目的

実験5より結び目を糸のどこに作っても必ず結び目で切れることが分かった。そこで、糸に結び目が複数あったとしたら、糸は必ず結び目で切れるのかを調べることを目的に実験を行った。

6-2. 方法

90 cmの糸を巻き付けるための長さ 30 cmを増やした 120 cmの糸を用意する。その切った糸の片方の端から 45 cmの場所に結び目を作り赤い印をつける。その場所から 30 cm離れた場所に同じように結び目を作り赤い印をつける。結び目を作った糸の端をそれぞれボールペンとばねばかりに 5 回ほど巻き付ける (図 11)。それを引っ張って切り、その時の力の大きさと、どちらの結び目で切れたかを測定し 200 回実験し、平均を求めて比べる。

6-3. 結果

結び目を 2 つ作り 200 回切ると糸は 100%の確率で、結び目で切れるがボールペン側の結び目か、ばねばかり側の結び目で切れるかの確率はランダムであることが分かった (図 12)。

平均のニュートンは 6.885 Nで (図 13) 結び目が複数あったとしても、1 つの時と同じ力で切れることが分かった。

6-4. 考察

結び目が 2 つあったとしても結び目の場所でランダムに切れ、平均のニュートンは結び目が 1 つの時と同じことから、結び目がいくつ増えようとも結び目が 1 つの時の切れるニュートンから変わらないと考えられる。

今回の実験では結び目は 1 つしか増えていないため、結び目を増やせば差が出てくるかもしれない。

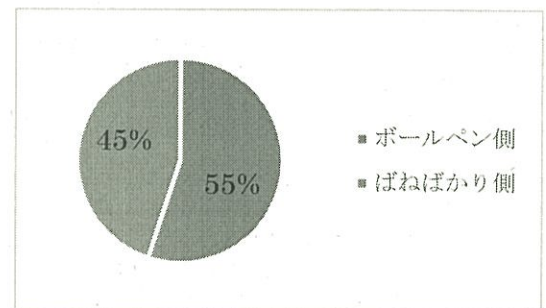
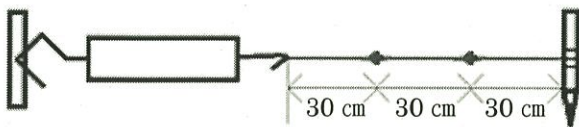


図 11 2 つの結び目の位置と測定方法 (左)

図 12 ボールペン側の結び目とばねばかり側の結び目で切れる確率 (右)

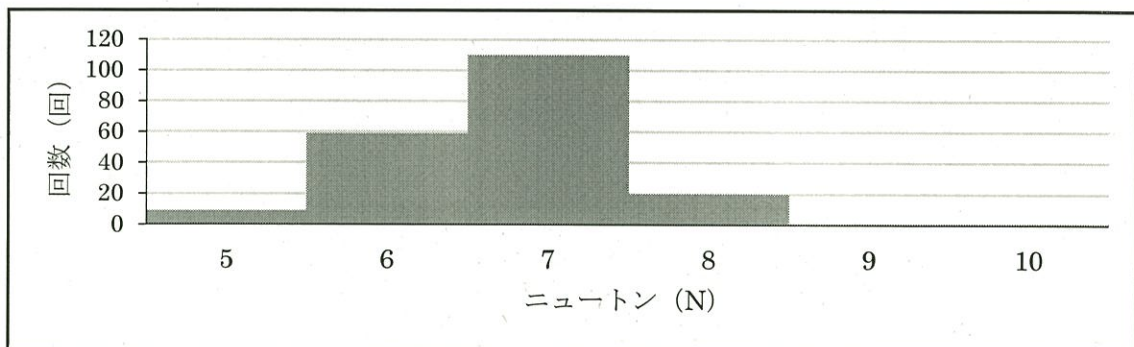


図 13 結び目を 2 つ作り切った時のヒストグラム

実験 7 結び目が引っ張られた状態の顕微鏡による観察

7-1. 目的

糸が切れる時に結び目はどのような状態なのかを顕微鏡で見てみる。

7-2. 方法

顕微鏡の接眼レンズにデジタルカメラ (CANON 製) を近づけ、糸を結んだ状態と結んだ糸を切れる直前まで引っ張った状態の写真を撮り、比較する。

7-3. 結果

糸を結んだ状態の顕微鏡写真を図 14、結んだ糸を切れる直前まで引っ張った状態の顕微鏡写真を図 15 に示した (100 倍)。糸を結んだ状態では、糸は同じ太さのままであったが、結んだ糸を強く引っ張ると結び目とその両脇が細くなっていた様子を観察することが出来た。

7-4. 考察

結び目を作った糸が引っ張られた時、結び目の場所とその両脇の糸が細くなっていた。このことから結び目で繊維が絡まりさらに引っ張られたことで繊維が細くなり、そこに力がかかりやすくなったため、切れやすくなったのではないかと考えられる。

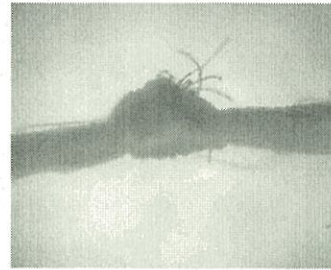
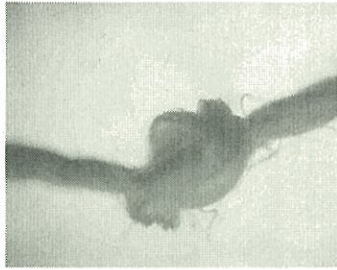


図 14 糸を結んだ状態の顕微鏡写真（左）

図 15 結んだ糸を切れる直前まで引っ張った状態の顕微鏡写真（右）

実験 8 結び目が切れる原因の解明

8-1. 目的

実験 7 より、糸を引っ張った時に結び目とその両脇の糸が細くなっていることが分かった。そこで糸をクリップで挟んで一部分を細くし、結び目で繊維が細くなった状態を作り出すことで、糸が細くなった部分に力がかかるために切れやすくなっているのかを調べることを目的とした。クリップで挟む位置は、糸の真ん中に挟んだものと、糸の 4 分の 1 の場所に挟んだものの 2 種類とし、挟む位置の違いによる影響も検討した。

8-2. 方法

糸の真ん中にクリップを挟んだものの実験方法は次のようにする。100 cm の糸を巻き付けるための長さ 30 cm を増やし、130 cm の糸を用意する。次にその切った糸の真ん中あたりに赤い印をつけ、印のところに目玉クリップを挟む（図 16）。クリップのついた糸の片方の端をボールペンに 5 回ほど巻き付ける。もう片方の端をばねばかりに 5 回ほど巻き付け引っ張って切り、その時の力の大きさと挟んだ場所で切れたかを測定する。これを 100 回繰り返す。

4 分の 1 の場所にクリップを挟んだものの実験方法は次のようにする。糸の真ん中にクリップを挟んだものと同じ長さの糸を作り、ボールペンに糸を 5 回ほど巻き付けた際ボールペンから 25 cm 離れた場所に赤い印をつけ、印のところに目玉クリップを挟む。次に糸の端をそれぞれボールペンとばねばかりに 5 回ほど巻き付け、引っ張って切る。

8-3. 結果

糸の真ん中をクリップで挟んだ時の結果を図 17、糸の 4 分の 1 の場所をクリップで挟んだ時の結果を図 18 に示した。クリップで挟む位置は糸の真ん中でも端の方でも、糸はクリップで挟んだところで切れることが多かった。その確率はそれぞれ 80% だった。

8-4. 考察

今回の実験結果より、糸をクリップで挟むことによって糸の繊維が圧迫されて細くなり、糸が切れてしまったということが明らかになった。つまり顕微鏡で観察されたように繊維が細くなった状態で糸が切れやすくなるということを示すことができた。

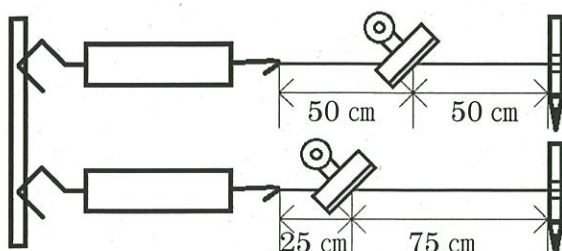


図 16 糸をクリップで挟んだ時の測定方法

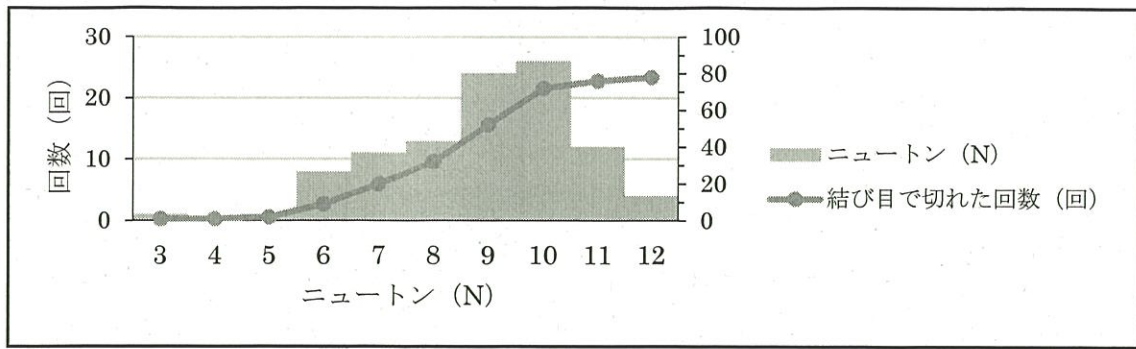


図 17 糸の真ん中をクリップで挟んだ場合挟んだ場所で切れた回数とニュートンの組み合わせグラフ

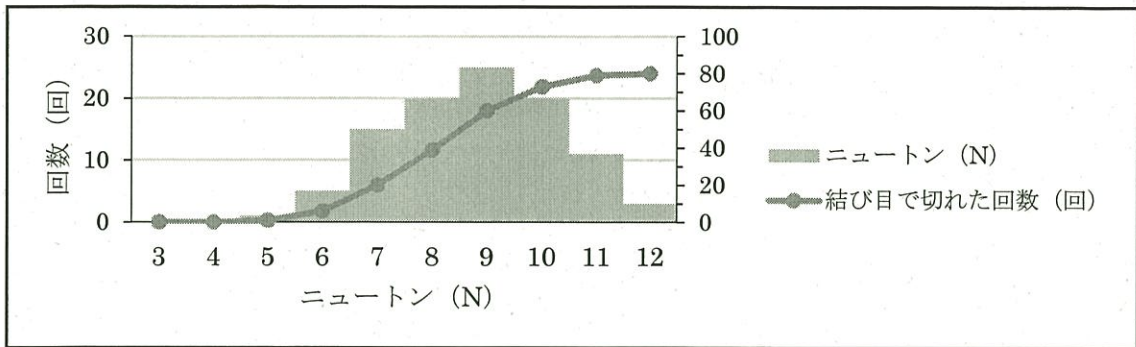


図 18 糸の4分の1のところをクリップで挟んだ場合挟んだ場所で切れた回数とニュートンの組み合わせグラフ

第 4 章 糸の本数を増やした場合について

仮説Ⅳ

ある一定の力で糸を引くとき糸を 3 本に増やした場合、力は 3 本に分散し、糸 1 本につきかかる力は 3 分の 1 になり切れる時の力は 1 本の糸が切れる力の 3 倍になるのではないか。

実験 9 糸を三本に増やし並列で切った場合

9-1 目的

糸の本数を増やしたら、切れる時の力はどのように変化するのか調べる。

9-2 方法

100 cm の糸を巻き付けるための長さ 30 cm を増やし 130 cm の糸を 3 本用意する。その 3 本の糸を並列に並べばねばかりとボールペンの間が 100 cm になるように糸の両端をそれぞれ 5 回ほど巻き付ける (図 19)。次に、糸を切りニュートンを測定する。これを 100 回行う。

9-3 結果

糸を三本に増やし並列で 100 回切った場合の結果は図 20 のようになり平均のニュートンは 31.83N で糸が 1 本の時の約 3 倍になることが分かった。

9-4 考察

糸を 3 本に増やした場合、力は 3 本に分散し 1 本につきかかる力は 3 分の 1 になったため、糸が切れる時の力が 1 本の場合より 3 倍強くなったと思われる。



図 19 糸を三本に増やした時の測定方法

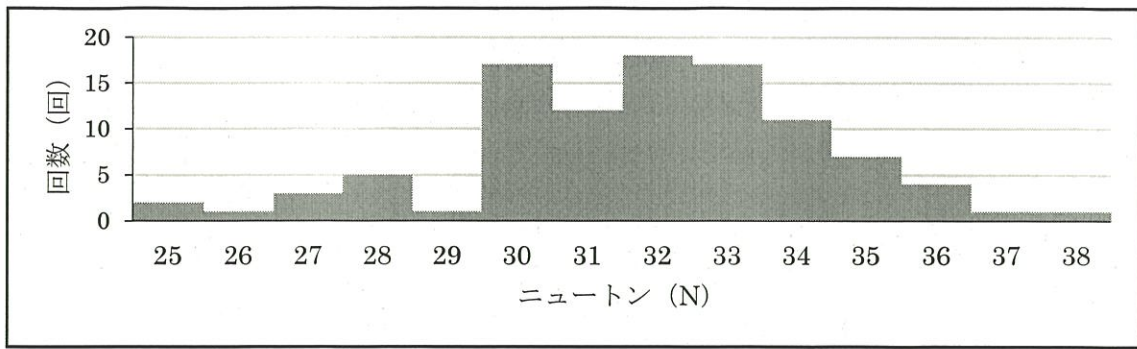


図 20 糸を三本に増やし並列で切った場合のヒストグラム

実験 10 糸三本を三つ編みにして切った場合

10-1 目的

糸を編むと強度はどれほど上昇するのかを調べる。

10-2 方法

三つ編みを編む際に 100 cm の長さまでミシン糸を編むのは難解と判断したため。実験 4 で糸の長さが違っていても切れる時の力の大きさは同じであるといえたので同じ長さ（何 cm かは問わない）の糸を 3 本用意し、三つ編みする。この糸の両端をばねばかりとボールペンにそれぞれ 5 回ほど巻き付け、糸を切りニュートンを調べる。これを 100 回行う。

10-3 結果

糸を三つ編みし、100 回切った時の結果は図 21 のようになり平均のニュートンは 27.11 N で、実験 9 の平均のニュートン 31.83 N と比較すると、弱い力で切れやすくなっていることがわかった。

10-4 考察

三つ編みをすると糸がこすれて摩擦したり、結び目のようなものができたりしてしまい、切れる時の力が弱くなってしまうのではないかと考えられる。

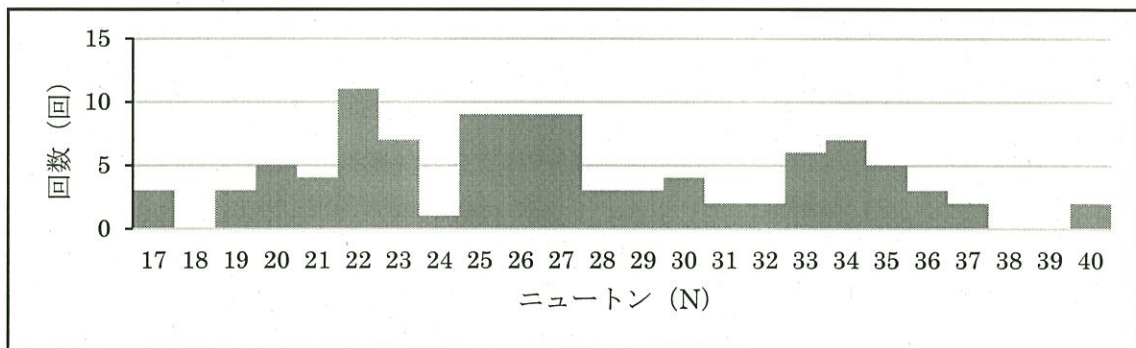


図 21 糸 3 本を三つ編みにして切った場合のヒストグラム

実験 11 糸三本を三つ編みにしてその糸に結び目を作った場合の結び目の影響

11-1 目的

実験 10 の考察では糸を三つ編みすると糸に結び目のようなものができ、切れる時の力が弱くなってしまわないかと考察したので、結び目を作り結び目で切れるのか、結び目ではない場所で切れるのかを調べることを目的とした。

11-2 方法

実験 10 と同じ方法で三つ編みを作り、その三つ編みの編み始めから 20 cm の場所に結び目を作る（図 22）。糸の両端をばねばかりとボールペンにそれぞれ 5 回ほど巻き付け糸を切りニュートンを調べる。これを 100 回行う。

11-3 結果

糸を三つ編みし、結び目を作り、100 回切った時の結果は図 23 のようになった。このことから三つ編みに結び目を作ったとしても結び目で切れることが分かった。

11-4 考察

糸を三つ編みにしても結び目の位置で切れたことから、三つ編みにした時よりも結び目を作った時のほうが、糸へのダメージが大きいと考えられ、三つ編みを編むと結び目ができるという仮説は誤りであることが分かった。

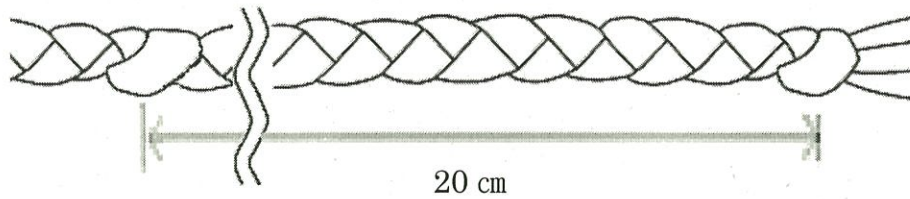


図 22 三つ編みに結び目を作った時の図

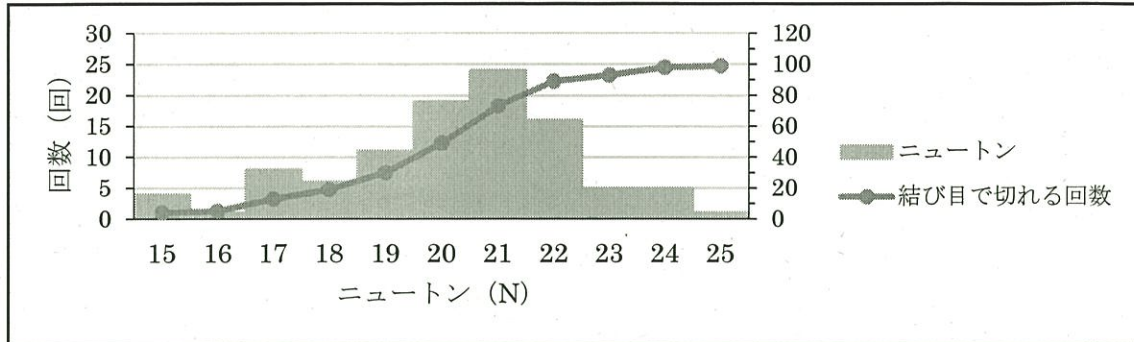


図 23 糸三本を三つ編みし切れた回数とニュートンの組み合わせグラフ

総括

第 1 章では、糸が切れる場所について調べた。その結果、糸にはどの場所にも同じ力がかかるため、糸を引いたときに切れる場所はランダムになるということが分かった。

第 2 章では、糸の長さや糸が切れる力の大きさの関係について調べた。その結果、糸の長さが違っていても切れる時の力の大きさは同じであるということが分かった。

第 3 章では、糸が切れる時の結び目の影響について調べた。つまり、結び目で切れやすい原因を調べた。その結果、結び目が糸のどこにあっても結び目があるところで糸が切れるということが分かった。また、どこに結び目があっても糸は同じ力で切れるということも分かった。さらに、結び目の数を増やすと、結び目の位置でランダムに切れ、結び目が一つの時と切れる力の大きさが変わらないことが分かった。

第 4 章では、糸の本数を増やした場合について調べた。つまり、三本の糸をさまざまな形に変え、切れ易さの違いを調べた。その結果、並列・三つ編みの順に切れる時の力が小さくなる（弱くなる）ことが分かった。

謝辞

この研究を行うにあたり、お忙しい中貴重なアドバイスをいただきました元科学部顧問の林 恭弘先生・科学部顧問の穴久保 隆先生に感謝申し上げます。また、実験に協力をしてくださった大磯中学校科学部の部員の皆さまに感謝いたします。