

重ねた紙による力の考察

福岡県立鞍手高等学校理数科

入江 彰太 田代 翼 畑田 一眞 福嶋 克斗

宮田 萌 山本 都里乃 吉田 脩人

指導教員 高倉 維

幼い頃の経験から、紙と紙を重ねたときにはたらく力がどのくらいのものかを高校の物理学を用いて検証した。オリジナルの実験装置を作成し、紙と紙が離れたときの吊り下げた重りの質量を記録すると、結果は2次曲線のようになった。そのため、2次曲線となったことを実験をモデル化することによって式で示すことにした。20枚の紙を重ねた際の結果こそ、結果とは異なったが、40枚～80枚の紙を重ねた際は2次関数の式で、紙と紙にはたらく力を式で表すことができた。

1. 研究動機

幼い頃に教科書を重ねたら取れなくなった経験があり、紙と紙を重ねることでどれくらい力まではずれないのかを物理を用いて調べようと思い研究をはじめた。

2. 実験器具

ルーズリーフ、糸、おもり、滑車、台、すべり止め、木の板、リング、ファイルのルーズリーフを挟む部分



3. 本研究の内容

《実験①》

紙を重ねた枚数を10×10枚、20×20枚、30×30枚、40×40枚と増やして、その時のおもりの質量を調べた。

(1) 実験方法

紙を一枚ずつ重ねたものにおもりをつるしていき、重ねた紙が外れたおもりの質量を記録する。

(2) 実験結果

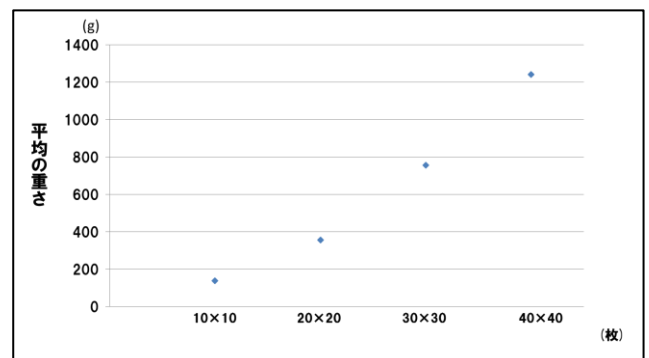
実験結果は下表の通りである。

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
10×10枚	140	130	150	140	138	138
20×20枚	350	320	370	360	380	356
30×30枚	800	750	750	750	730	756
40×40枚	1250	1200	1250	1150	1350	1240

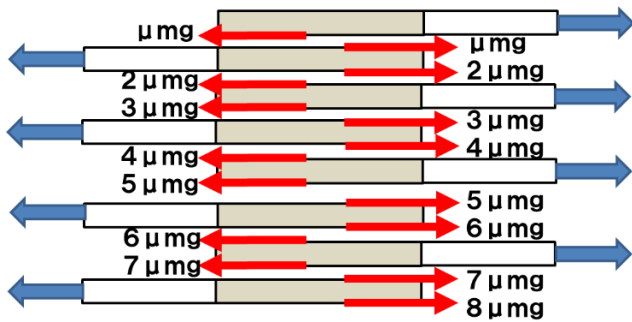
※単位はグラム (g)

(3) 考察

実験結果を重ねた紙の枚数とおもりの質量のグラフにまとめると下のような二次曲線となり、実験をモデル化することで、重ねた紙の枚数と重りの質量の関係が二次曲線になるのかを検証した。



下図にモデル化した図を示す。



一般式を作成すると以下ようになった。

$$F = x(x-1) \mu mg$$

X = 重ねた紙の枚数
 m = 1枚の紙の重さ (0.004 kg)
 g (重力加速度) = 9.8 m/s²

この式の正しさを検証するため、式に上記の文字 (X, m, g) に数値を代入し、実験①で測定したおもりの質量から F の値を求めて代入し、静止摩擦係数 μ を求めた。式が正しいのであれば、 μ の値はどの実験結果の値で計算しても、一定値をとる。計算結果は以下ようになった。

10×10枚	1.34 = 20(20-1) $\mu \times 4 \times 10^{-3} \times 9.8$ $\mu = 9.00 \times 10^{-2}$
20×20枚	3.56 = 40(40-1) $\mu \times 4 \times 10^{-3} \times 9.8$ $\mu = 5.82 \times 10^{-2}$
30×30枚	7.56 = 60(60-1) $\mu \times 4 \times 10^{-3} \times 9.8$ $\mu = 5.45 \times 10^{-2}$
40×40枚	12.4 = 80(80-1) $\mu \times 4 \times 10^{-3} \times 9.8$ $\mu = 5.01 \times 10^{-2}$

定数であるはずの μ にバラつきが見られた。

そこでこのバラつきの原因は、紙と紙を引っ張った際に紙と机や、紙と紙の間に空間が生じているからであると考えた。

《実験②》

(1) 実験方法

紙と紙の間に空間が生じないように、紙の上に紙と同じ大きさの木の板を乗せ、紙が机から浮かないようにして実験を行った。実験①と同様におもりをつるしていき、紙が離れた際のおもりの質量を記録する。

(2) 実験結果 ※単位はグラム (g)

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
10×10枚	850	750	800	750	788
15×15枚	1550	1500	1450	1350	1463
20×20枚	2700	3000	2650	2500	2713

(3) 考察

実験①と同様に、実験結果から一般式を作成し、静止摩擦係数 μ を計算して求めた。

$$F = 2\mu \left[\frac{1}{2n(n-1)} m + (n-1)M \right] g$$

M = 木の板の質量 (0.076 kg)

10×10枚	$\mu = 4.65 \times 10^{-2}$
15×15枚	$\mu = 5.03 \times 10^{-2}$
20×20枚	$\mu = 6.28 \times 10^{-2}$

計算の結果、実験①同様、一定値をとるはずの静止摩擦係数の値が変化していた。

《実験③》

実験①、②では、考えていなかった床と紙の摩擦力が原因であると考え、床と紙の静止摩擦係数 μ の値を計算した。

(1) 実験方法

紙を一枚の上に重りとなる板を置き、おもりをつるしていき、紙が床から動き出した際の、つるしたおもりの重さを測定した。

(2) 実験結果

静止摩擦係数を出すために装置を用いて実験すると、紙と机の間の静止摩擦係数 μ_0 は

$$\mu_0 = 0.425$$

(3) 考察

紙と机の間の摩擦力を加味して、実験①の式を用いて計算をし直すと以下の結果になった。

10×10枚	$\mu = 0.0657894$
20×20枚	$\mu = 0.0461538$
30×30枚	$\mu = 0.0461864$
40×40枚	$\mu = 0.0436708$

計算結果より、20×20枚以降の μ の値の変化がほぼなくなった。

4. 結果

20×20枚以降の μ の値が一定になったことから、ある程度の紙の質量であれば、紙の枚数と摩擦力の関係は二次関数になると考えられる。よって、 $F = x(x-1) \mu mg + \mu_0 x mg$ を用いると紙と紙が外れる時の力の大きさを計算して出すことができると考えられる。

今後は、10×10枚の結果だけ、なぜ一定値をとらなかったのかを検証していく。