

レポート表題

3つの異なるアプローチによる動摩擦係数・静止摩擦係数測定

第1チャレンジ番号 : **1 5 4 1 0 0 4**
 (※1)

(※1) 第1チャレンジ番号を必ず記入してください。
 第1チャレンジ番号は、6月中旬頃参加申込者の自宅宛に郵送します。

氏名 : 北濱駿太

学校名又は
卒業校名 : 岡山県立倉敷天城高等学校 学年 : 2年

学校のある
都道府県名 : 岡山県 実験をした場所 : 本校物理教室

共同実験者 (共同で実験を行った人がいる場合に記入してください。)

氏名:	学校名・学年:
篠原俊輔	岡山県立倉敷天城高等学校 1年
○小端佑一郎	〃 "
秦悠己	〃 "
宮園直毅	〃 "
園田健汰	〃 "
赤崎涼太郎	〃 "
○末長祥一	〃 2年
○小野尾俊介	〃 "

実験課題に取り組んだ感想を書いてください。

時間不足で、まだ“まだ”つきめるべき部分がまだ多くある。

摩擦係数は非常に多くの要因に応じて変化するので、やりがいのある面白い課題であった。

参加申込み、および実験レポート送付の際には、下のラベルを切り取り封筒に貼って宛名として利用することができます。

参加申込書送付用ラベル

〒192-0081
 東京都八王子市横山町10-2 八王子SIAビル 2F
 (株)教育ソフトウェア内
 科学オリンピック共通事務局 物理チャレンジ係 行
 (参加申込書在中)

実験課題レポート提出用ラベル

〒162-8601
 東京都新宿区神楽坂1-3 東京理科大学内
 特定非営利活動法人
 物理オリンピック日本委員会 行
 (実験レポート在中)

A

3つの異なるアプローチによる動摩擦係数・静止摩擦係数測定

北浜駿太

岡山県立倉敷天城高等学校 理数科 2年

目次

実験の概要 ······ 3

第一部 直接摩擦力の大きさを測定する手法：湿度と摩擦力の関係 ······ 3

1 目的

2 理論

3 実験 1：手で引っ張る方法

3-A 実験装置

3-B 実験手法

3-C データ処理方法

3-D 実験結果

3-E 考察

4 実験 2：回転台を使う方法

4-A 実験装置

4-B 実験手法

4-C データ処理方法

4-D 実験結果

4-E 考察

5 実験 3 湿度と摩擦力の関係

5-A 実験装置

5-B 実験手法

5-C データ処理方法

5-D 実験結果

5-E 考察

6 今後の展望

第二部 摩擦角を用いた静止摩擦力の測定 ······ 14

1 目的

2 理論

good

3 実験 1 : 自作の摩擦角測定装置による静止摩擦力の測定

3-A 実験装置

3-B 実験手法

3-C データ処理方法

3-D 実験結果

3-E 考察

4 実験 2 : 接地面積による静止摩擦力の変化

4-A 実験装置

4-B 実験手法

4-C データ処理方法

4-D 実験結果

4-E 考察

5 今後の展望

~3~318 面 18

第三部 オイラーのベルト理論を利用した静止摩擦力の測定 · · · · 19

1 目的

2 理論

3 実験

3-A 実験装置

3-B 実験手法

3-C データ処理方法

3-D 実験結果

3-E 考察

4 今後の展望

結論 · · · · · · · · · 24

参考文献 · · · · · · · · · 24

謝辞 · · · · · · · · · 24

付録 · · · · · · · · · 25

実験の概要

摩擦力は物体同士が擦れ合ったときに発生する境界面に平行で運動方向に対して逆向きの力である。摩擦力には静止摩擦力と動摩擦力の2種類があり、中でも最大静止摩擦力と動摩擦力は垂直抗力に比例することが知られている。この比例定数はそれぞれ最大静止摩擦係数、動摩擦係数と呼ばれており、物体固有の値であると定義されている。これら摩擦係数は接地面の材質はもちろん、表面の状態、周りの環境など様々な要因によって変化すると考えられる。

本実験では、大きく分けて3つの方法によって摩擦係数を測定し、それぞれの実験方法において精度や測定方法の長所・短所を評価した。また、発展的な実験として自作の装置を用いて湿度を制御したり、接地面積を変化させたりといった実験も行った。

第一部 直接摩擦力の大きさを測定する手法：湿度と摩擦力の関係

1 目的

第一部では、物体を引っ張ってニュートンばねはかりを用いて直接摩擦係数を測定する。実験1では手で引っ張る最も原始的な方法をとった。さらに、実験1で浮上した問題点を解決するために回転台を用いるという改良を加え、実験2を行った。

ところで、高校物理の教科書の様々な物質の摩擦係数を示した資料には、(dry)という但し書きが付されている。これは、摩擦係数が湿度によって変化するためと考えられる。そこで、実験3では湿度と摩擦力の関係を明らかにするために自作の無菌室型密閉空間を作製し実験を行った。

2 理論

最大静止摩擦力 F_0 （簡略のため、以下では特に断らない限り単に静止摩擦力というものをとする）、動摩擦力 F はともに垂直抗力に比例し、それぞれ静止摩擦係数 μ_0 、動摩擦係数 μ を用いて次のように表される。

$$F_0 = \mu_0 N \quad \dots \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{Eq. 1}$$

$$F = \mu N \quad \dots \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{Eq. 2}$$

物体を水平面上に置く場合、物体の質量を m 、重力加速度を g とすると、鉛直方向の力の釣り合いより

$$N = mg \quad \dots \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{Eq. 3}$$

と表されるので、これを Eq.1, Eq.2 に代入して

$$\mu_0 = \frac{F_0}{mg} \quad \dots \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{Eq. 4}$$

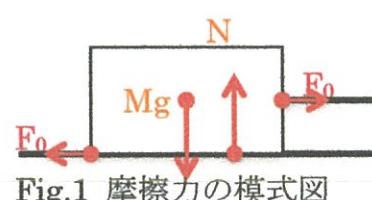


Fig.1 摩擦力の模式図

$$\mu = \frac{F}{mg} \quad \dots \dots \cdot \text{Eq. 5}$$

となり、 F , m を測定することで静止摩擦係数、動摩擦係数を測定することができる。

3 実験 1：手で引っ張る方法

3-A 実験装置

模造紙を四隅におもりを載せてぴんと張り、その上で実験を行う。実験対象には段ボールの上におもりを乗せた合計 282.4g の物体を使用した。

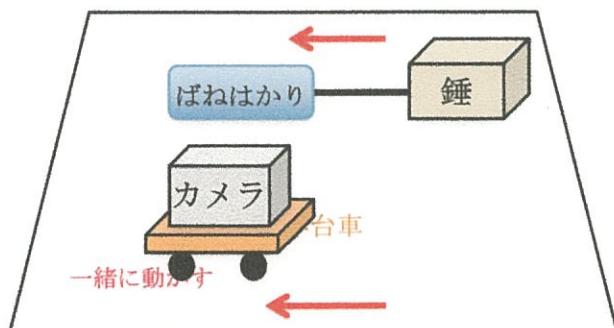


Fig.2 実験装置の模式図



Fig.3 実験装置の実体図

3-B 実験手法

1. 3-A に示した実験装置を用いて、模造紙上においてばねはかりと接続し、ダンボールに置いた錘を手で引っ張って動かし、ばねはかりの様子を力学台車に搭載したビデオカメラで撮影する。
2. 撮影した動画を Fig.4 に示すようにコンピュータで 1/30 秒ごと 2 秒間、計 60 個コマ送りして、ばねはかりの指示する力の大きさ [gw] を記録し、横軸を時間、縦軸を力の大きさとしてグラフを作成する。
3. 実験操作 1 ~ 2 を 6 回繰り返す。



Fig.4 画像解析の方法

3-C データ処理方法

グラフの概形は Fig.5 のようになると予想される。静止摩擦力はグラフのピークの点を読み取り、動摩擦力はグラフが平坦になったと認められる時刻からの摩擦力を時間軸に平行な直線で近似して求めれる。次に、Eqs. 4, 5 から静止摩擦係数、動摩擦係数

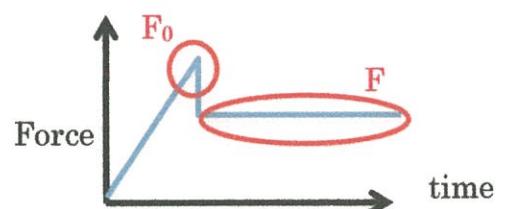


Fig.5 グラフの概形

をもとめる。

ばねはかりの誤差は最小目盛りの $1/2$ である 1gw とした。しかし、データ数が多くグラフが煩雑になるため、誤差棒はつけていない。

3-D 実験結果

グラフが煩雑になるため、線や誤差棒は付していない。スペースの都合で生データは付録に記載するものとする。

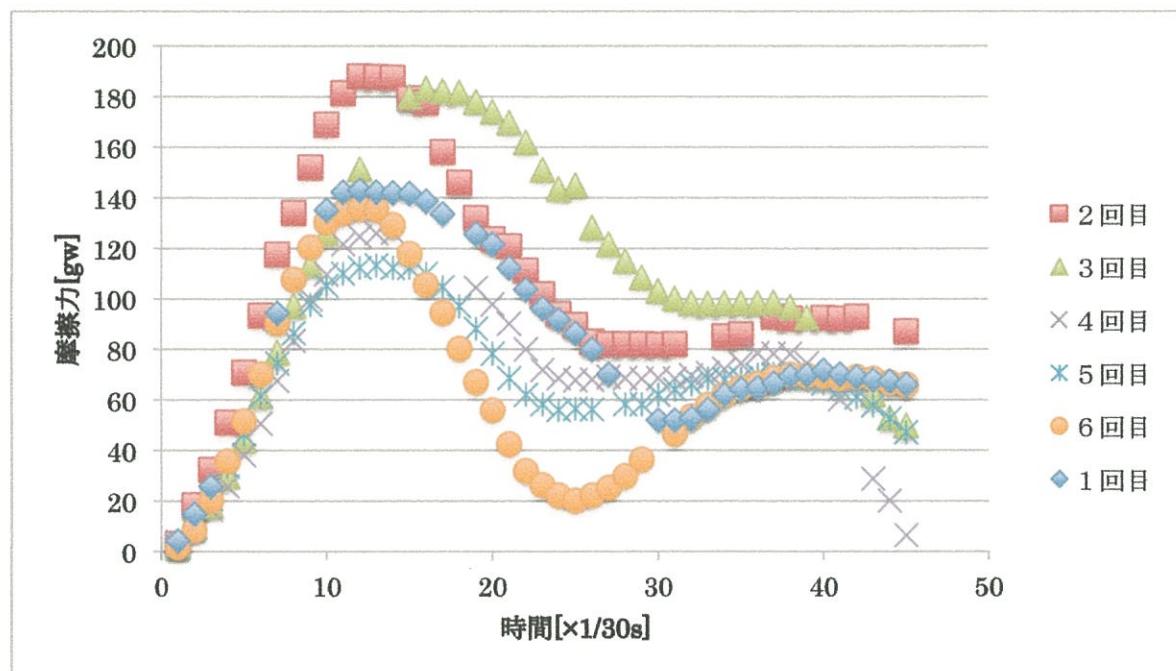


Fig.6 手で引いた時の摩擦力の時間変化

3-E 考察

3-C に示した方法でデータ処理を表計算ソフトによって行い、6回の測定値の標準偏差を誤差とすると、静止摩擦係数は 0.5 ± 0.1 、動摩擦係数は 0.27 ± 0.08 となった。静止摩擦力は誤差 20%、動摩擦力は誤差 30%と非常に精度が低くなったのは、引き方が一定ではないためと考えられる。Fig.6 を見ても、実験回数によってグラフの形に大きな違いが見られるのがわかる。

4 実験2：回転台を使う方法

実験1では手で引っ張ったために引き方が一定ではなく、精度が有効数字1桁程度にまで落ち込んでしまった。よって、木片をできるだけ一定の速度で滑らせることのできる装置が必要である。しかし、木片を一定の速度で引っ張るのは難しい。この問題の解決策として、動摩擦力がはたらくためには木片が床に対して滑れば良いという点に着目した。ベルトコンベアのようなもので床を一定速度で動かしてその上で木片を静止させれば良い。実験2では、動く床としてモーターの力で一定の角速度で回転する回転台を採用した。

4-A 実験装置

表面に模造紙を貼った回転台の上に木片を置き、糸と定滑車を用いて木片をばねはかりに接続する。木片は回転台に対して十分小さいので、回転台の回転運動は直線運動に近似できるものとする。

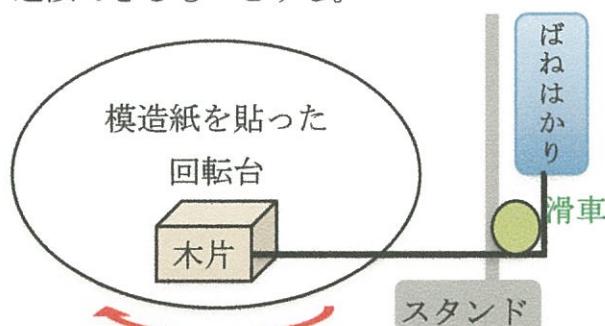


Fig.7 回転台実験装置の模式図



Fig.8 実際の実験の様子

4-B 実験手法

1. 中心からの距離 20cm の位置に木片を静置して Fig. のようにばねはかりに接続し、一定の角速度 5.6rad/s で回転台を回転させる。
2. ばねはかりの様子を定点ビデオカメラで撮影し、撮影した動画をコンピュータでコマ送りして、ばねはかりの指し示す力の大きさ [gw] を記録し、横軸を時間、縦軸を力の大きさとしてグラフを作成する。
3. 木片の上に載せるおもり (質量 10g) の個数を 0 ~ 9 個と変えることで重さを変化させ、各おもりの数について 1 ~ 2 の操作を 10 回繰りかえす。

4-C データ処理方法

実験1のセクション3-Cに示した方法と同様に静止摩擦力、動摩擦力を求めた後、横軸に木片とおもりを合わせた重さ、縦軸に静止摩擦力または動摩擦力をとり、グラフを作成する。Eqs. 4, 5より静止摩擦力、動摩擦力はともに垂直抗力に比例するので、こうして作成したグラフは原点を通る直線にフィッティングでき、その傾きが摩

擦係数を表す。

摩擦力の誤差はバネはかりの最小メモリの $1/2$ である 1gw とする。しかし、誤差棒については、グラフが煩雑になるため付していない。

4-D 実験結果

線をつけるとグラフが煩雑になるため、付けていない。実験によって得られたデータは膨大であり、ここにその全てを記載すると論理の展開を阻害するため、生データは付録に記載するものとする。

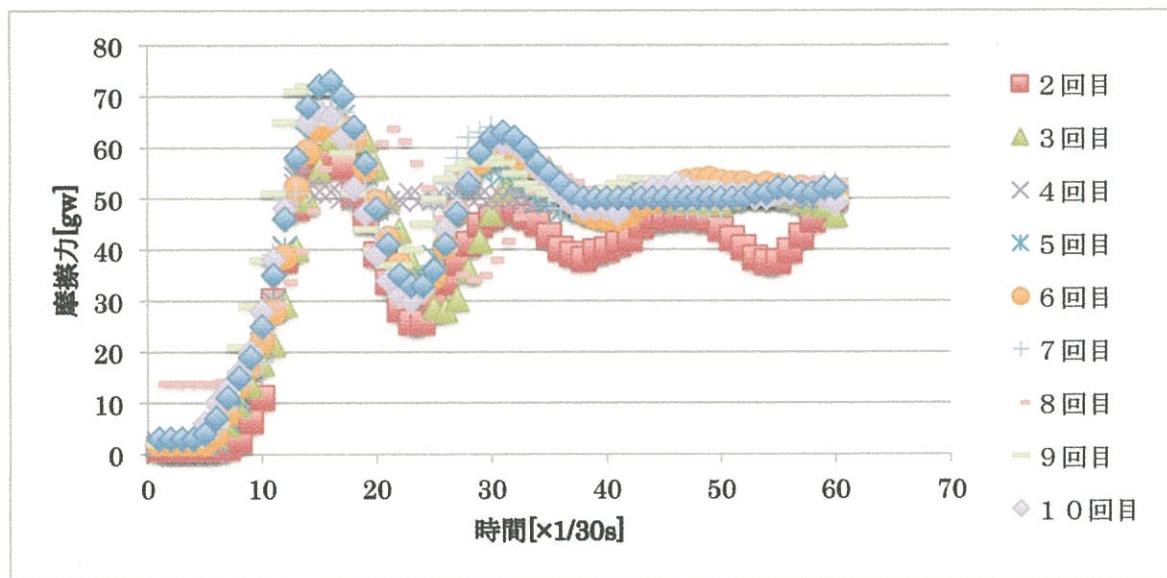


Fig.9 おもり 0 個

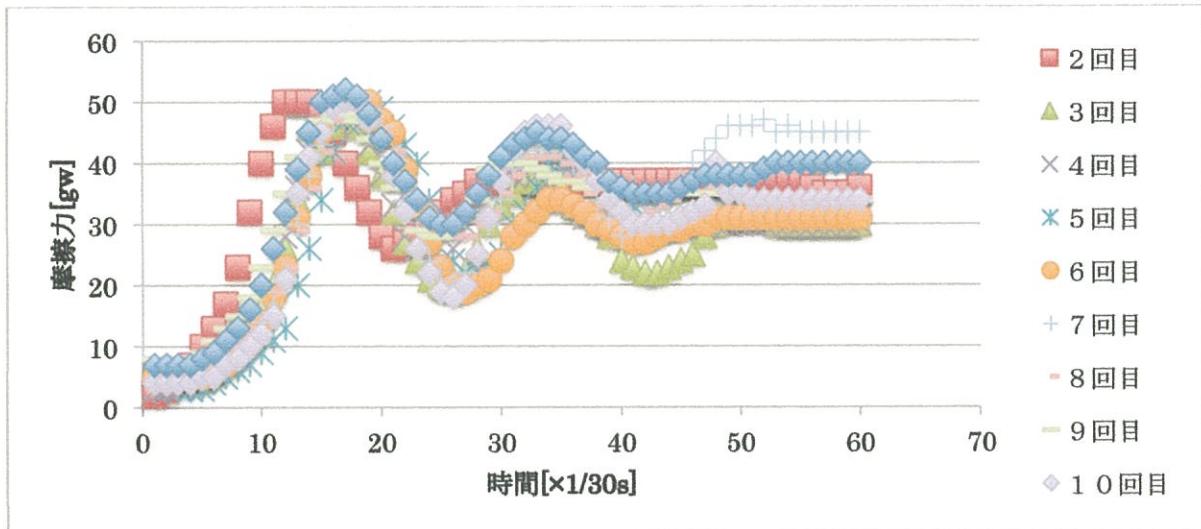


Fig.10 おもり 1 個

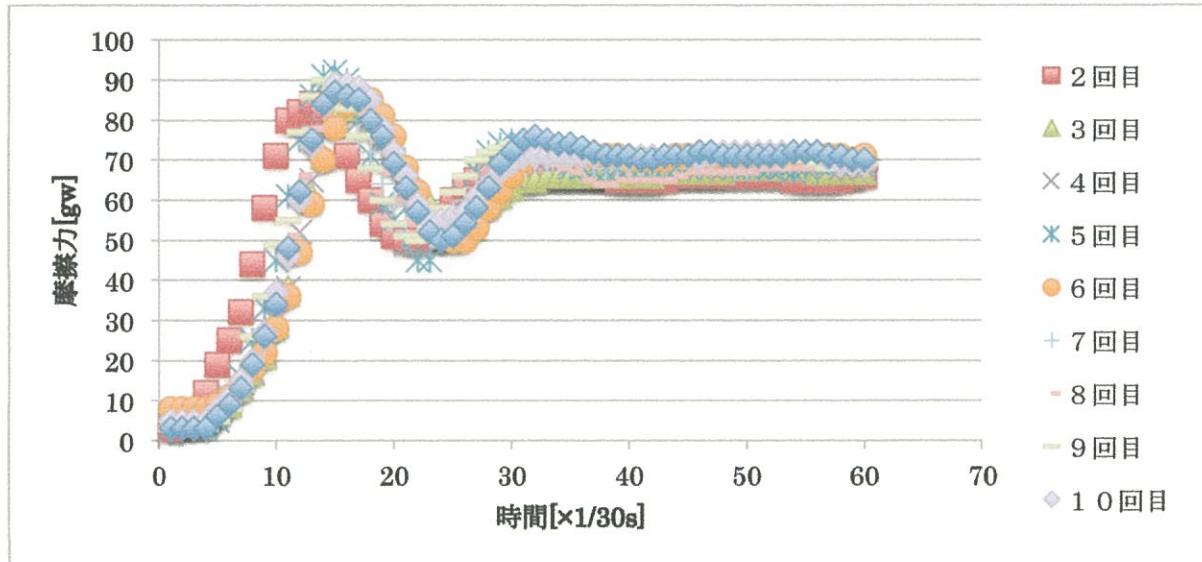


Fig.11 おもり 2 個

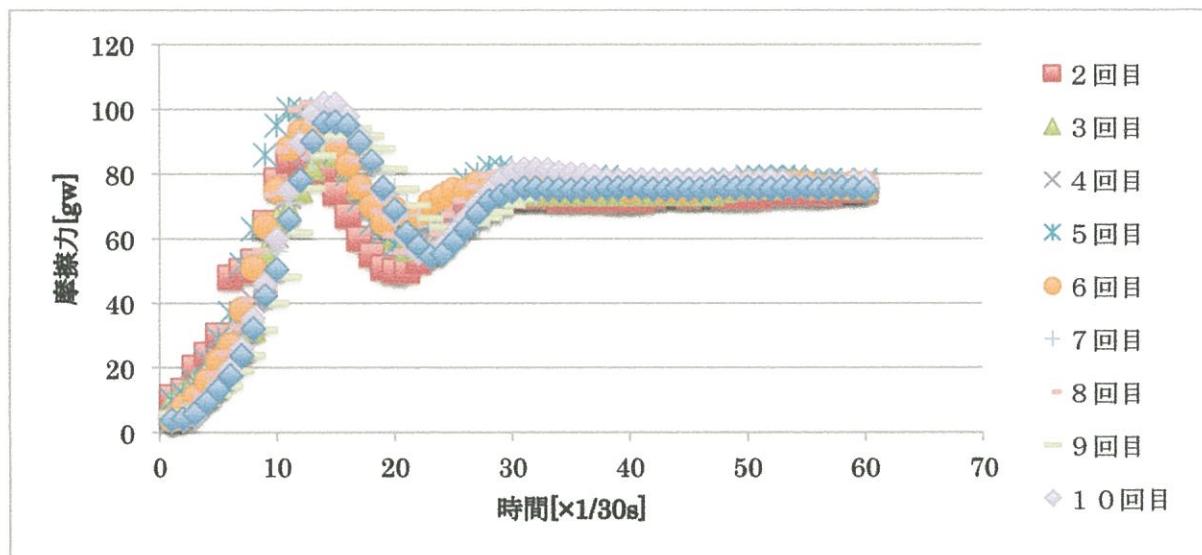


Fig.12 おもり 3 個

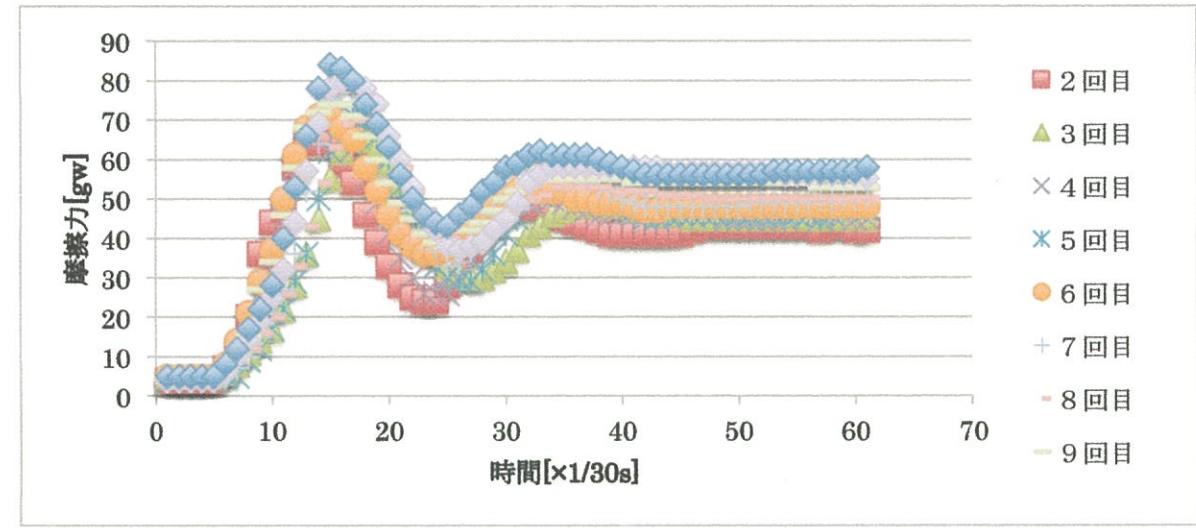


Fig.13 おもり 4 個

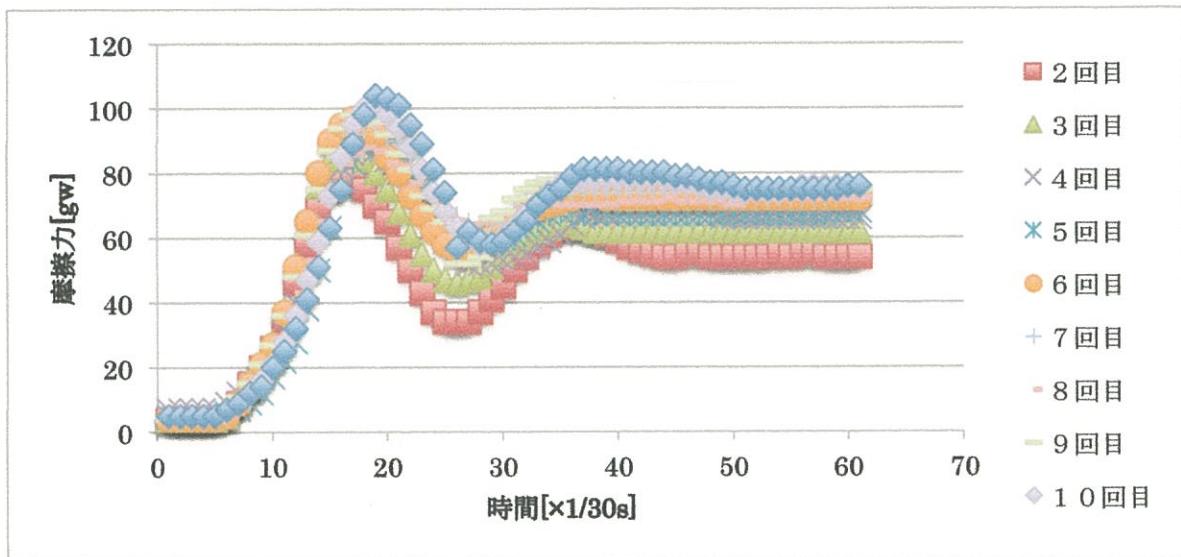


Fig.14 おもり 5 個

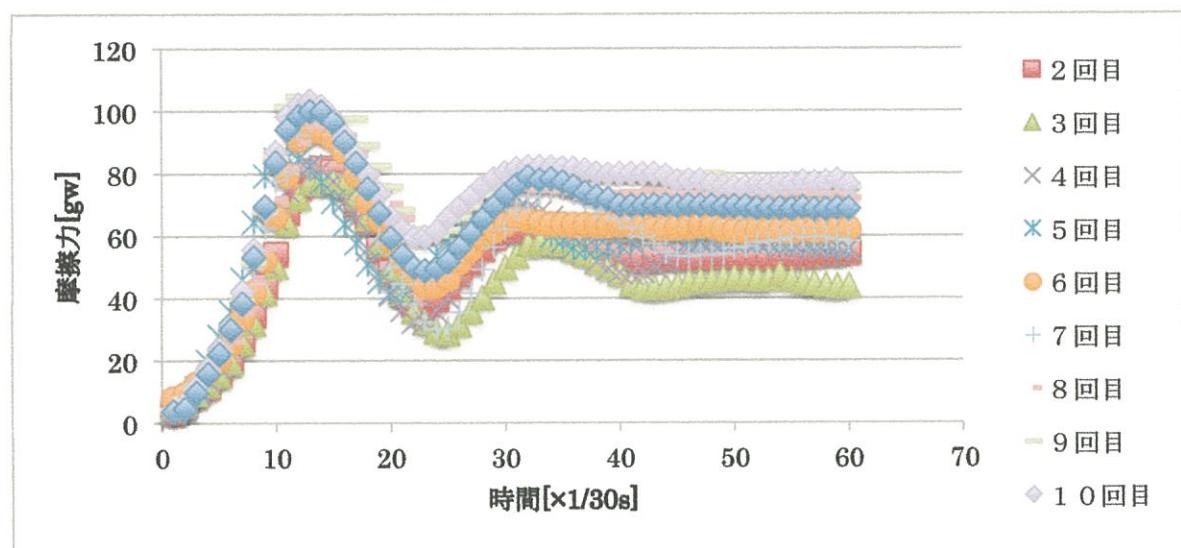


Fig.15 おもり 6 個

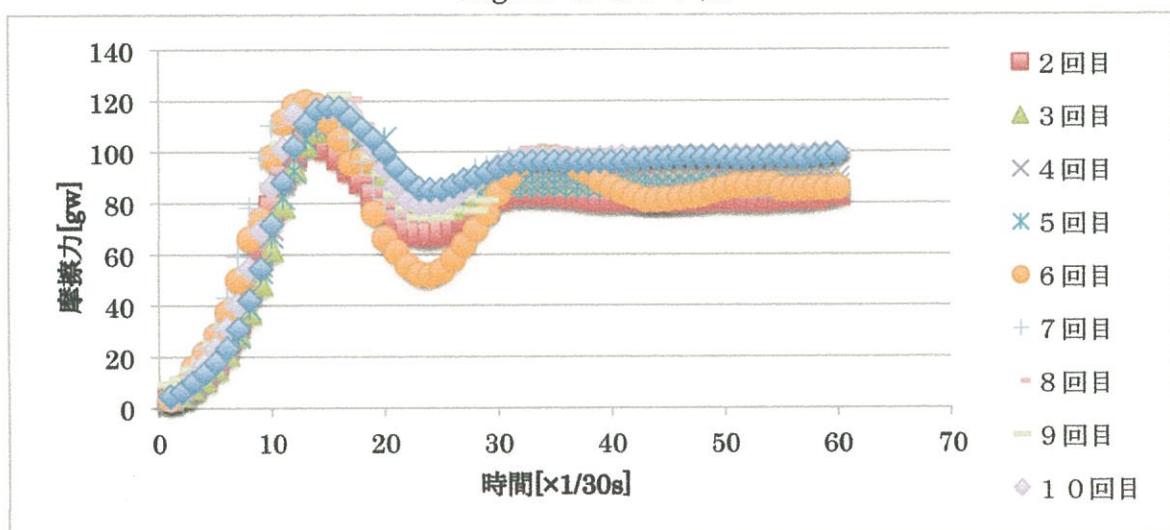


Fig.16 おもり 7 個

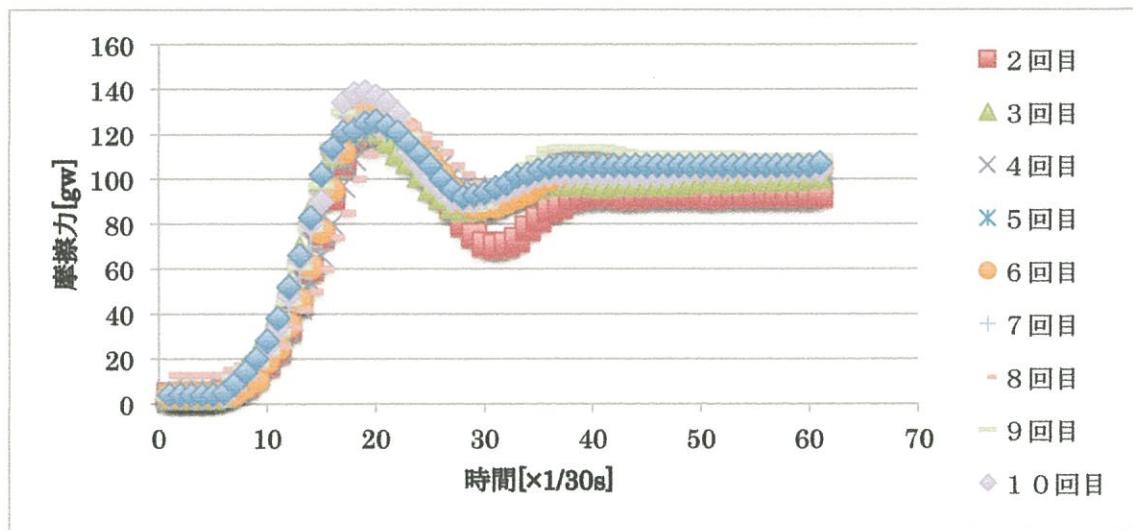


Fig.17 おもり 8 個

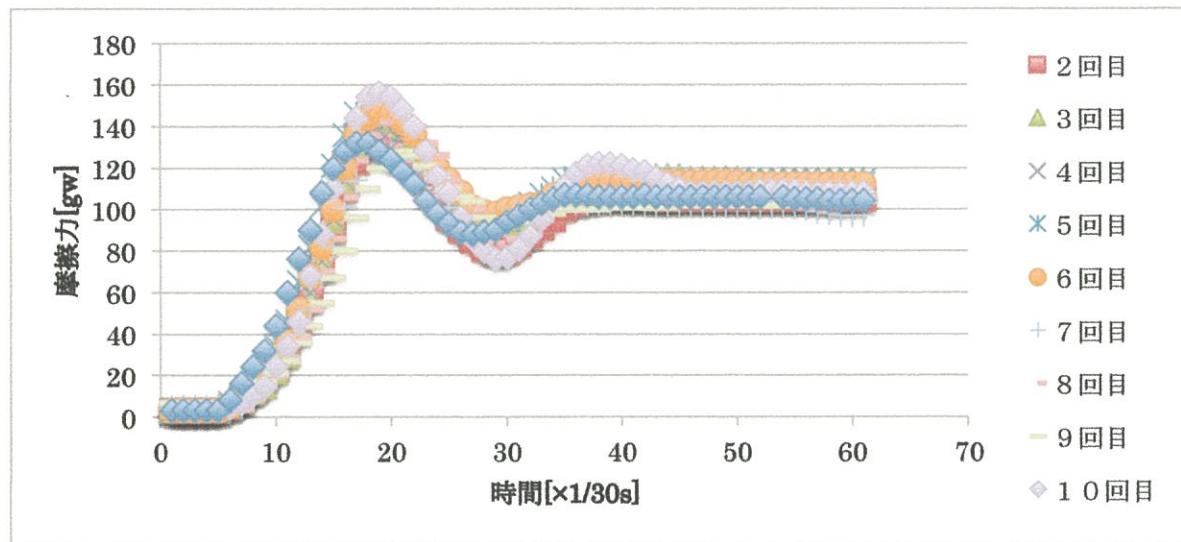


Fig.18 おもり 9 個

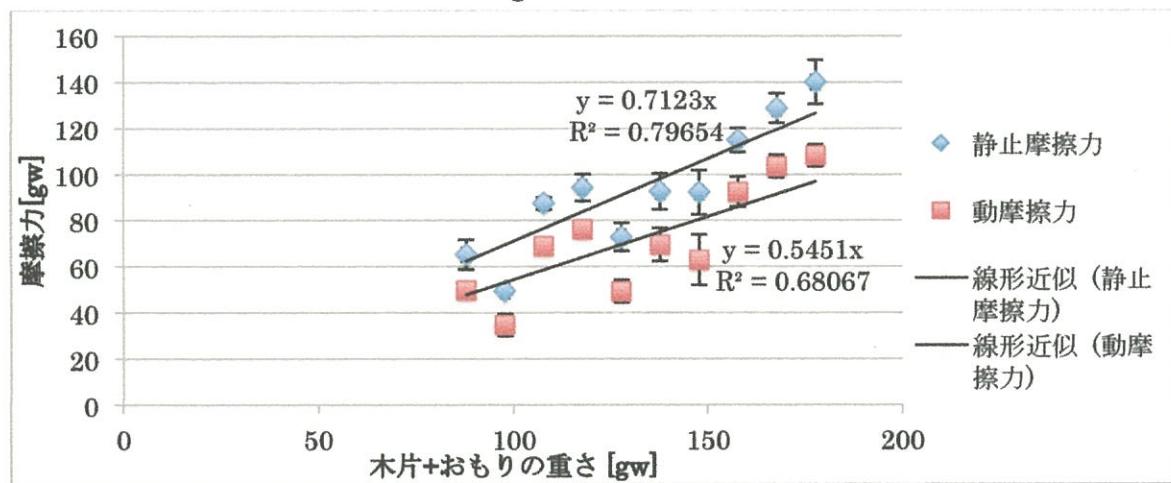


Fig.19 おもりの重さと摩擦力の関係

4-E 考察

Fig.19 の傾きより、静止摩擦係数、動摩擦係数を求める。標準偏差を誤差とする
と、静止摩擦係数は 0.80 ± 0.09 、動摩擦係数は 0.5 ± 0.1 と求めることができた。す
なわち誤差は静止摩擦係数で 11%、動摩擦係数で 20% と実験 1 よりは精密に求める
ことができた。しかし、誤差は依然として大きいためさらなる改善が必要であると考えられる。

また、グラフの形状に着目すると、理論では静止摩擦力から動摩擦力への移行は瞬
間的に起こると考えていたのに対し、実際には 0.3s 程度の時間をかけて滑らかに移
行していることが読み取れる。さらに、おもりの数が 0 個や 1 個の時には動摩擦力に
移行した際に摩擦力の大きさの揺らぎが見られたが、おもりの数が大きくなるにつれて
揺らぎが小さくなっていることがわかる。よって、動摩擦力は垂直抗力が小さい時
には値が定まりにくく測定が難しいが、垂直抗力を大きくすると値が収束しやすいと
考えられる。よって、動摩擦係数の測定はある程度十分な重さをもったおもりを使用
するとばらつきを小さくすることができるのではないかと考えている。

5 実験 3：湿度と摩擦力の関係

第 1 部や第 3 部で実験を行ううちに、晴れている日と雨の日とで、実験結果が異なる
ことに気づいた。そこで、摩擦係数には湿度も関係あるのではないかと考え、摩擦
力の湿度依存性を探る実験をすることとした。

5-A 実験装置

実験 2 と同様の装置で、自作の無菌室型密閉空間（以下、無菌室）の中で実験を行
った。無菌室は 90L のポリ袋を切り開いてガムテープで隙間のできないようにつな
ぎとめ、スタンドを骨格として壁と床に固定して作製した。無菌室内には加湿器と布
団乾燥機を設置し、湿度を制御できるように工夫した。また、無菌室内の湿度の偏り
をなくすために、送風機を設置し室内の空気をかき混ぜ、複数の湿度計を用いて湿度
が均一であることを確かめた。その結果、湿度の誤差は 1% であると見積もった。

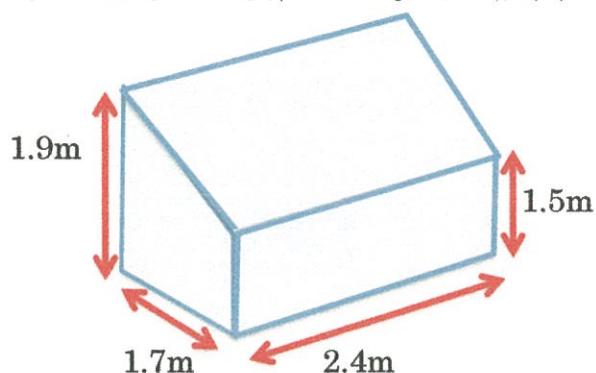


Fig.20 無菌室の大きさ



Fig.21 無菌室の実体図



Figs.22 無菌室の作製過程（左図）と無菌室内部の様子（右図）

5-B 実験手法

湿度を上げる時には加湿器を用い、湿度を下げる時には布団乾燥機を用いる。湿度を設定した加湿器ないしは布団乾燥機を無菌室内で作動させて、送風機で湿度を均一にしながら10~20分程度放置してから実験を行った。温度をできるだけ一定にするため、布団乾燥機を用いる際は乾燥空気吹き出し口に氷の入ったポリ袋を置いた。おもりと合計で質量が97.77gの木片をもちいて湿度を変化させて実験2と同様の実験を行い、各実験について無菌室内に設置した湿度計と温度計での温度[°C]と湿度[%]を記録した。

※実験中の無菌室は密閉空間であり、場合によっては高温・乾燥状態となる。そのため、安全上の対策として無菌室の中で実験する者はこまめに無菌室の中から出て深呼吸を行い、水分補給を行った。

5-C データ処理方法

実験1のセクション3-Cに示した方法と同様に静止摩擦係数、動摩擦係数を求めた後、横軸に湿度、縦軸に摩擦係数をとて散布図を作成し、摩擦係数の湿度依存性を評価する。

5-D 実験結果

12(レ.1は立季12)

様々な湿度を変化させ、実験2と同様のデータ処理を行った結果、次のような散布図が得られた。実験によって得られたデータは膨大であるため、各湿度でのグラフと生データは省略し、付録に掲載するものとする。

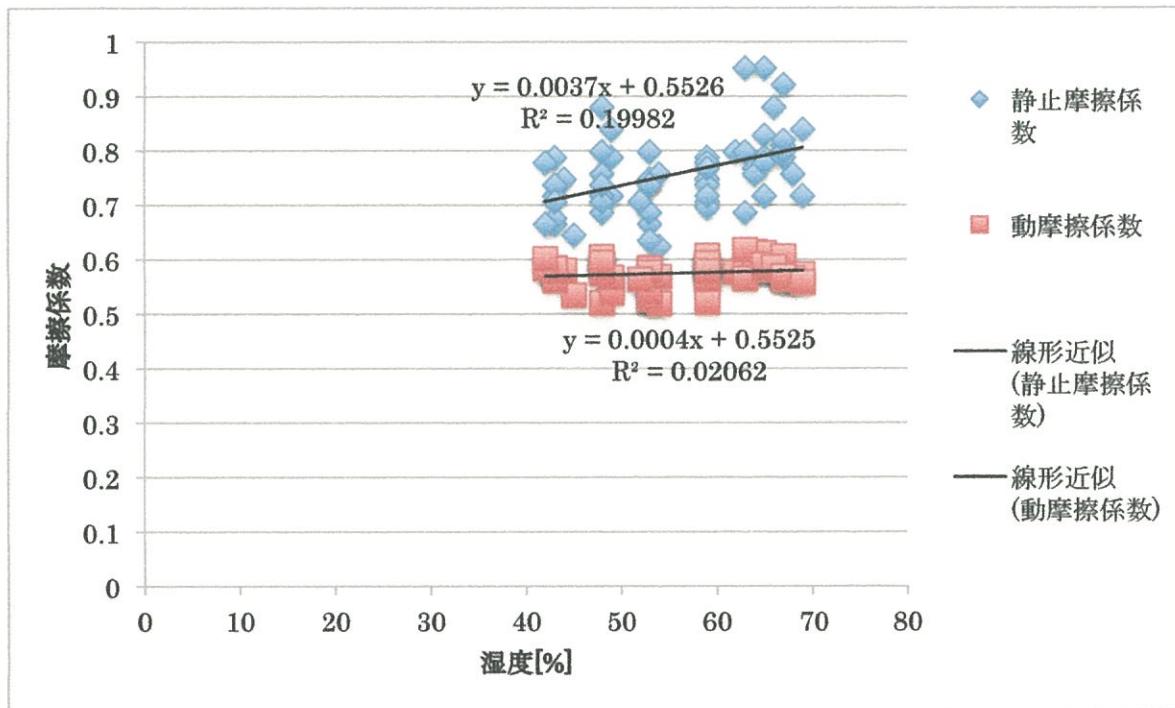


Fig.23 摩擦係数の湿度依存性

5-E 考察

Fig.23 より、静止摩擦力は湿度が大きくなると大きくなる傾向にあるが、動摩擦係数と湿度には相関が見られなかった。しかし、湿度が高くなると物体表面に付着する液体の水が多くなり静止摩擦力、動摩擦力ともに大きくなるはずであるから、この仮説に反する。この理由として、今回は加湿器と布団乾燥機で湿度を調節したため、湿度の実現範囲が 40~70%と狭く、大きな変化を見るのに十分な範囲のデータを得ることができなかつたためであると考えられる。より大きな範囲の湿度を実現するために、無菌室内で水を熱して蒸発させたるという方法を考えている。

6 今後の展望

今回は摩擦力の大きさを測定するのにはねばかりを用いた。しかし、ねばかりは最小目盛りが 2gw と大きく、摩擦力は 1gw 単位でしか測定できなかつた。そこで、木片と接続した糸を Fig.24 のように電子天秤に接続し、電子天秤の示す値の減少を測定することでより正確な摩擦力の値が測定できると考えられる。

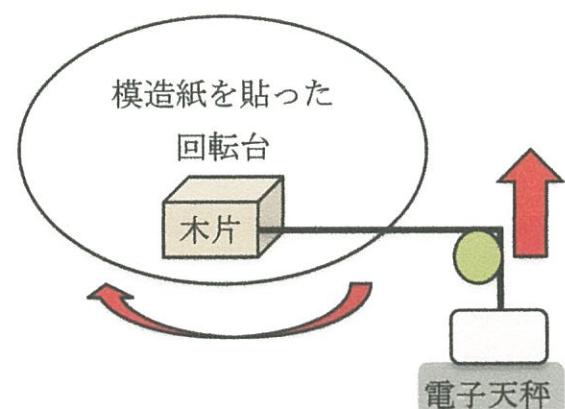


Fig.24 電子天秤を用いた方法

第二部 摩擦角を用いた静止摩擦力の測定：接地面積と摩擦力の関係

1 目的

粗い斜面に物体を静置し、斜面の傾きを大きくしていくと、ある角度に達したときに物体は滑り始める。この滑り始める角度は摩擦角と呼ばれていて、静止摩擦係数に依存する。第二部では、自作の微調節機構を盛り込んだ実験装置を用いて摩擦角から静止摩擦係数を測定することを目的とする。

ところで、接地面積と摩擦力の関係について考えよう。高校物理の教科書には、摩擦力は垂直抗力に比例し、接地面積にはよらないと記述されている。しかしながら、例えば、ウォータースライダーで滑走するとき、Fig.25 のように座って接地面積を小さくするよりは Fig.26 のように仰向けになる方が早いことを、我々は経験的に知っている。体重や斜面の傾きは変化していないから、Fig.25 と Fig.26 では垂直抗力は一定である。よって、摩擦力が変化しているのではないかという仮説を立てることができる。実験 2 では、接地面積を変化させて実験を行った。

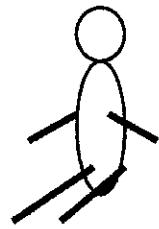


Fig.25 遅い滑り方の例

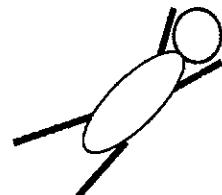


Fig.26 早い滑り方の例

2 理論

斜面に質量 m の物体を置き、傾斜角が摩擦角 θ_0 になったときに物体が滑り出したとする。このとき、釣り合いの式は次のようになる。

斜面に平行な方向の力の釣り合いの式 : $mg \sin \theta_0 = \mu_0 N \quad \dots \dots \cdot Eq. 6$

斜面に垂直な方向の力の釣り合いの式 : $mg \cos \theta_0 = N \quad \dots \dots \cdot Eq. 7$

(Eq.6) ÷ (Eq.7) より、 $\mu_0 = \tan \theta_0 \quad \dots \dots \cdot Eq. 8$

Eq.8 より静止摩擦係数を求めることができる。

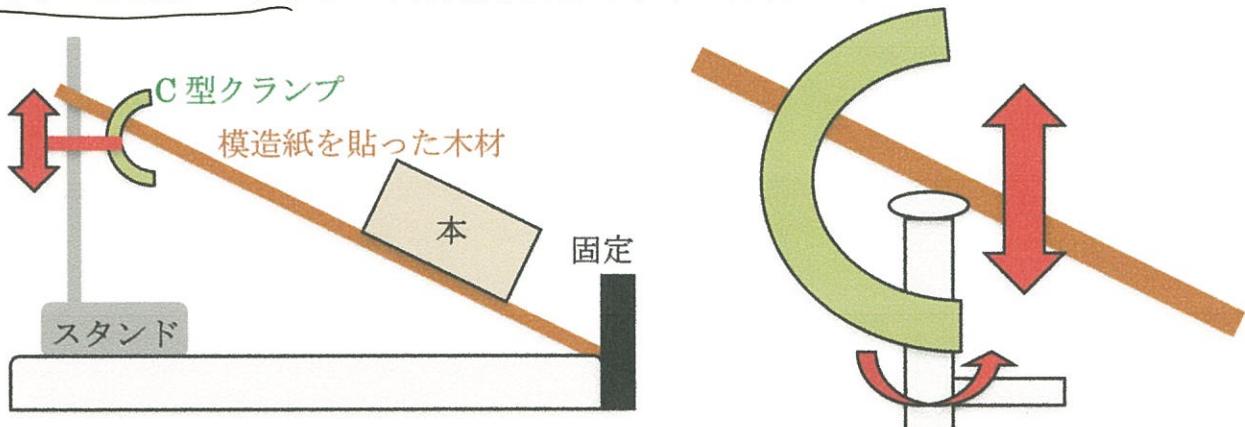
3 実験 1：自作の摩擦角測定装置による静止摩擦係数の測定

3-A 実験装置

模造紙を貼った板状の木材をアームに取り付けられた C 型クランプに取り付ける。大きな角度調節を行う時はアームを動かし、小さな角度調節する時には C 型クランプのネジを回すことで微調節を可能にした

測定対象には、規格化されており接地面積や接地面の形を揃えることが容易な本を用いた。接地面の材質を一定にするため、いずれの本も模造紙と接する面に画用紙を

貼り付けた。接地面積や接地面の材質は一定で質量を変化させて静止摩擦係数が一定であることを確かめ、自作の摩擦角測定装置の性能を評価した。



Figs.27 摩擦角測定装置の模式図（左図：大きな移動、右図：微調節部の詳解）



Figs.28 摩擦角測定装置の実体図と実際の実験の様子

3-B 実験手法

1. アームを動かして大まかに本が動きだす角度を探る。
2. C型クランプのネジを動かして板の傾きを微調整しながら、本が動きだす角度を探る。
3. 本が滑り始めたところで、板と地面が接する点から 1.00m の地点においての板の高さ h [mm]を測定する。

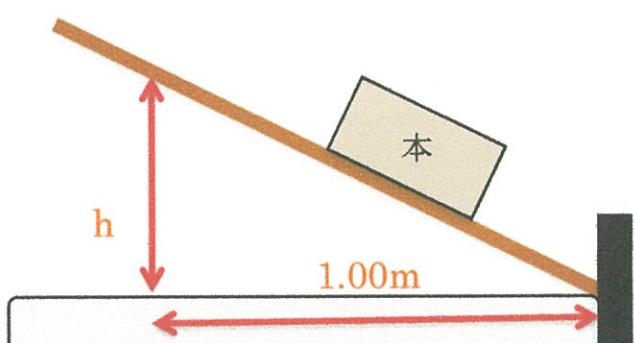


Fig.29 高さの測定

3-C データ処理方法

Eq.8 より静止摩擦係数は摩擦角の正接で与えられるから、滑り始めた時点での、

板が地面と接する点から 1.00m における板の高さ[m]はそのまま静止摩擦係数となる。

3-D 実験結果

Table 1 自作の摩擦角測定装置による静止摩擦係数の測定結果

質量 (g)	h [mm]										平均 [mm]	μ	標準 偏差
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th			
231	290	315	307	319	320	313	333	345	328	343	321	0.321	0.017
477	280	241	226	232	213	259	290	289	310	296	263	0.263	0.034
740	360	315	363	363	374	378	369	368	378	372	364	0.364	0.018
774	370	365	352	349	349	383	389	389	388	391	372	0.372	0.018
1514	372	362	356	368	369	356	332	322	298	308	344	0.344	0.027
1720	362	359	364	367	369	375	376	371	394	362	369	0.369	0.010
955	362	347	350	329	318	447	418	374	410	354	370	0.370	0.041

3-E 考察

Table1 より 477g のときの静止摩擦係数は他のデータの標準偏差の 3 倍以上離れているため、貼り付けた画用紙の種類が違うなどの人為的なミスによる外れ値であると考えられる。外れ値を除くと、 0.36 ± 0.02 と第一部や第三部よりも高い精度で静止摩擦係数を求めることができている。

4 実験 2：接地面積による静止摩擦力の変化

4-A 実験装置

実験装置は実験 1 と同様のものを用いる。実験対象には、相似形であって接地面積が異なる B4(935cm²), A4(624cm²), B5(468cm²), A5(311cm²), B6(233cm²), A6(155cm²)版の本を使用した。質量を一定にするため、本の上に紙を重ねて留めて質量を調節し、すべて 290g とした。接地面には全て同じ画用紙を本の形に合わせて切って貼り付け、材質を一定にした。

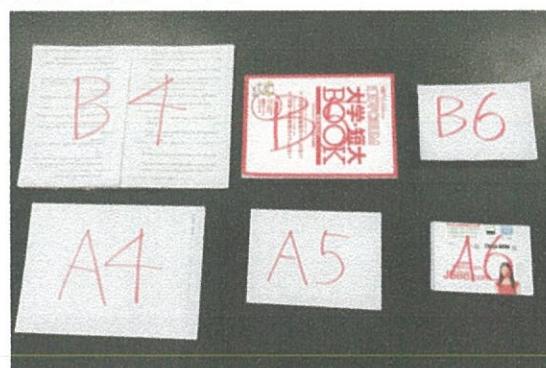


Fig.30 実験に用いた本 (裏面には画用紙が貼ってある)
16

4-B 実験手法

各サイズの本について、実験1と同様にして10回実験を行う。

4-C データ処理方法

10回の実験から平均値を算出し、静止摩擦係数をもとめる。次に、横軸に接地面積、縦軸に静止摩擦力をとった散布図を作成し、静止摩擦係数の接地面積への依存性を評価する。

4-D 実験結果

Table 2 接地面積を変化させた時の静止摩擦係数の測定値

接地面積	滑り出した高さ[mm]					
	B4(935cm ²)	A4(624cm ²)	B5(468cm ²)	A5(311cm ²)	B6(233cm ²)	A6(155cm ²)
1st	565	520	464	466	410	474
2nd	512	512	474	491	401	449
3rd	502	501	485	510	412	461
4th	519	483	490	512	398	475
5th	510	500	481	487	424	477
6th	483	523	478	511	515	456
7th	470	506	490	494	529	465
8th	477	523	484	499	522	455
9th	465	528	493	504	515	458
10th	440	506	481	505	509	483
平均	494	510	482	497	463	465
静止摩擦係数	0.494	0.510	0.482	0.497	0.463	0.465
標準偏差	0.035	0.013	0.008	0.014	0.058	0.011

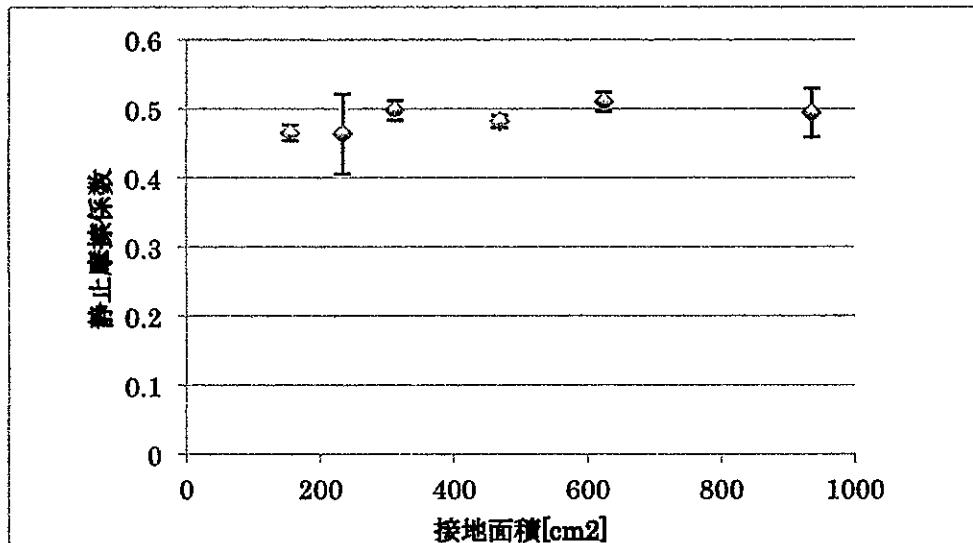


Fig.31 接地面積と静止摩擦係数の関係を表す散布図

4-E 考察

散布図より、接地面積と静止摩擦係数には相関関係が見いだされなかつた。

5 今後の展望

第二部は、特に時間不足で実験が十分できなかつた点が多かつた。

今回の実験では静止摩擦係数のみを求めた。しかし、斜面を用いて動摩擦係数の測定を行うこともできる。物体が動摩擦係数 μ 、斜角 θ の粗い斜面上を滑る時には、運動方程式より加速度 $(\sin \theta - \mu \cos \theta)g$ で等加速度直線運動をする。よつて、斜面上において物体を滑らせてその様子をビデオ解析して加速度を求めることで、動摩擦係数を求めることができる。

実験 2 では接地面積と摩擦力の関係を明らかにすることを試みたが、相関が見られなかつた。しかし、ウォータースライダーの例のような経験は確かに成り立つ。よつて、ウォータースライダーの接地面積による速さの違いは摩擦力ではなく、流体抵抗による影響が大きいものと考えられる。今後は、斜面に流体を流して、接地面積と加速度の関係を調べたいと考えている。

第三部 オイラーのベルト理論を利用した静止摩擦係数の測定

1 目的

境界面が滑らかでない2物体が接触すると摩擦力がはたらく。摩擦力を考える際、高校物理においてよく取り上げられるのは箱状、棒状、板状の物体である。これらの物体に対し、糸状の物体は高校物理によく登場するにも関わらず、はたらく摩擦力を考えることは少ない。例えば、定滑車や動滑車は通例、なめらかに動くものとして考えられることが多い。しかし、実際の実験においては滑車の摩擦が無視できない場合が多い。

巻き数が多くなると糸による摩擦力は非常に大きなものとなる。身近な例を1つ挙げるならば、動物をつなぎとめるのに首につないだ紐を木に何周か巻きつける、というものがある。5周程度巻きつけるだけで、動物の力では解けなくなる。

一般に、糸が筒状の物体に巻きつく時の摩擦力は自然対数の底(ネイピア数)の巻きつき角度乗に比例することがオイラーによって示されていて、オイラーのベルト理論と呼ばれる。第三部では、オイラーのベルト理論を用いて糸の静止摩擦係数を求めることを目的とする。

2 理論

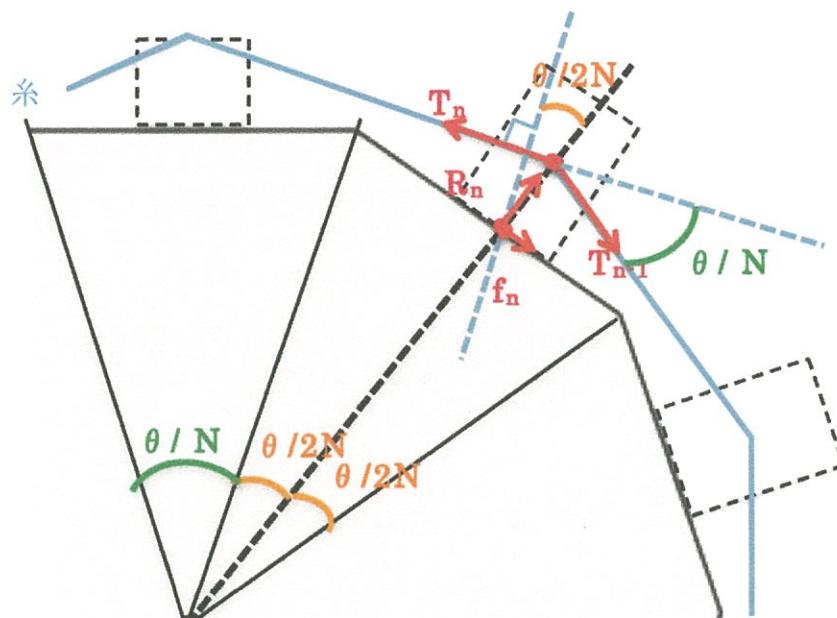


Fig.32 オイラーのベルト理論導出の概念図

静止摩擦係数を μ 、巻きつく角度を θ 、両端での張力を T, T_0 ($T > T_0$) とする。このとき、 θ を N 等分して、円を近似的に多角形と考えることとする。 $N \rightarrow \infty$ として極限をとると、多角形は限りなく円に近くなり、最終的に円での T, T_0 の関係を導き出すことができる。

N 等分した多角形の表面に、糸の代わりに擬似的な物体を考える。 T_0 から数えて n

番目の辺上の擬似物体にはたらく張力を T_n 、 T_{n-1} 、垂直抗力を R_n 、静止摩擦力を f_n とする。このとき、擬似物体の力の釣り合いより

$$T_n \text{ に平行な方向} : T_n = T_{n-1} \cos(\theta/N) + f_n \cos(\theta/2n) \cdot R_n \sin(\theta/2n) \quad \dots \dots \dots \text{Eq. 9}$$

$$\text{中心方向} : R_n = (T_n + T_{n-1}) \sin(\theta/2N) \quad \dots \dots \dots \text{Eq. 10}$$

Eq.10 を Eq.9 に代入し、 $f_n = \mu R_n$ より R_n 、 f_n を消去すると次のような T_n と T_{n-1} の関係式が得られる。

$$\frac{T_n}{T_{n-1}} = \frac{\cos\frac{\theta}{N} + \frac{\mu}{2} \sin\frac{\theta}{N} - \sin^2\frac{\theta}{2N}}{1 - \frac{\mu}{2} \sin\frac{\theta}{N} + \sin^2\frac{\theta}{2N}} \quad \dots \dots \dots \text{Eq. 11}$$

ここで、 θ/N は十分 0 に近いから、 x が 0 に近い時の近似式 $\cos x \approx 1$, $\sin x \approx x$, $\sin^2 x \approx 0$ を用いて変形すると

$$\frac{T_n}{T_{n-1}} \approx \frac{1 + \frac{\mu\theta}{2N}}{1 - \frac{\mu\theta}{2N}} = 1 + \frac{\frac{\mu\theta}{N}}{1 - \frac{\mu\theta}{2N}} = 1 + \frac{\mu\theta}{N} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\mu\theta}{2N}\right)^k \approx 1 + \frac{\mu\theta}{N} \quad \dots \dots \dots \text{Eq. 12}$$

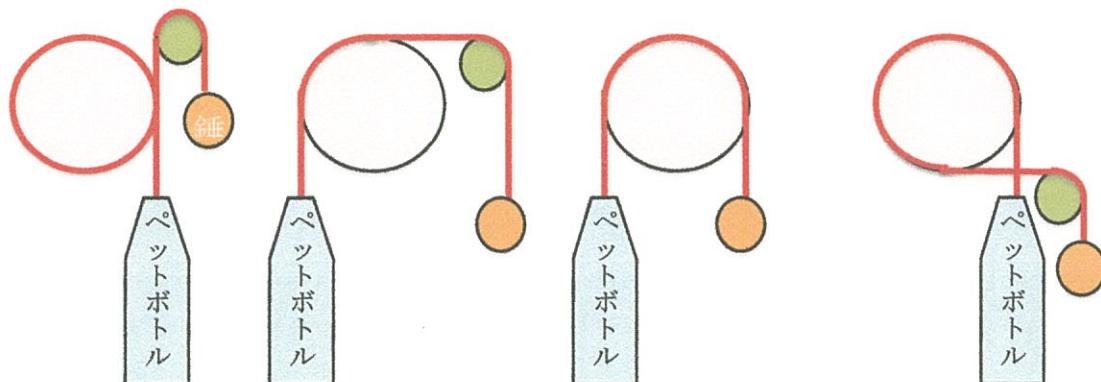
よって、 T は T_0 を用いて次のように表される。

$$T = \lim_{N \rightarrow \infty} T_0 \prod_{k=1}^N \frac{T_k}{T_{k-1}} = T_0 \lim_{N \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{\mu\theta}{N}\right)^N = e^{\mu\theta} T_0 \quad \dots \dots \dots \text{Eq. 13}$$

3 実験

3-A 実験装置

直径 22.6cm のプラスチック製円筒型ゴミ箱の側面に木綿糸を巻きつけ、一端には質量 20.0g のおもりを、もう一端にはペットボトルを接続する。n を自然数とし、巻きつけ角度 $2n\pi$ [rad]、 $\pi/2 + 2n\pi$ [rad]、 $\pi + 2n\pi$ [rad]、 $3\pi/2 + 2n\pi$ [rad] の各場合について測定できるように定滑車を用いて実験装置を変えて実験した。1周以上巻きつける場合には、糸同士が接触しないように注意する。



Figs. 33 実験装置の模式図 (左から角度 $2n\pi$ 、 $\pi/2 + 2n\pi$ 、 $\pi + 2n\pi$ 、 $3\pi/2 + 2n\pi$)

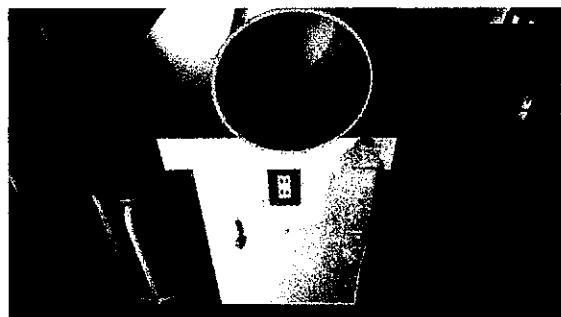


Fig.34 実験装置の実体図 ($\pi + 2n\pi$ の場合)

3-B 実験手法

2. 木綿糸が動き出すまで、こまごめピペットを用いてペットボトルに水を加えていく。2回目以降は、1回目に動き始めた時より少し少ない量の水を注ぎ、その後こまごめピペットを用いて微調節する。
3. 木綿糸が動き始めたと目視で確認できたら、その時の水の入ったペットボトルの質量[g]を、電子天秤を用いて測定する。
4. 実験操作1～3を、巻きつけ角度 $\pi \text{ rad}$ から $4\pi \text{ rad}$ まで $\pi/2 \text{ rad}$ 刻みに各5～10回繰り返し、平均値を算出する。
5. 横軸に角度[rad]、縦軸に張力 T (=ペットボトルの重さ)[N]の自然対数をとった片対数グラフを作成する。
6. 実験操作1～5を12回繰り返す。このとき、1回の実験は同日中に終了させるようとする。

3-C データ処理方法

以下では、 \log は自然対数を表すものとする。

Eq.13より、両辺の自然対数をとると

$$\log T = \mu\theta + \log T_0 \quad \dots \quad \text{Eq. 14}$$

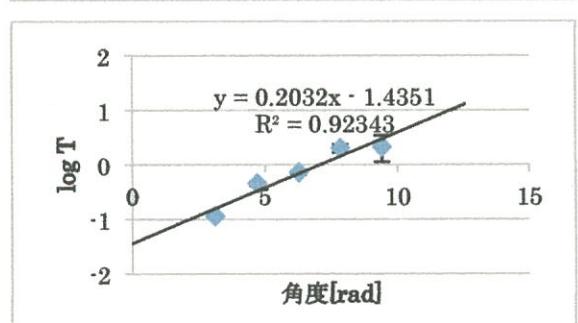
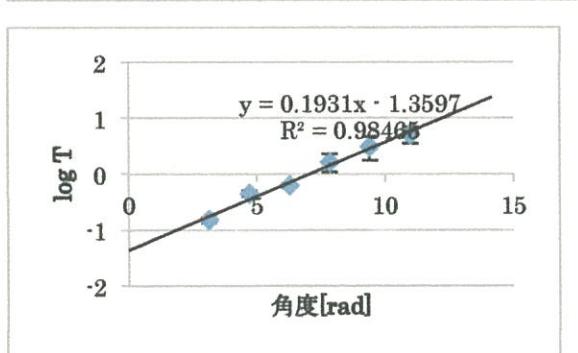
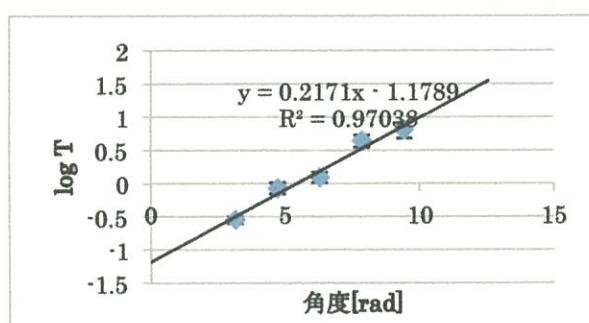
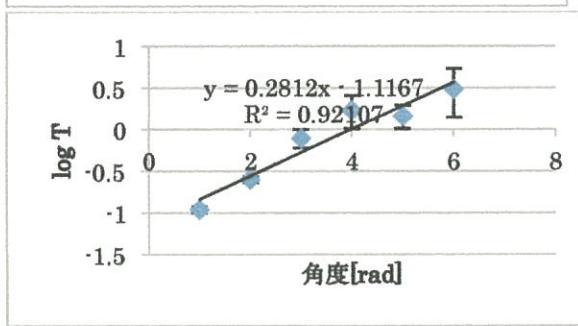
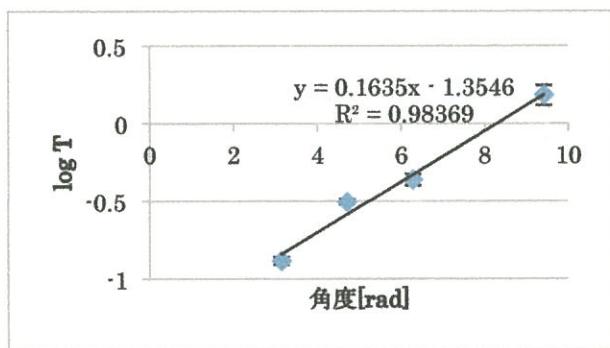
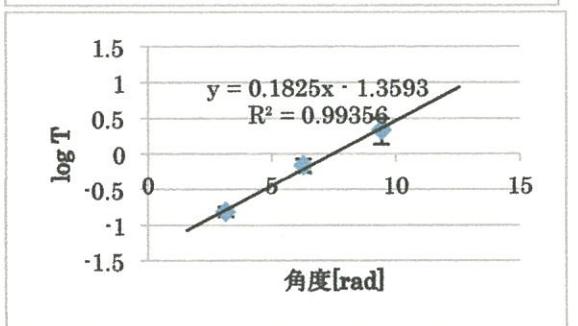
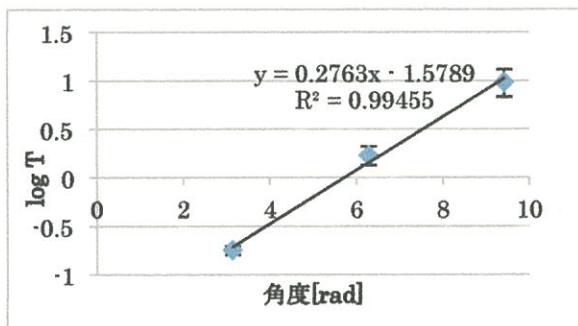
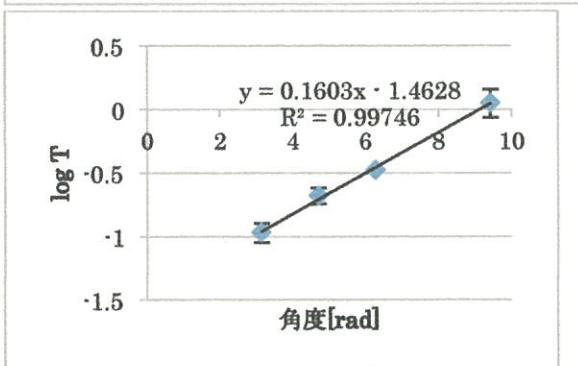
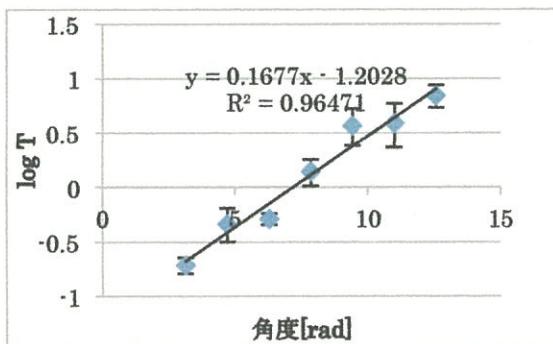
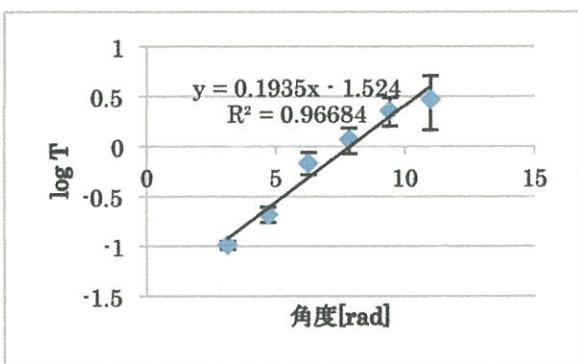
よって、 T_0 はおもりの重さに等しく定数であるから、 θ を横軸、 $\log T$ を縦軸にとると、 $\log T$ は θ の1次関数となる。この一次関数の傾きを求めることで、静止摩擦係数を求めることができる。

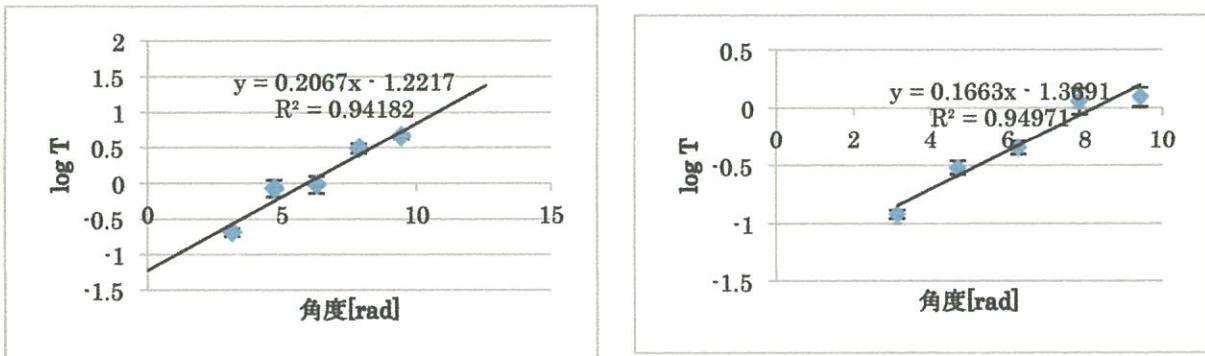
誤差棒については、各実験データの平均値を T 、標準偏差を σ とするとき、誤差棒の上端を $\log(T + \sigma)$ 、下端を $\log(T - \sigma)$ となるように作成した。

3-D 実験結果

12回の各実験のグラフを掲載する。スペースの都合で生データは付録に掲載するものとする。

※1日に実験が可能な時間には限りがあるため、各実験のデータ数には違いがある。





Figs.35 巻きつき角度と張力の関係を示す片対数グラフ

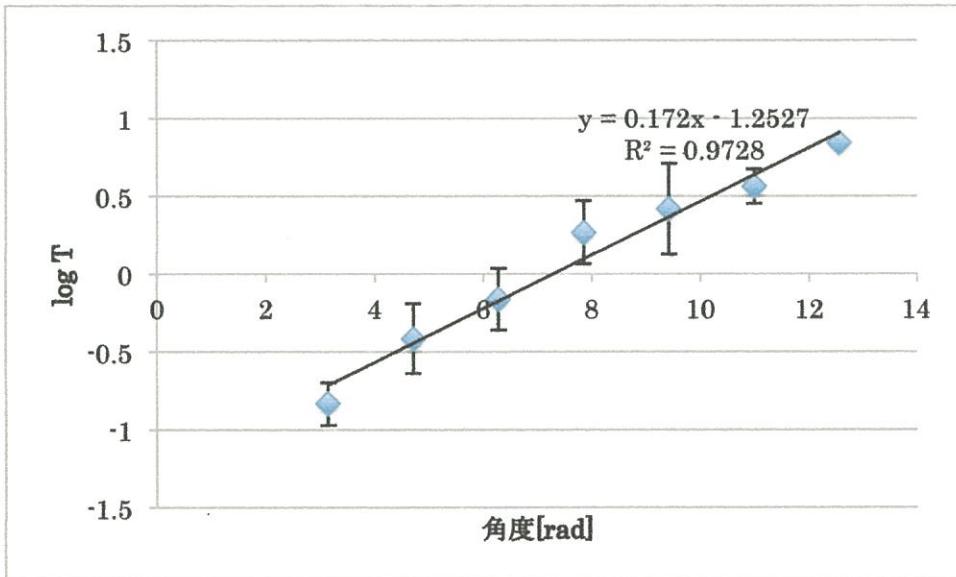


Fig.36 12回の実験の平均値をとった片対数グラフ

3-E 考察

Fig.36 のように 12 回の実験で得られたデータを平均し、その標準偏差を誤差棒としてグラフを作成すると、その傾きから木綿糸と円筒型ゴミ箱との静止摩擦係数は 0.17 ± 0.03 であると算出される。この値は 20% の誤差とかなりのばらつきが認められる。しかし、1 回の実験に限ってみると、各グラフの相関係数はいずれも 0.9 を上回っており、強い相関があると言える。（ばらつきは小さい） すなわち、木綿糸とゴミ箱の静止摩擦力は日によってのばらつきが大きいことがわかる。このばらつきは、木綿糸が吸湿性の大きい繊維であるため、湿度の高い日には空気中の水分を吸収するためであると考えられる。

切片に着目すると、おもりの質量が 20.0g より理論値は $\log(20/1000 \times 9.8) \approx -1.63$ 程度になるはずであるが、実験結果は理論値より少し大きい値が算出されている。これは、オイラーのベルト理論では一端の張力が指数関数的に増加されるため、おもりに接続された木綿糸のわずかな重さを反映したためと考えられる。

4 今後の展望

木綿糸のような繊維でできた糸状の物体は吸湿性が高く、湿度による摩擦係数の変化が大きいと考えられる。第1編で行った無菌室での湿度変化実験を、オイラーのベルト理論を用いた方法でも行う予定である。

オイラーのベルト理論の式 Eq.13 では、静止摩擦力は巻きつけ角度、静止摩擦係数、一端での張力のみに依存し、巻きつけるものの半径には依存しないと記述されている。材質を変えずに、半径を変えて同じ静止摩擦係数が得られれば、より再現性が向上するものと考えられる。

結論

本実験では3種類の方法で実験を行ったが、物体の形状によって3種類の方法を使い分けることができる。比較的大きな物体の摩擦力を測定するときには摩擦角、小さな物体を測定するときは回転台、糸状の物体を測定するときはオイラーのベルト理論を採用すれば良い。

また、摩擦力は湿度をはじめとする様々な外的要因によって変化するため、どの測定方法を取ってもばらつきが大きいことがわかった。しかし、実験装置の改良を行うことで誤差を小さくすることはできた。

参考文献

- 1) 国立天文台：理科年表、平成26年度版、国立天文台（丸善、2011）
- 2) 國友正和 他10名：物理、第1版、数研出版（岩国、2013）
- 3) 数研出版編集部：チャート式 数学III、新課程第16刷、数研出版（寿印、2012）
- 4) 2006年度物理チャレンジ応募理論課題

謝辞

本実験を進めるにあたり、研究の方向性と実験上の操作と安全確保についての助言を岡山県立倉敷天城高等学校教諭の仲達修一氏にいただいた。深く感謝します。

実験は岡山県立倉敷天城高等学校2年の北浜駿太、同校1年の篠原俊輔、川端佑一郎、秦悠己、富岡直毅、岡田悠汰、赤堀涼太郎で行った。主に第一部を川端、秦、第二部を富岡、岡田、赤堀、第三部を北浜、篠原で担当した。（ただし、役割分担は流動的で、他の実験を手伝うこともあり得る）全体的な役割分担としては、北浜がリーダーとしてアイディアの発案と実験方法の考案を担当することが多く、主に1年生が実際の実験操作とデータ処理を行った。（これも流動的である）また、岡山県立倉敷天城高等学校2年の末長祥一、小野尾俊介は実験の補助を行った。これら共同実験者に感謝します。

付録

本編に掲載することのできなかった生データの一部を掲載する。

第一部

F[g]	F[g]	F[g]	F[g]	F[g]	F[g]	F[g]
1 3.2	1 3	1 4.0	1 2.2	1 1.8	1 4.2	1 4.2
2 18.4	2 10.2	2 10.0	2 9.8	2 8.6	2 15.0	2 15.0
3 32.4	3 18.2	3 16.8	3 21.0	3 20.2	3 25.8	3 25.8
4 51.2	4 30	4 25.8	4 33.8	4 35.8	4	4
5 71 重さ	5 44.2 重さ	5 36.2 重さ	5 46.4 重さ	5 51.8 重さ	5 重さ	5 重さ
6 93.6 282.4	8 81.6 282.4	8 50.8 282.4	6 61.6 282.4	6 70.2 282.4	6 282.4	6 282.4
7 117.8 最大値	7 76.8 最大値	7 67.6 最大値	7 74.4 最大値	7 80.4 最大値	7 94.2 最大値	7 94.2 最大値
8 134.2 168	8 97.4 183.2	8 93.4 126.2	8 98.4 113.2	8 107.8 136	8 143	8 143
9 152.2 最大静止摩擦	9 113.6 最大静止摩擦	9 99.8 最大静止摩擦	9 97.8 最大静止摩擦	9 104.4 最大静止摩擦	9 142.2 最大静止摩擦	9 142.2 最大静止摩擦
10 160 0.66572236	10 126 0.64872512	10 109.8 0.44603363	10 105.2 0.400049058	10 130.2 0.481598402	10 135.2 0.506573035	10 135.2 0.506573035
11 181.6	11 136.2	11 121.8	11 110.0	11 134.2	11 142.0	11 142.0
12 184 N	12 151.4 N	12 124.8 N	12 112.4 N	12 136.0 N	12 143.0 N	12 143.0 N
13 187.8 1.94426	13 1.797192	13 126.0 1.230022	13 113.2 1.110492	13 134.16 1.33416	13 142.2 1.40283	13 142.2 1.40283
14 187.8 masatu	14 126.2 masatu	14 112.4 masatu	14 112.4 masatu	14 128.4 masatu	14 142.0 masatu	14 142.0 masatu
15 178.4 6.530736544	15 180 6.383994334	15 4.383930595 4.383930595	15 112.2 3.02333711	15 118.0 4.724362608	15 141.8 4.987528229	15 141.8 4.987528229
16 177.6	16 153.2	16	16 110.0	16 105.8	16 135.6	16 135.6
17 158.2 動摩擦平均	17 182.2 動摩擦平均	17 動摩擦平均	17 104.8 動摩擦平均	17 94.8 動摩擦平均	17 133.8 動摩擦平均	17 133.8 動摩擦平均
18 146 F 66.7142857	18 181.8 F 98.17142857	18 70.8	18 97.2 F 68.5	18 80.4 F 68.4	18 F 68.8	18 F 68.8
19 132.2	19 178	19 104.4	19 88.2	19 67.2	19 125.8	19 125.8
20 123.8 douN	20 174.2 douN	20 87.5 douN	20 76.2 douN	20 56.0 douN	20 121.6 douN	20 121.6 douN
21 121 0.651227714	21 169.8 0.930081714	21 90.2 0.684961053	21 65.8 0.6571658	21 42.8 0.67061116	21 112.4 0.674492	21 112.4 0.674492
22 111.4	22 162	22 90.2	22 62.2	22 31.8	22 103.6	22 103.6
23 101.8 Dmasatu	23 181.2 Dmasatu	23 72.0 Dmasatu	23 58.4 Dmasatu	23 26.4 Dmasatu	23 96.2 Dmasatu	23 96.2 Dmasatu
24 94 3.014262444	24 143.4 3.410575192	24 68.8 2.4005910243	24 56.0 2.370392351	24 22.2 2.374688909	24 91.8 2.388427782	24 91.8 2.388427782
25 88.8	25 145	25 68.0	25 56.4	25 20.2	25 86.4	25 86.4
26 83.2	26 128.2	26 68.2	26 56.2	26 22.2	26 80.0	26 80.0
27 82.2	27 121.8	27 69.2	27	27 25.4	27 70.2	27 70.2
28 82	28 115.2	28 68.0	28 58.2	28 29.8	28 65.0	28 65.0
29 82	29 108.4	29 68.4	29 58.2	29 38.4	29 52.0	29 52.0
30 81.8	30 103.2	30 68.8	30 62.0	30	31 52.0	31 52.0
31 82.2	31 102.2	31 68.4	31 64.2	31 46.6	31 52.0	31 52.0
32	32 98.4	32 68.0	32 68.2	32 53.4	32 52.6	32 52.6
33	33 96.2	33 70.8	33 68.4	33 50.0	33 56.2	33 56.2
34 85.2	34 86.4	34 72.2	34 68.2	34 62.0	34 62.2	34 62.2
35 85	35 98.4	35 74.4	35 68.4	35 64.8	35 64.4	35 64.4
36	36 98.4	36 78.8	36 70.0	36 64.4	36 65.0	36 65.0
37 93	37 88.8	37 78.4	37 70.2	37 68.6	37 66.8	37 66.8
38 92.2	38 98.5	38 78.2	38 68.8	38 70.0	38 69.4	38 69.4
39	39 92.6	39 74.6	39 68.4	39 69.8	39 70.0	39 70.0
40 92.6	40	40 68.2	40 66.8	40 69.4	40 71.8	40 71.8
41 92.2	41	41 69.4	41 64.4	41 68.8	41 70.2	41 70.2
42 93	42	42	42 61.2	42 69.2	42 69.2	42 69.2
43	43 62.4	43 28.8	43 57.8	43 60.4	43 68.0	43 68.0
44	44 50	44 30.2	44 52.8	44 67.0	44 67.4	44 67.4
45 87.2	45 49.8	45 8.6	45 47.0	45 66.2	45 66.2	45 66.2
		163.2	126.2	113.2	143 F 0.525023807 F 0.106487	0.2723

1 12	1 2.9	1 1.2	1 1.2	1 1.2	1 1.2	1 3
2 12	2 2.4	2 2.2	2 2.2	2 2.2	2 2.2	2 2
3 12	3 2.4	3 2.2	3 2.2	3 2.2	3 2.2	3 2
4 12	4 2.4	4 2.2	4 2.2	4 2.2	4 2.2	4 2
5 12	5 2.4	5 2.2	5 2.2	5 2.2	5 2.2	5 2
6 12	6 3.6	6 3.3	6 3.4	6 3.4	6 3.4	6 3
7 14	7 5.6	7 7.6	7 6.4	7 6.4	7 6.4	7 6
8 2.8	8 9.8	8 12.4	8 12.4	8 12.4	8 12.4	8 12
9 4.6	9 12.3	9 12.3	9 12.3	9 12.3	9 12.3	9 12
10 11	10 17.9	10 21.9	10 21.9	10 21.9	10 21.9	10 21
11 30	11 23.2	11 29.0	11 27.8	11 29.0	11 30	11 30
12 30	12 29.4	12 40.1	12 39.5	12 39.5	12 39.5	12 39
13 40.2	13 30.4	13 32.6	13 31	13 31	13 31	13 31
14 36.4	14 30.3	14 39.2	14 39.2	14 39.2	14 39.2	14 39
15 58.2	15 56.8	15 61.6	15 61.6	15 61.6	15 61.6	15 61
16 51.2	17 62.2	17 59.5	17 59.5	17 59.5	17 59	17 59
17 50.2	18 61.6	18 59.5	18 59.5	18 59.5	18 59	18 59
18 49.2	19 61.6	19 59.5	19 59.5	19 59.5	19 59	19 59
19 49	20 61.6	20 59.5	20 59.5	20 59	20 59	20 59
20 59.2	21 59.2	21 49.2	21 49.2	21 49.2	21 49	21 49
21 59.2	22 59.2	22 49.2	22 49.2	22 49	22 49	22 49
22 59.2	23 59.2	23 49.2	23 49.2	23 49	23 49	23 49
23 59.2	24 59.2	24 49.2	24 49.2	24 49	24 49	24 49
24 59.2	25 59.2	25 49.2	25 49.2	25 49	25 49	25 49
25 59.2	26 59.2	26 49.2	26 49.2	26 49	26 49	26 49
26 59.2	27 59.2	27 49.2	27 49.2	27 49	27 49	27 49
27 59.2	28 59.2	28 49.2	28 49.2	28 49	28 49	28 49
28 59.2	29 59.2	29 49.2	29 49.2	29 49	29 49	29 49
29 59.2	30 59.2	30 49.2	30 49.2	30 49	30 49	30 49
30 59.2	31 59.2	31 49.2	31 49.2	31 49	31 49	31 49
31 59.2	32 59.2	32 49.2	32 49.2	32 49	32 49	32 49
32 59.2	33 59.2	33 49.2	33 49.2	33 49	33 49	33 49
33 59.2	34 59.2	34 49.2	34 49.2	34 49	34 49	34 49
34 59.2	35 59.2	35 49.2	35 49.2	35 49	35 49	35 49
35 59.2	36 59.2	36 49.2	36 49.2	36 49	36 49	36 49
36 59.2	37 59.2	37 49.2	37 49.2	37 49	37 49	37 49
37 59.2	38 59.2	38 49.2	38 49.2	38 49	38 49	38 49
38 59.2	39 59.2	39 49.2	39 49.2	39 49	39 49	39 49
39 59.2	40 59.2	40 49.2	40 49.2	40 49	40 49	40 49
40 49	41 59.2	41 49.2	41 49	41 49	41 49	41 49
41 49.2	42 59.2	42 49.2	42 49	42 49	42 49	42 49
42 49	43 59.2	43 49.2	43 49	43 49	43 49	43 49
43 49	44 59.2	44 49.2	44 49	44 49	44 49	44 49
44 49	45 59.2	45 49.2	45 49	45 49	45 49	45 49
45 49.2	46 59.2	46 49.2	46 49	46 49	46 49	46 49
46 49.2	47 59.2	47 49.2	47 49	47 49	47 49	47 49
47 49.2	48 59.2	48 49.2	48 49	48 49	48 49	48 49
48 49.2	49 59.2	49 49.2	49 49	49 49	49 49	49 49
49 49.2	50 59.2	50 49.2	50 49	50 49	50 49	50 49
50 49	51 59.2	51 49.2	51 49	51 49	51 49	51 49
51 49.2	52 59.2	52 49.2	52 49	52 49	52 49	52 49
52 49	53 59.2	53 49.2	53 49	53 49	53 49	53 49
53 49	54 59.2	54 49.2	54 49	54 49	54 49	54 49
54 49.2	55 59.2	55 49.2	55 49	55 49	55 49	55 49
55 49.2	56 59.2	56 49.2	56 49	56 49	56 49	56 49
56 49.2	57 59.2	57 49.2	57 49	57 49	57 49	57 49
57 49.2	58 59.2	58 49.2	58 49	58 49	58 49	58 49
58 49.2	59 59.2	59 49.2	59 49	59 49	59 49	59 49
59 49.2	60 59.2	60 49.2	60 49	60 49	60 49	60 49
60 49	61 59.2	61 49.2	61 49	61 49	61 49	61 49
61 49	62 59.2	62 49.2	62 49	62 49	62 49	62 49
62 49	63 59.2	63 49.2	63 49	63 49	63 49	63 49
63 49	64 59.2	64 49.2	64 49	64 49	64 49	64 49
64 49	65 59.2	65 49.2	65 49	65 49	65 49	65 49
65 49	66 59.2	66 49.2	66 49	66 49	66 49	66 49
66 49	67 59.2	67 49.2	67 49	67 49	67 49	67 49
67 49	68 59.2	68 49.2	68 49	68 49	68 49	68 49
68 49	69 59.2	69 49.2	69 49	69 49	69 49	69 49
69 49	70 59.2	70 49.2	70 49	70 49	70 49	70 49
70 49	71 59.2	71 49.2	71 49	71 49	71 49	71 49
71 49	72 59.2	72 49.2	72 49	72 49	72 49	72 49
72 49	73 59.2	73 49.2	73 49	73 49	73 49	73 49
73 49	74 59.2	74 49.2	74 49	74 49	74 49	74 49
74 49	75 59.2	75 49.2	75 49	75 49		

おもり一組 求めた数	おもり二組 求めた数	おもり三組 求めた数	おもり四組 求めた数	おもり五組 求めた数	おもり六組 求めた数	おもり七組 求めた数	おもり八組 求めた数	おもり九組 求めた数	おもり十組 求めた数	おもり十一組 求めた数	おもり一二組 求めた数	おもり一三組 求めた数	おもり一四組 求めた数
1 2	1 9	1 5	1 3	1 5	1 5	1 7	1 2	1 5	1 7	1 4	1 6	1 4	1 7
2 3	2 6	2 5	2 3	2 5	2 5	2 7	2 3	2 5	2 7	2 4	2 6	2 4	2 7
3 4	3 8	3 5	3 4	3 5	3 5	3 8	3 4	3 5	3 8	3 5	3 6	3 4	3 7
4 5	4 9	4 5	4 4	4 5	4 5	4 9	4 4	4 5	4 9	4 5	4 6	4 4	4 7
5 6	5 10	5 5	5 4	5 5	5 5	5 10	5 4	5 5	5 10	5 6	5 8	5 5	5 8
6 7	6 12	6 7	6 6	6 7	6 7	6 12	6 6	6 7	6 12	6 7	6 9	6 6	6 11
7 8	7 13	7 8	7 7	7 8	7 8	7 13	7 7	7 8	7 13	7 8	7 10	7 6	7 11
8 9	8 15	8 10	8 9	8 10	8 10	8 15	8 9	8 10	8 15	8 9	8 12	8 6	8 13
9 10	9 16	9 12	9 11	9 12	9 12	9 16	9 11	9 12	9 16	9 11	9 14	9 6	9 15
10 11	10 16	10 12	10 11	10 12	10 12	10 16	10 11	10 12	10 16	10 11	10 15	10 6	10 16
11 12	11 20	11 16	11 15	11 16	11 16	11 20	11 15	11 16	11 20	11 15	11 19	11 6	11 20
12 13	12 25	12 20	12 19	12 20	12 20	12 25	12 19	12 20	12 25	12 19	12 24	12 6	12 25
13 14	13 34	13 26	13 25	13 26	13 26	13 34	13 25	13 26	13 34	13 25	13 31	13 6	13 34
14 15	14 40	14 32	14 31	14 32	14 32	14 40	14 31	14 32	14 40	14 31	14 39	14 6	14 45
15 16	15 42	15 34	15 33	15 34	15 34	15 42	15 33	15 34	15 42	15 33	15 41	15 6	15 45
16 17	16 45	16 36	16 35	16 36	16 36	16 45	16 35	16 36	16 45	16 35	16 44	16 6	16 45
17 18	17 45	17 36	17 35	17 36	17 36	17 45	17 35	17 36	17 45	17 35	17 44	17 6	17 45
18 19	18 42	18 34	18 33	18 34	18 34	18 42	18 33	18 34	18 42	18 33	18 41	18 6	18 44
19 20	19 42	19 36	19 35	19 36	19 36	19 42	19 35	19 36	19 42	19 35	19 41	19 6	19 44
20 21	20 45	20 37	20 36	20 37	20 37	20 45	20 36	20 37	20 45	20 36	20 44	20 6	20 45
21 22	21 45	21 37	21 36	21 37	21 37	21 45	21 36	21 37	21 45	21 36	21 44	21 6	21 45
22 23	22 45	22 37	22 36	22 37	22 37	22 45	22 36	22 37	22 45	22 36	22 44	22 6	22 45
23 24	23 45	23 37	23 36	23 37	23 37	23 45	23 36	23 37	23 45	23 36	23 44	23 6	23 45
24 25	24 45	24 37	24 36	24 37	24 37	24 45	24 36	24 37	24 45	24 36	24 44	24 6	24 45
25 26	25 45	25 37	25 36	25 37	25 37	25 45	25 36	25 37	25 45	25 36	25 44	25 6	25 45
26 27	26 45	26 37	26 36	26 37	26 37	26 45	26 36	26 37	26 45	26 36	26 44	26 6	26 45
27 28	27 45	27 37	27 36	27 37	27 37	27 45	27 36	27 37	27 45	27 36	27 44	27 6	27 45
28 29	28 45	28 37	28 36	28 37	28 37	28 45	28 36	28 37	28 45	28 36	28 44	28 6	28 45
29 30	29 45	29 37	29 36	29 37	29 37	29 45	29 36	29 37	29 45	29 36	29 44	29 6	29 45
30 31	30 45	30 37	30 36	30 37	30 37	30 45	30 36	30 37	30 45	30 36	30 44	30 6	30 45
31 32	31 45	31 37	31 36	31 37	31 37	31 45	31 36	31 37	31 45	31 36	31 44	31 6	31 45
32 33	32 45	32 37	32 36	32 37	32 37	32 45	32 36	32 37	32 45	32 36	32 44	32 6	32 45
33 34	33 45	33 37	33 36	33 37	33 37	33 45	33 36	33 37	33 45	33 36	33 44	33 6	33 45
34 35	34 45	34 37	34 36	34 37	34 37	34 45	34 36	34 37	34 45	34 36	34 44	34 6	34 45
35 36	35 45	35 37	35 36	35 37	35 37	35 45	35 36	35 37	35 45	35 36	35 44	35 6	35 45
36 37	36 45	36 37	36 36	36 37	36 37	36 45	36 36	36 37	36 45	36 36	36 44	36 6	36 45
37 38	37 45	37 37	37 36	37 37	37 37	37 45	37 36	37 37	37 45	37 36	37 44	37 6	37 45
38 39	38 45	38 37	38 36	38 37	38 37	38 45	38 36	38 37	38 45	38 36	38 44	38 6	38 45
39 40	39 45	39 37	39 36	39 37	39 37	39 45	39 36	39 37	39 45	39 36	39 44	39 6	39 45
40 41	40 45	40 37	40 36	40 37	40 37	40 45	40 36	40 37	40 45	40 36	40 44	40 6	40 45
41 42	41 45	41 37	41 36	41 37	41 37	41 45	41 36	41 37	41 45	41 36	41 44	41 6	41 45
42 43	42 45	42 37	42 36	42 37	42 37	42 45	42 36	42 37	42 45	42 36	42 44	42 6	42 45
43 44	43 45	43 37	43 36	43 37	43 37	43 45	43 36	43 37	43 45	43 36	43 44	43 6	43 45
44 45	44 45	44 37	44 36	44 37	44 37	44 45	44 36	44 37	44 45	44 36	44 44	44 6	44 45
45 46	45 45	45 37	45 36	45 37	45 37	45 45	45 36	45 37	45 45	45 36	45 44	45 6	45 45
46 47	46 45	46 37	46 36	46 37	46 37	46 45	46 36	46 37	46 45	46 36	46 44	46 6	46 45
47 48	47 45	47 37	47 36	47 37	47 37	47 45	47 36	47 37	47 45	47 36	47 44	47 6	47 45
48 49	48 45	48 37	48 36	48 37	48 37	48 45	48 36	48 37	48 45	48 36	48 44	48 6	48 45
49 50	49 45	49 37	49 36	49 37	49 37	49 45	49 36	49 37	49 45	49 36	49 44	49 6	49 45
50 51	50 45	50 37	50 36	50 37	50 37	50 45	50 36	50 37	50 45	50 36	50 44	50 6	50 45
51 52	51 45	51 37	51 36	51 37	51 37	51 45	51 36	51 37	51 45	51 36	51 44	51 6	51 45
52 53	52 45	52 37	52 36	52 37	52 37	52 45	52 36	52 37	52 45	52 36	52 44	52 6	52 45
53 54	53 45	53 37	53 36	53 37	53 37	53 45	53 36	53 37	53 45	53 36	53 44	53 6	53 45
54 55	54 45	54 37	54 36	54 37	54 37	54 45	54 36	54 37	54 45	54 36	54 44	54 6	54 45
55 56	55 45	55 37	55 36	55 37	55 37	55 45	55 36	55 37	55 45	55 36	55 44	55 6	55 45
56 57	56 45	56 37	56 36	56 37	56 37	56 45	56 36	56 37	56 45	56 36	56 44	56 6	56 45
57 58	57 45	57 37	57 36	57 37	57 37	57 45	57 36	57 37	57 45	57 36	57 44	57 6	57 45
58 59	58 45	58 37	58 36	58 37	58 37	58 45	58 36	58 37	58 45	58 36	58 44	58 6	58 45
59 60	59 45	59 37	59 36	59 37	59 37	59 45	59 36	59 37	59 45	59 36	59 44	59 6	59 45
60 61	60 45	60 37	60 36	60 37	60 37	60 45	60 36	60 37	60 45	60 36	60 44	60 6	60 45
61 62	61 45	61 37	61 36	61 37	61 37	61 45	61 36	61 37	61 45	61 36	61 44	61 6	61 45
62 63	62 45	62 37	62 36	62 37	62 37	62 45	62 36	62 37	62 45	62 36	62 44	62 6	62 45
63 64	63 45	63 37	63 36	63 37	63 37	63 45	63 36	63 37	63 45	63 36	63 44	63 6	63 45
64 65	64 45	64 37	64 36	64 37	64 37	64 45	64 36	64 37	64 45	64 36	64 44	64 6	64 45
65 66	65 45	65 37	65 36	65 37	65 37	65 45	65 36	65 37	65 45	65 36	65 44	65 6	65 45
66 67	66 45	66 37	66 36	66 37	66 37	66 45	66 36	66 37	66 45	66 36	66 44	66 6	66 45
67 68	67 45	67 37	67 36	67 37	67 37	67 45	67 36	67 37	67 45	67 36	67 44	67 6	67 45
68 69	68 45	68 37	68 36	68 37	68 37	68 45	68 36	68 37	68 45	68 36	68 44	68 6	68 45
69 70	69 45	69 37	69 36	69 37	69 37	69 45	69 36	69 37	69 45	69 36	69 44	69 6	69 45
70 71	70 45	70 37	70 36	70 37	70 37	70 45	70 36	70 37	70 45	70 36	70 44	70 6	70 45
71 72	71 45	71 37	71 36	71 37	71 37	71 45	71 36	71 37	71 45	71 36	71 44	71 6	71 45
72 73	72 45	72 37	72 36	72 37	72 37	72 45	72 36	72 37	72 45	72 36	72 44	72 6	72 45
73 74	73 45	73 37	73 36	73 37	73 37	73 45	73 36	73 37	73 45	73 36	73 44	73 6	73 45
74 75	74 45	74 37	74 36	74 37	74 37	74 45	74 36	74 37	74 45	74 36	74 44	74 6	74 45
75 76	75 45	75 37	75 36	75 37	75 37	75 45	75 36	75 37	75 45	75 36	75 44	75 6	75 45
7													

おもじ四面(1)	おもじ四面(2)	おもじ四面(3)	おもじ四面(4)	おもじ四面(5)	おもじ四面(6)	おもじ四面(7)	おもじ四面(8)	おもじ四面(9)	おもじ四面(10)
0	4	0	5	0	4	0	5	0	4
1	4	1	6	1	4	1	5	1	4
2	4	2	6	2	4	2	5	2	4
3	4	3	6	3	4	3	5	3	4
4	4	4	5	4	4	4	5	4	5
5	7	5	6	5	5	5	6	5	6
6	12	6	8	6	10	6	8	6	10
7	20	7	11	7	17	7	11	7	17
8	36	8	14	8	20	8	12	8	25
9	44	9	17	9	22	9	17	9	27
10	47	10	22	10	45	10	22	10	45
11	58	11	36	11	56	11	36	11	56
12	64	12	56	12	56	12	56	12	56
13	67	12	46	13	66	13	71	13	72
14	64	14	58	14	69	14	63	14	74
15	59	15	62	15	68	15	66	15	74
16	54	16	66	16	63	16	71	16	65
17	46	17	66	17	55	17	70	17	70
18	36	18	63	18	46	18	60	18	67
19	33	19	56	19	41	19	60	19	54
20	26	20	54	20	25	20	53	20	48
21	25	21	48	21	26	21	45	21	50
22	24	22	43	22	26	22	37	22	41
23	24	23	37	23	24	23	38	23	42
24	26	24	33	24	26	24	30	24	36
25	32	25	31	25	30	25	39	25	38
26	27	26	30	26	24	26	32	26	40
27	41	27	30	27	32	27	46	27	41
28	44	28	32	28	43	28	36	28	47
29	47	29	34	29	47	29	41	29	46
30	46	30	37	30	49	30	45	30	50
31	46	31	41	31	51	31	46	31	54
32	46	32	43	32	51	32	52	32	56
33	47	33	46	33	54	33	53	33	55
34	45	34	47	34	49	34	53	34	53
35	44	35	46	35	48	35	50	35	56
36	43	36	46	36	47	36	53	36	56
37	42	37	45	37	51	37	49	37	55
38	41	38	46	38	50	38	48	38	55
39	41	39	48	39	49	39	49	39	55
40	41	40	47	40	48	40	46	40	57
41	41	41	47	41	48	41	47	41	58
42	41	42	48	42	45	42	48	42	58
43	41	43	48	43	48	43	48	43	58
44	41	44	48	44	48	44	48	44	58
45	43	45	46	45	48	45	48	45	58
46	43	46	46	46	46	46	48	46	58
47	42	47	46	47	49	47	48	47	58
48	45	48	46	48	46	48	48	48	58
49	45	49	45	49	46	49	48	49	58
50	43	50	45	50	41	50	48	50	58
51	42	61	45	61	46	61	46	61	58
52	43	62	45	62	46	62	48	62	58
53	43	63	45	63	48	63	48	63	58
54	43	64	45	64	46	64	48	64	58
55	43	65	46	65	46	65	46	65	58
56	42	66	44	66	45	66	45	66	58
57	43	67	46	67	46	67	46	67	58
58	43	68	46	68	47	68	46	68	58
59	42	69	45	69	47	69	46	69	58
60	42	70	45	70	47	70	46	70	58
61	42	71	45	71	47	71	46	71	58
62	42	72	45	72	47	72	46	72	58
63	42	73	45	73	47	73	46	73	58
64	42	74	45	74	47	74	46	74	58
65	42	75	45	75	47	75	46	75	58
66	42	76	45	76	47	76	46	76	58
67	42	77	45	77	47	77	46	77	58
68	42	78	45	78	47	78	46	78	58
69	42	79	45	79	47	79	46	79	58
70	42	80	45	80	47	80	46	80	58
71	42	81	45	81	47	81	46	81	58
72	42	82	45	82	47	82	46	82	58
73	42	83	45	83	47	83	46	83	58
74	42	84	45	84	47	84	46	84	58
75	42	85	45	85	47	85	46	85	58
76	42	86	45	86	47	86	46	86	58
77	42	87	45	87	47	87	46	87	58
78	42	88	45	88	47	88	46	88	58
79	42	89	45	89	47	89	46	89	58
80	42	90	45	90	47	90	46	90	58
81	42	91	45	91	47	91	46	91	58
82	42	92	45	92	47	92	46	92	58
83	42	93	45	93	47	93	46	93	58
84	42	94	45	94	47	94	46	94	58
85	42	95	45	95	47	95	46	95	58
86	42	96	45	96	47	96	46	96	58
87	42	97	45	97	47	97	46	97	58
88	42	98	45	98	47	98	46	98	58
89	42	99	45	99	47	99	46	99	58
90	42	100	45	100	47	100	46	100	58
91	42	101	45	101	47	101	46	101	58
92	42	102	45	102	47	102	46	102	58
93	42	103	45	103	47	103	46	103	58
94	42	104	45	104	47	104	46	104	58
95	42	105	45	105	47	105	46	105	58
96	42	106	45	106	47	106	46	106	58
97	42	107	45	107	47	107	46	107	58
98	42	108	45	108	47	108	46	108	58
99	42	109	45	109	47	109	46	109	58
100	42	110	45	110	47	110	46	110	58
101	42	111	45	111	47	111	46	111	58
102	42	112	45	112	47	112	46	112	58
103	42	113	45	113	47	113	46	113	58
104	42	114	45	114	47	114	46	114	58
105	42	115	45	115	47	115	46	115	58
106	42	116	45	116	47	116	46	116	58
107	42	117	45	117	47	117	46	117	58
108	42	118	45	118	47	118	46	118	58
109	42	119	45	119	47	119	46	119	58
110	42	120	45	120	47	120	46	120	58
111	42	121	45	121	47	121	46	121	58
112	42	122	45	122	47	122	46	122	58
113	42	123	45	123	47	123	46	123	58
114	42	124	45	124	47	124	46	124	58
115	42	125	45	125	47	125	46	125	58
116	42	126	45	126	47	126	46	126	58
117	42	127	45	127	47	127	46	127	58
118	42	128	45	128	47	128	46	128	58
119	42	129	45	129	47	129	46	129	58
120	42	130	45	130	47	130	46	130	58
121	42	131	45	131	47	131	46	131	58
122	42	132	45	132	47	132	46	132	58
123	42	133	45	133	47	133	46	133	58
124	42	134	45	134	47	134	46	134	58
125	42	135	45	135	47	135	46	135	58
126	42	136	45	136	47	136	46	136	58
127	42	137	45	137	47	137	46	137	58
128	42	138	45	138	47	138	46	138	58
129	42	139	45	139	47	139	46	139	58
130	42	140	45	140	47	140	46	140	58
131	42	141	45	141	47	141	46	141	58
132	42	142	45	142	47	142	46	142	58
133	42	143	45	143	47	143	46	143	58
134	42	144	45	144	47	144	46	144	58
135	42	145	45	145	47	145	46	145	58
136	42	146	45	146	47	146	46	146	58
137	42	147	45	147	47	147	46	147	58
138	42	148	45	148	47	148	46	148	58
139	42	149	45	149	47	149	46	149	58
140	42	150	45	150	47	150	46	150	58
141	42	151	45	151	47	151	46	151	58
142	42	152							

おもな用語(1)	おもな用語(2)	おもな用語(3)	おもな用語(4)	おもな用語(5)	おもな用語(6)	おもな用語(7)	おもな用語(8)	おもな用語(9)	おもな用語(10)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	3	6	2	7	2	5	2	5
3	4	3	4	3	7	3	5	3	5
4	4	4	5	4	7	4	5	4	6
5	5	5	5	5	9	5	6	5	7
6	9	6	10	6	12	6	7	6	9
7	18	7	15	7	15	7	15	7	15
8	25	9	28	9	23	9	17	8	27
9	34	10	38	10	31	10	22	10	37
10	46	11	52	11	46	11	28	11	51
11	56	12	64	12	50	12	36	12	46
12	69	13	76	13	61	13	50	13	56
13	76	14	84	14	75	14	62	14	87
14	85	15	87	15	82	15	75	15	94
15	86	16	88	16	86	16	85	16	95
16	78	17	84	17	88	17	84	17	90
17	79	18	80	18	87	18	89	18	85
18	95	19	75	19	84	19	88	19	104
19	57	20	68	20	60	20	56	20	60
20	56	21	61	21	55	21	50	21	56
21	42	22	56	22	70	22	67	22	73
22	37	23	50	23	64	23	62	23	66
23	34	24	47	24	59	24	56	24	65
24	34	25	44	25	55	25	52	25	56
25	34	26	47	26	52	26	58	26	62
26	37	27	44	27	52	27	59	27	62
27	41	28	51	28	52	28	56	28	66
28	45	29	55	29	53	29	60	29	60
29	58	30	58	30	54	30	64	30	63
30	54	31	66	31	55	31	70	31	67
31	58	32	62	32	57	32	65	32	70
32	61	33	63	33	58	33	70	33	74
33	61	34	64	34	61	34	71	34	78
34	61	35	64	35	64	35	74	35	79
35	64	36	63	36	64	36	70	36	71
36	63	37	67	37	67	37	73	37	78
37	62	38	62	38	67	38	72	38	71
38	61	39	62	39	67	39	74	39	76
39	59	40	62	40	67	40	78	40	75
40	57	41	62	41	67	41	74	41	76
41	58	42	62	42	67	42	72	42	76
42	55	43	62	43	67	43	72	43	78
43	56	44	62	44	67	44	72	44	79
44	52	45	62	45	67	45	74	45	79
45	58	46	62	46	67	46	72	46	77
46	56	47	62	47	67	47	73	47	75
47	54	48	62	48	64	48	72	48	77
48	54	49	62	49	66	49	72	49	77
49	54	50	62	50	69	50	72	50	74
50	54	51	62	51	66	51	72	51	75
51	54	52	62	52	66	52	72	52	75
52	54	53	62	53	66	53	72	53	74
53	56	53	62	53	65	53	72	53	75
54	54	54	62	54	68	54	72	54	76
55	56	55	62	55	65	55	72	55	75
56	55	56	62	56	66	56	72	56	76
57	54	57	62	57	66	57	72	57	76
58	54	58	62	58	64	58	66	58	76
59	54	59	62	59	66	59	72	59	76
60	54	60	62	60	66	60	72	60	76
61	54	61	62	61	66	61	72	61	76
62	54	62	62	62	66	62	72	62	76
63	54	63	62	63	66	63	72	63	76
64	54	64	62	64	66	64	72	64	76
65	54	65	62	65	66	65	72	65	76
66	54	66	62	66	66	66	72	66	76
67	54	67	62	67	66	67	72	67	76
68	54	68	62	68	66	68	72	68	76
69	54	69	62	69	66	69	72	69	76
70	54	70	62	70	66	70	72	70	76
71	54	71	62	71	66	71	72	71	76
72	54	72	62	72	66	72	72	72	76
73	54	73	62	73	66	73	72	73	76
74	54	74	62	74	66	74	72	74	76
75	54	75	62	75	66	75	72	75	76
76	54	76	62	76	66	76	72	76	76
77	54	77	62	77	66	77	72	77	76
78	54	78	62	78	66	78	72	78	76
79	54	79	62	79	66	79	72	79	76
80	54	80	62	80	66	80	72	80	76
81	54	81	62	81	66	81	72	81	76
82	54	82	62	82	66	82	72	82	76
83	54	83	62	83	66	83	72	83	76
84	54	84	62	84	66	84	72	84	76
85	54	85	62	85	66	85	72	85	76
86	54	86	62	86	66	86	72	86	76
87	54	87	62	87	66	87	72	87	76
88	54	88	62	88	66	88	72	88	76
89	54	89	62	89	66	89	72	89	76
90	54	90	62	90	66	90	72	90	76
91	54	91	62	91	66	91	72	91	76
92	54	92	62	92	66	92	72	92	76
93	54	93	62	93	66	93	72	93	76
94	54	94	62	94	66	94	72	94	76
95	54	95	62	95	66	95	72	95	76
96	54	96	62	96	66	96	72	96	76
97	54	97	62	97	66	97	72	97	76
98	54	98	62	98	66	98	72	98	76
99	54	99	62	99	66	99	72	99	76
100	54	100	62	100	66	100	72	100	76
101	54	101	62	101	66	101	72	101	76
102	54	102	62	102	66	102	72	102	76
103	54	103	62	103	66	103	72	103	76
104	54	104	62	104	66	104	72	104	76
105	54	105	62	105	66	105	72	105	76
106	54	106	62	106	66	106	72	106	76
107	54	107	62	107	66	107	72	107	76
108	54	108	62	108	66	108	72	108	76
109	54	109	62	109	66	109	72	109	76
110	54	110	62	110	66	110	72	110	76
111	54	111	62	111	66	111	72	111	76
112	54	112	62	112	66	112	72	112	76
113	54	113	62	113	66	113	72	113	76
114	54	114	62	114	66	114	72	114	76
115	54	115	62	115	66	115	72	115	76
116	54	116	62	116	66	116	72	116	76
117	54	117	62	117	66	117	72	117	76
118	54	118	62	118	66	118	72	118	76
119	54	119	62	119	66	119	72	119	76
120	54	120	62	120	66	120	72	120	76
121	54	121	62	121	66	121	72	121	76
122	54	122	62	122	66	122	72	122	76
123	54	123	62	123	66	123	72	123	76
124	54	124	62	124	66	124	72	124	76
125	54	125	62	125	66	125	72	125	76
126	54	126	62	126	66	126	72	126	76
127	54	127	62	127	66	127	72	127	76
128	54	128	62	128	66	128	72	128	76
129	54	129	62	129	66	129	72	129	76
130	54	130	62	130	66	130	72	130	76
131	54	131	62	131	66	131	72	131	76
132	54	132	62	132	66	132	72	132	76
133	54	133	62	133	66	133	72	133	76
134	54	134	62	134	66	134	72	134	76
135	54	135	62	135	66	135	72	135	76
136	54	136	62	136	66	136	72	136	76
137	54	137	62	137	66	137	72	137	76
138	54	138	62	138	66	138	72	138	76
139	54	139	62	139	66	139	72	139	76
140	54	140	62	140	66	140	72	140	76
141	54	141	62	141	66	141	72	141	76
142	54	142	62	142	66	142	72		

基础属性		基础属性		基础属性		基础属性		基础属性		基础属性		基础属性	
1	42	2	43	3	42	4	43	5	41	6	42	7	43
2	43	3	43	4	42	5	43	6	43	7	42	8	43
3	44	4	44	5	45	6	45	7	44	8	45	9	44
4	45	5	45	6	46	7	45	8	46	9	45	10	46
5	46	6	46	7	47	8	46	9	47	10	46	11	47
6	47	7	47	8	48	9	47	10	48	11	47	12	48
7	48	8	48	9	49	10	48	11	49	12	48	13	49
8	49	9	49	10	50	11	50	12	50	13	49	14	50
9	50	10	50	11	51	12	51	13	51	14	50	15	51
10	51	11	51	12	52	13	52	14	52	15	51	16	52
11	52	12	52	13	53	14	53	15	53	16	52	17	53
12	53	13	53	14	54	15	54	16	54	17	53	18	54
13	54	14	54	15	55	16	55	17	55	18	54	19	55
14	55	15	55	16	56	17	56	18	56	19	55	20	56
15	56	16	56	17	57	18	57	19	57	20	56	21	57
16	57	17	57	18	58	19	58	20	58	21	57	22	58
17	58	18	58	19	59	20	59	21	59	22	58	23	59
18	59	19	59	20	60	21	60	22	60	23	59	24	60
19	60	20	60	21	61	22	61	23	61	24	60	25	61
20	61	21	61	22	62	23	62	24	62	25	61	26	62
21	62	22	62	23	63	24	63	25	63	26	62	27	63
22	63	23	63	24	64	25	64	26	64	27	63	28	64
23	64	24	64	25	65	26	65	27	65	28	64	29	65
24	65	25	65	26	66	27	66	28	66	29	65	30	66
25	66	26	66	27	67	28	67	29	67	30	66	31	67
26	67	27	67	28	68	29	68	30	68	31	67	32	68
27	68	28	68	29	69	30	69	31	69	32	68	33	69
28	69	29	69	30	70	31	70	32	70	33	69	34	70
29	70	30	70	31	71	32	71	33	71	34	70	35	71
30	71	31	71	32	72	33	72	34	72	35	71	36	72
31	72	32	72	33	73	34	73	35	73	36	72	37	73
32	73	33	73	34	74	35	74	36	74	37	73	38	74
33	74	34	74	35	75	36	75	37	75	38	74	39	75
34	75	35	75	36	76	37	76	38	76	39	75	40	76
35	76	36	76	37	77	38	77	39	77	40	76	41	77
36	77	37	77	38	78	39	78	40	78	41	77	42	78
37	78	38	78	39	79	40	79	41	79	42	78	43	79
38	79	39	79	40	80	41	80	42	80	43	79	44	80
39	80	40	80	41	81	42	81	43	81	44	80	45	81
40	81	41	81	42	82	43	82	44	82	45	81	46	82
41	82	42	82	43	83	44	83	45	83	46	82	47	83
42	83	43	83	44	84	45	84	46	84	47	83	48	84
43	84	44	84	45	85	46	85	47	85	48	84	49	85
44	85	45	85	46	86	47	86	48	86	49	85	50	86
45	86	46	86	47	87	48	87	49	87	50	86	51	87
46	87	47	87	48	88	49	88	50	88	51	87	52	88
47	88	48	88	49	89	50	89	51	89	52	88	53	89
48	89	49	89	50	90	51	90	52	90	53	89	54	90
49	90	50	90	51	91	52	91	53	91	54	90	55	91
50	91	51	91	52	92	53	92	54	92	55	91	56	92
51	92	52	92	53	93	54	93	55	93	56	92	57	93
52	93	53	93	54	94	55	94	56	94	57	93	58	94
53	94	54	94	55	95	56	95	57	95	58	94	59	95
54	95	55	95	56	96	57	96	58	96	59	95	60	96
55	96	56	96	57	97	58	97	59	97	60	96	61	97
56	97	57	97	58	98	59	98	60	98	61	97	62	98
57	98	58	98	59	99	60	99	61	99	62	98	63	99
58	99	59	99	60	100	61	100	62	100	63	99	64	100
59	100	60	100	61	101	62	101	63	101	64	100	65	101
60	101	61	101	62	102	63	102	64	102	65	101	66	102
61	102	62	102	63	103	64	103	65	103	66	102	67	103
62	103	63	103	64	104	65	104	66	104	67	103	68	104
63	104	64	104	65	105	66	105	67	105	68	104	69	105
64	105	65	105	66	106	67	106	68	106	69	105	70	106
65	106	66	106	67	107	68	107	69	107	70	106	71	107
66	107	67	107	68	108	69	108	70	108	71	107	72	108
67	108	68	108	69	109	70	109	71	109	72	108	73	109
68	109	69	109	70	110	71	110	72	110	73	109	74	110
69	110	70	110	71	111	72	111	73	111	74	110	75	111
70	111	71	111	72	112	73	112	74	112	75	111	76	112
71	112	72	112	73	113	74	113	75	113	76	112	77	113
72	113	73	113	74	114	75	114	76	114	77	113	78	114
73	114	74	114	75	115	76	115	77	115	78	114	79	115
74	115	75	115	76	116	77	116	78	116	79	115	80	116
75	116	76	116	77	117	78	117	79	117	80	116	81	117
76	117	77	117	78	118	79	118	80	118	81	117	82	118
77	118	78	118	79	119	80	119	81	119	82	118	83	119
78	119	79	119	80	120	81	120	82	120	83	119	84	120
79	120	80	120	81	121	82	121	83	121	84	120	85	121
80	121	81	121	82	122	83	122	84	122	85	121	86	122
81	122	82	122	83	123	84	123	85	123	86	122	87	123
82	123	83	123	84	124	85	124	86	124	87	123	88	124
83	124	84	124	85	125	86	125	87	125	88	124	89	125
84	125	85	125	86	126	87	126	88	126	89	125	90	126
85	126	86	126	87	127	88	127	89	127	90	126	91	127
86	127	87	127	88	128	89	128	90	128	91	127	92	128
87	128	88	128	89	129	90	129	91	129	92	128	93	129
88	129	89	129	90	130	91	130	92	130	93	129	94	130
89	130	90	130	91	131	92	131	93	131	94	130	95	131
90	131	91	131	92	132	93	132	94	132	95	131	96	132
91	132	92	132	93	133	94	133	95	133	96	132	97	133
92	133	93	133	94	134	95	134	96	134	97	133	98	134
93	134	94	134	95	135	96	135	97	135	98	134	99	135
94	135	95	135	96	136	97	136	98	136	99	135	100	136
95	136	96	136	97	137	98	137	99	137	100	136	101	137
96	137	97	137	98	138	99	138	100	138	101	137	102	138
97	138	98	138	99	139	100	139	101	139	102	138	103	139
98	139	99	139	100	140	101	140	102	140	103	139	104	140
99	140	100	140	101	141	102	141	103	141	104	140	105	141
100	141	101	141	102	142	103	142	104	142	105	141	106	142
101	142	102	142	103	143	104	143	105	143	106	142	107	143
102	143	103	143	104	144	105	144	106	144	107	143	108	144
103	144	104	144	105	145	106	145	107	145	108	144	109	145
104	145	105	145	106	146	107	146	108	146	109	145	110	146
105	146	106	146	107	147	108	147	109	147	110	146	111	147
106	147	107	147	108	148	109	148	110	148	111	147	112	148
107	148	108	148	109	149	110	149	111	149	112	148	113	149
108	149	109	149	110	150	111	150	112	150	113	149	114	150
109	150	110	150	111	151	112	151	113	151	114	150	115	151
110	151	111	151	112	152	113	152	114	152	115	151	116	152
111	152	112	152	113	153	114	153	115	153	116	152	117	153
112	153	113	153	114	154	115	154	116	154	117	153	118	154
113	154	114											

おもいの(1)	おもいの(2)	おもいの(3)	おもいの(4)	おもいの(5)	おもいの(6)	おもいの(7)	おもいの(8)	おもいの(9)	おもいの(10)	おもいの(11)
6	3	0	4	0	3	0	5	0	3	0
1	1	1	6	1	3	1	3	1	3	1
2	2	2	6	2	3	2	8	2	2	2
3	3	3	4	3	3	3	5	2	2	3
4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3
5	5	5	5	5	7	5	5	5	5	5
6	6	6	8	6	10	8	8	6	11	7
7	7	7	12	7	14	7	15	7	11	7
8	8	8	15	8	17	8	17	8	15	8
9	9	9	22	9	25	9	24	9	20	9
10	10	10	30	10	35	10	36	10	35	10
11	11	11	43	11	45	11	45	11	36	11
12	12	12	56	12	60	12	62	12	50	12
13	13	13	75	13	76	13	76	13	66	13
14	14	14	85	14	85	14	100	14	86	14
15	15	15	114	15	114	15	130	15	106	15
16	16	16	130	16	130	16	136	16	114	16
17	17	17	146	17	155	17	145	17	125	17
18	18	18	143	18	138	18	147	18	129	18
19	19	19	143	19	134	19	146	19	127	19
20	20	20	142	20	125	20	142	20	124	20
21	21	21	126	21	120	21	126	21	116	21
22	22	22	128	22	122	22	128	22	122	22
23	23	23	120	23	117	23	122	23	116	23
24	24	24	112	24	110	24	106	24	104	24
25	25	25	105	25	104	25	96	25	98	25
26	26	26	98	26	98	26	101	26	98	26
27	27	27	94	27	92	27	99	27	84	27
28	28	28	94	28	91	28	98	28	94	28
29	29	29	95	29	96	29	95	29	86	29
30	30	30	95	30	96	30	101	30	96	30
31	31	31	98	31	102	31	99	31	94	31
32	32	32	101	32	100	32	103	32	96	32
33	33	33	105	33	104	33	107	33	98	33
34	34	34	106	34	106	34	108	34	102	34
35	35	35	107	35	107	35	111	35	105	35
36	36	36	109	36	115	36	113	36	106	36
37	37	37	114	37	109	37	115	37	109	37
38	38	38	110	38	114	38	113	38	109	38
39	39	39	110	39	114	39	112	39	109	39
40	40	40	118	40	114	40	113	40	108	40
41	41	41	116	41	114	41	112	41	107	41
42	42	42	116	42	114	42	115	42	107	42
43	43	43	116	43	110	43	113	43	107	43
44	44	44	116	44	114	44	113	44	107	44
45	45	45	115	45	110	45	114	45	102	45
46	46	46	115	46	114	46	113	46	107	46
47	47	47	115	47	114	47	115	47	107	47
48	48	48	115	48	114	48	113	48	107	48
49	49	49	110	49	114	49	101	49	103	49
50	50	50	110	50	111	50	101	50	102	50
51	51	51	114	51	111	51	112	51	103	51
52	52	52	114	52	112	52	111	52	103	52
53	53	53	114	53	111	53	114	53	102	53
54	54	54	113	54	111	54	112	54	108	54
55	55	55	111	55	111	55	112	55	108	55
56	56	56	111	56	112	56	114	56	108	56
57	57	57	111	57	111	57	112	57	107	57
58	58	58	111	58	112	58	114	58	107	58
59	59	59	111	59	112	59	112	59	107	59
60	60	60	112	60	112	60	112	60	104	60
133	143	143	128	149	147	128	146	146	122	156
104,6952	111,8571	110,8667	114	112,4762	100,6467	100,8871	102,361	109,8895	104,5	102

第一群	第二群	第三群
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30
31	31	31
32	32	32
33	33	33
34	34	34
35	35	35
36	36	36
37	37	37
38	38	38
39	39	39
40	40	40
41	41	41
42	42	42
43	43	43
44	44	44
45	45	45
46	46	46
47	47	47
48	48	48
49	49	49
50	50	50
51	51	51
52	52	52
53	53	53
54	54	54
55	55	55
56	56	56
57	57	57
58	58	58
59	59	59
60	60	60
61	61	61
62	62	62
63	63	63
64	64	64
65	65	65
66	66	66
67	67	67
68	68	68
69	69	69
70	70	70
71	71	71
72	72	72
73	73	73
74	74	74
75	75	75
76	76	76
77	77	77
78	78	78
79	79	79
80	80	80
81	81	81
82	82	82
83	83	83
84	84	84
85	85	85
86	86	86
87	87	87
88	88	88
89	89	89
90	90	90
91	91	91
92	92	92
93	93	93
94	94	94
95	95	95
96	96	96
97	97	97
98	98	98
99	99	99
100	100	100
101	101	101
102	102	102
103	103	103
104	104	104
105	105	105
106	106	106
107	107	107
108	108	108
109	109	109
110	110	110
111	111	111
112	112	112
113	113	113
114	114	114
115	115	115
116	116	116
117	117	117
118	118	118
119	119	119
120	120	120
121	121	121
122	122	122
123	123	123
124	124	124
125	125	125
126	126	126
127	127	127
128	128	128
129	129	129
130	130	130
131	131	131
132	132	132
133	133	133
134	134	134
135	135	135
136	136	136
137	137	137
138	138	138
139	139	139
140	140	140
141	141	141
142	142	142
143	143	143
144	144	144
145	145	145
146	146	146
147	147	147
148	148	148
149	149	149
150	150	150
151	151	151
152	152	152
153	153	153
154	154	154
155	155	155
156	156	156
157	157	157
158	158	158
159	159	159
160	160	160
161	161	161
162	162	162
163	163	163
164	164	164
165	165	165
166	166	166
167	167	167
168	168	168
169	169	169
170	170	170
171	171	171
172	172	172
173	173	173
174	174	174
175	175	175
176	176	176
177	177	177
178	178	178
179	179	179
180	180	180
181	181	181
182	182	182
183	183	183
184	184	184
185	185	185
186	186	186
187	187	187
188	188	188
189	189	189
190	190	190
191	191	191
192	192	192
193	193	193
194	194	194
195	195	195
196	196	196
197	197	197
198	198	1

第三部

