

1、テーマ：微小重力下での水時計と砂時計

2、実験の目的、概要

[英文アブストラクト]

We propose a series of experiments on a sandglass under microgravity: we observe how granular materials behave differently inside a hopper under a reduced gravity. Granular materials behave sometimes like liquid but sometimes like solid. We expect the behavior of granular medium inside the hopper tends to be more liquid-like under smaller gravity. In addition, we replace grains with liquid to see how the dynamics changes. Due to the stronger effect of capillary force under microgravity we expect the liquid tends to spread on the surface of the hopper. We vary the viscosity of liquid to change the relative importance of inertia to viscosity. We record the phenomena from two different directions and make image analysis to examine the dynamics quantitatively.

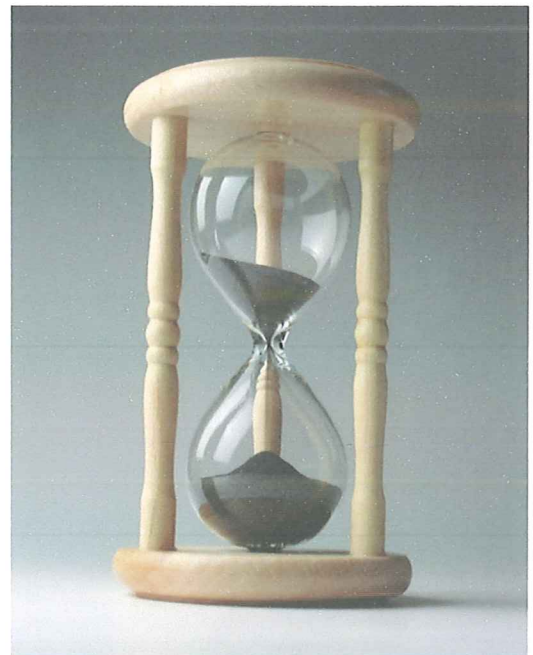
[目的]

この実験では、砂時計と砂時計と同じ形状で中身を水に変えたもの（これを以降水時計と呼ぶ）が微小重力下でどのような動きをするかをビデオカメラで撮影し、解析することを目的として行う。

流体と粉粒体のふるまいに興味を持った学部3年生2人が主体となって行う。

しかし、学部生2人だけでは実験を行うための専門知識に不安があるため、専門の大学院生一人に実験方法・理論等のアドバイスを受けながら企画をしていった。

砂時計を選んだ理由は、あの円錐形の形状がビーカー等の円柱容器よりも面白い現象が期待できると思われたからである。



※1

※1 <http://www.kgmg.jp/sunadokeibig.htm> より引用

[概要]

・重力下でのふるまい

1. 重力下での水時計について

水時計では容器内の水の量が多ければ多いほど、水圧による下向きの力が強くはたらくため、水が早く流れ出る。つまり、水の流れ出る速さは一定ではない。

(このことは時間を計るには不便であるため、日常的に水時計は使用されていない) また、上記のように水量が多いほど早く流れるため、水時計を作る場合に必要な水の量は時間の長さの2乗に比例することが知られている。

2. 重力化での砂時計について

砂時計では容器内の砂の量がどれだけ多くとも、砂の流れ出る速度は一定である。つまり、砂時計は、落ちた砂の量が経過時間に比例する。また、出口の直径が砂粒の直径の6倍より小さいと(図1)のようにアーチを作ってしまう、砂は流れ出さない。

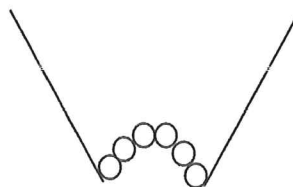
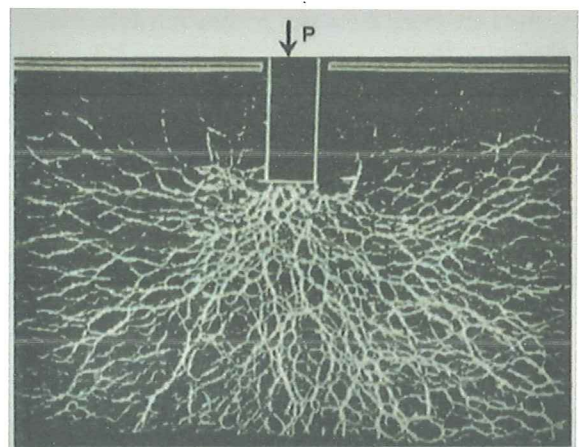


図1

砂時計がなぜ一定の速度で落ちていくかを考える。

水の場合は水量によって圧力が変化しているが、砂時計は砂の量によって圧力が変化しない。粉粒体はその名の通り粒の集まりであるため、力が下方向に働だけでなく、写真のように力が分散する性質を持っている。



※2

これを図として簡単に描くと、図2のようなイメージになる。

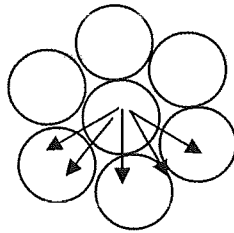


図 2

粉粒体は上記のように、力が分散するという性質から、ほぼ一定の速度で流れることができる。

※2 圧力をかけた時に2次元粉粒体内部で観察される応力パターン

これは上から圧力をかけた場合の様子だが、重力だけが作用している場合でも、同様に力は分散する

P. Dantu, in *Proc. of the 4th International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, vol.1 (London: Butterworths Scientific, 1957), p.144.

・実験方法

今回の実験では、親油性の砂時計の形の容器に、油と2種類の粉粒体（砂と小麦粉）の計3種類で行う。

※粘性の低い水だと重力が急激に変化する際、慣性によって一気に飛びあがってしまう可能性がある。表面張力のはたらきのみを観測するため、粘性の高い油を使用することにする。

今回の航空機を使った実験では2G から0G の間での重力の変化がある。この可変重力下でのふるまいも観測したいため、容器上部から落下をし始めた状態でスタートさせ、2方向からビデオカメラ（30分の1秒まで解析可能）で撮影する。

今回の実験の性質上、機体の傾きによって非対称な外力がかかるため、カメラを二台使用して2方向から撮影する。

・期待する成果

1. 水時計

無重力状態では、

- A, 表面張力の影響で図2-aのように壁に広がっていき中央は空洞ができる
- B, 中央の細い部分で毛管上昇が起き、ある程度上に来たらまた表面張力で壁沿いに広がる(図2-b)

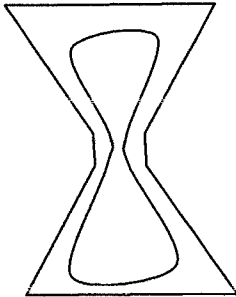


図2-a

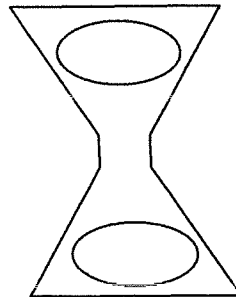


図2-b

のどちらかになると予想する。

2. 砂時計

粉粒体は外力の働かない重力下では、重力によって互いに押し付けられているため流動性のない、「固体状態」と考えられる。これは、物質が分子間で働く力によって固体状態を形成しているのと同じような状態である。微小重力下で押し付ける力が無くなると、粒の間での力が無くなり、分子同士がある程度自由に動ける流体のような動きをすることを考えることができる。

実際、重力がある状態で下から空気の流れにより重力を打ち消すと、粉粒体は流体のようにふるまう。これだけだと、空気の流れによる力が重力と完全に釣り合っていないといけないうように聞こえるが、

(1) 重力よりも弱い場合

このとき、粉粒体は重力によって下降する。そのうち粒同士の間が狭くなるた

め、ビルの間を吹き抜ける風が強いように、粒同士の狭い隙間を流れる空気の流れは周りより速くなる。そうすると、重力と釣り合うようになる。

(2) 重力よりも強い場合

このとき、粉粒体は空気の流れによって上昇する。そのうち粒同士の隙間が広くなり、粒同士の隙間を流れる空気の流れは周りよりも緩やかになる。そのため上向きの力が弱まり、重力と釣り合うようになる。

※ただし、空気の流量は一定とする。

このため、粉粒体は多少の昇降をしながら重力とバランスをとることができる。ただ、極端に流れが強かったり弱かったりする場合は、吹き飛んでしまったり落ちてきてしまったりする。完全にピンポイントで釣り合う必要性はないが、ある程度の制限はある。

また、流体としての粉粒体の粘性は、下から吹き上げる空気の速度に依存する。これは摩擦としての粘性が空気抵抗によるものだからである。微小重力状態により重力の影響を無くした場合、空気と粒の相対速度は0であるため、粘性のない完全流体になる可能性も考えられる。

また、もし粉粒体にも表面張力があるのなら、2G から0G の間で、広がっていた水や砂が、一気に大きな塊となることも考えられる。

参考文献：

- 田口善弘著 「砂時計の七不思議」(中公新書)
J.デュラン著 「粉粒体の物理学」(吉岡書店)

使用器具：

- ・ 砂時計 (中身は油、小麦粉、砂の3種類を用意)
- ・ ビデオカメラ×2
- ・ 照明器具
- ・ ついたて

3、実験内容の区分

物理

4、実験手順

(離陸前)

試料：砂、油（ポリジメチルシロキサン、PDMS）、小麦粉

1. 各砂時計（試料が下部の半分ほど入っているもの）の上下底面を、両面テープでセルの上部・下部に固定する。
2. セルを装置にセットする。
3. ビデオカメラのセットをする。
4. 照明をつける。

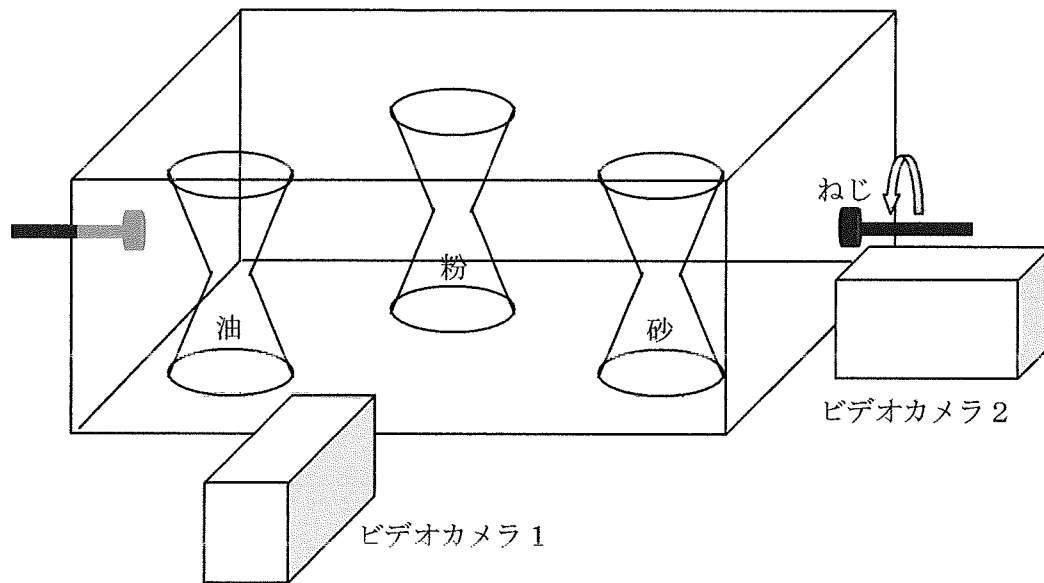
(フライト中)

1. セルの横部のねじを緩める
2. セルごと回転させて上下を入れ替える。(2回に1回のペースで行う)

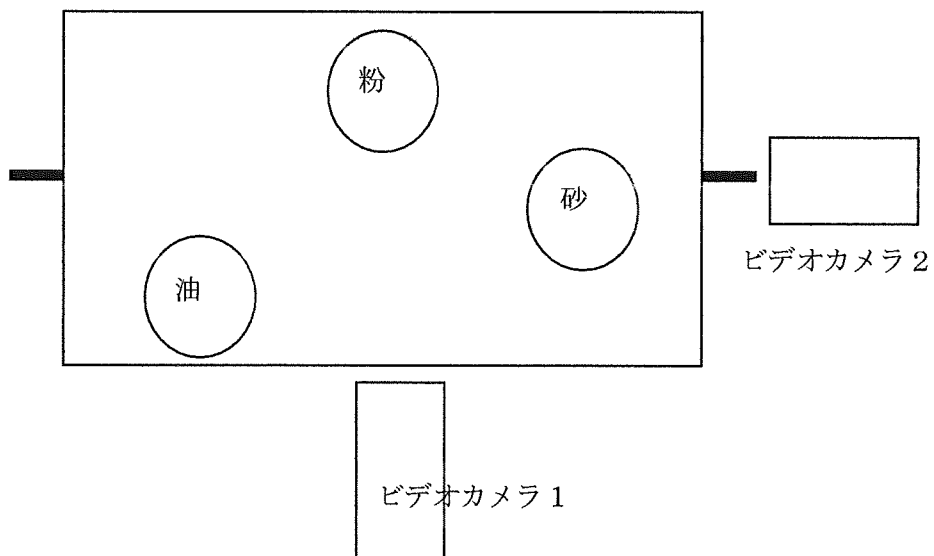
観察・測定項目

- ・粉粒体、流体の種類による差異
- ・ホッパー内での速度
- ・形や動きを見る
- ・粉粒体は本当に液体のようになっているかどうか

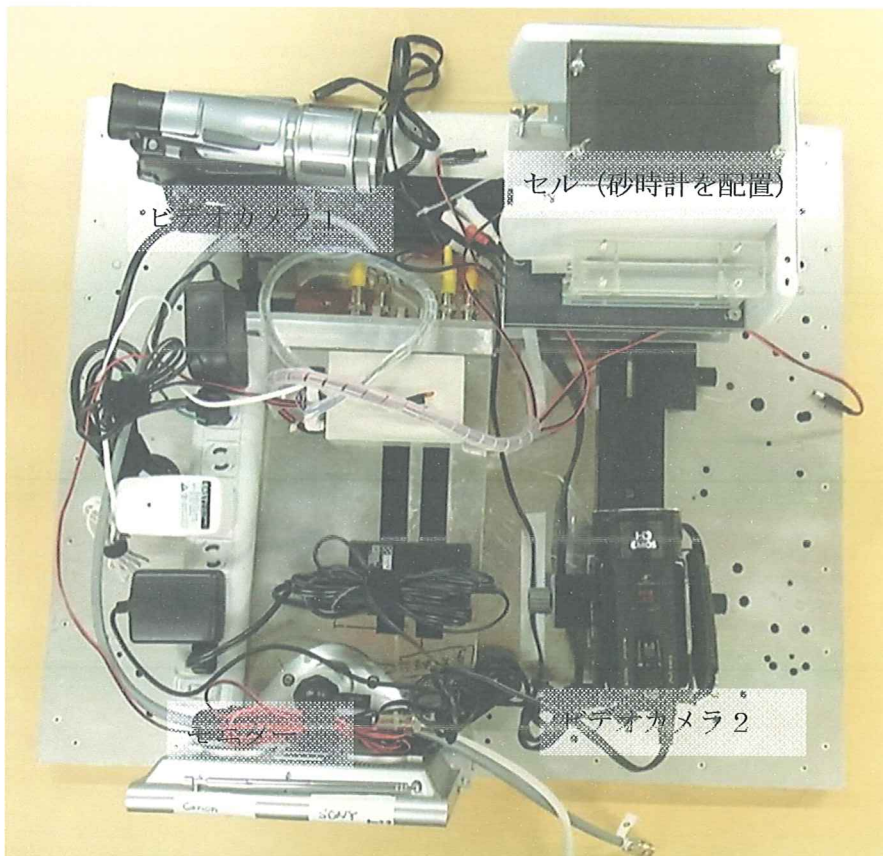
5、実験装置



上から見た図



実物写真



6. 実験装置のサイズ／重量概算

幅 600mm × 奥行き 500mm × 高さ 500mm / 12kg

7. 必要な電源容量概算

AC100V、(ビデオカメラ 18w × 2、証明 24w)

8. 実験支援装置の利用要望

実験開始信号

(実験後、ビデオカメラの映像と重力加速度の時間変化を対応させたい)

9. 危険物等の搭載の有無

無

10. 実験実施時の航空機への搭乗希望有無

(有 ・ 無)

11. 役割分担

(チームメンバーの役割分担が決まっていたら記入してください)

12. その他特記事項