代表提案者　荒井俊哉

受付番号

応募フォーム詳細

1.　実験テーマ名

微小重力下における水と油の２重液塊の回転

（チーム名：東京大学無重力ゼミ）

2　実験の目的・概要

2－1.　実験の目的

水と油が入った容器を微小重力状態にすると、過去の実験から油が容器の外側に移動し、水が容器の内側に移動して表面張力によって１つの水の塊を形成することがわかっている。油が容器内の外側に行くのは、水よりも油のほうが濡れ性がよいためである。一方重力下でこのような容器を回転させると、水が外側に移動しようとする力が働く。これは油よりも水の方が比重が大きく、単位体積あたりに働く遠心力がより大きいためである。この実験は、微小重力下で図１のようになった水の塊を回転させると、どれくらいの回転数のときに水の塊がどのような変形、挙動を示すのかを観察解析することが目的である。

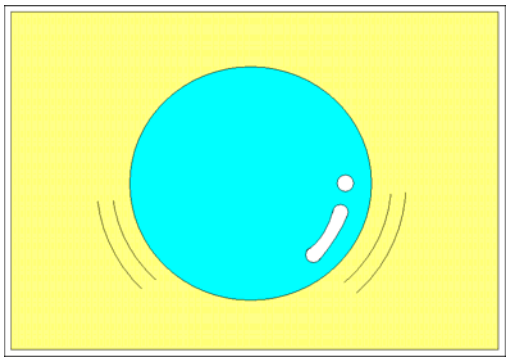


図１　微小重力

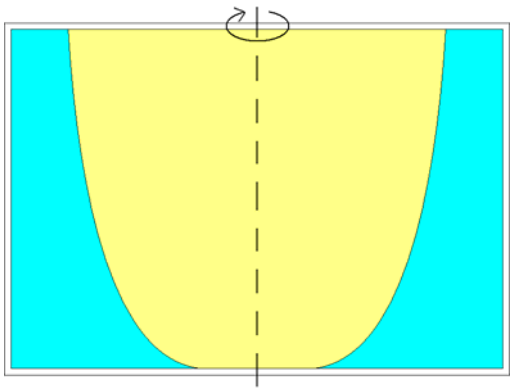


図２　重力下で回転

2－2.　実験の概要

右図のような底が円錐型にくぼんでいる容器に水を120ｃｍ^3〔２日目は240ｃｍ^3〕、サラダ油を1440ｃｍ^3（２日目は1320ｃｍ^3）入れ、空気が容器内に残らないように密閉する。水は観察しやすくするために図４のように赤く着色する。微小重力状態になったあと

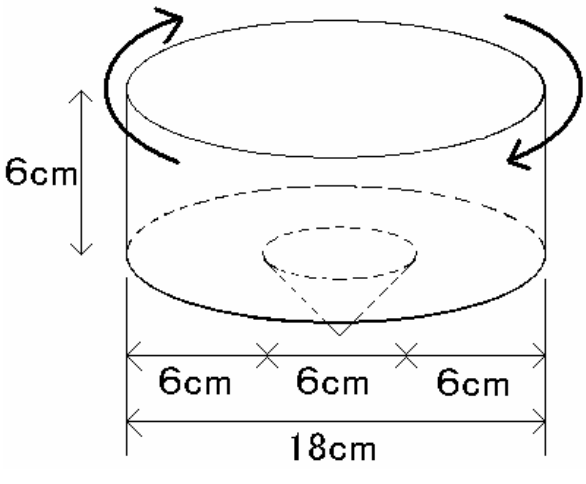


図３

にこの容器を回転台の上で回転させる。約 20 秒間の実験の間は回転数を一定にし、実験ごとに回転数を多くしていく。水が油の体積に比べて少ないのは、水を容器の壁から離れやすくし、水の塊ができやすくするためである。また容器の底の円錐形のくぼみには実験が開始する直前に水が集まって入っているので、微小重力状態に入ってから水が塊を形成するのにかかる時間を少なくすることができる。さらにこのくぼみは水の塊をなるべく回転の中心に来させる働きもある。水が容器内の内側に来ることは分かっているが中心にくる必然性はない。そのためもし水の塊が回転軸からずれたまま回転させると、水の塊はすぐに容器の側面に張り付いてしまう。水の塊が回転軸を通っていれば、外側に張り付くことはない。

図４　油と赤い水

2－3.　実験の予想

重力下では水と油は図５のような位置関係になっている。

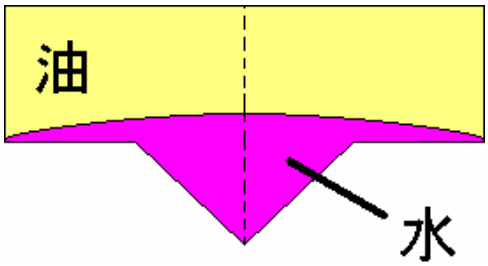


図５

微小重力状態になると油が容器内の外側に移動し、表面張力によってしだいに中央に水の塊ができ始める。

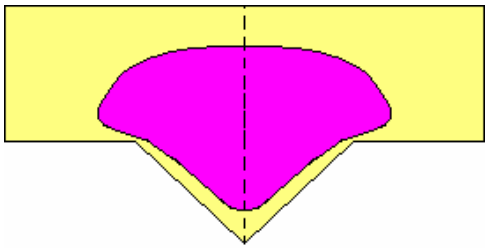


図６

回転を開始すると、はじめは球が上下から押しつぶされたような形になる。その後は予想１と予想２が考えられる。

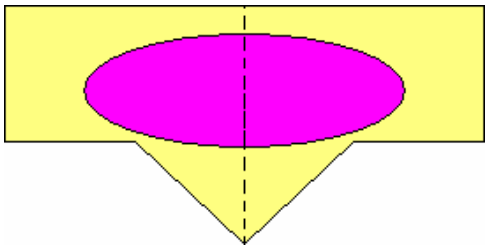


図７

予想１　中心がくぼむ

①　水の塊に働く表面張力の影響が大きい場合

（回転数が少ない場合）

図７のような形で安定する。または水の塊の外側のほうが遠心力の影響を少し受けて外方向に力が働き、遠心力の比較的小さい中心付近は上下が少し窪んでいき赤血球のような形で安定になる。

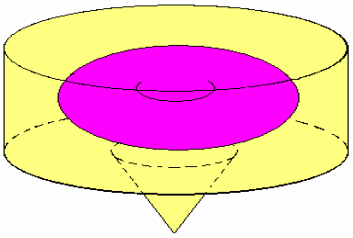


図８

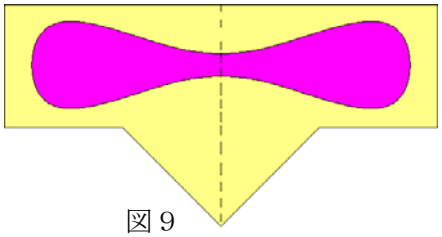


図９

②　遠心力の影響が大きい場合

（回転数が多い場合）

外側に向かって大きな力が加わるので、図 10 のように水が容器の側面に張り付く。

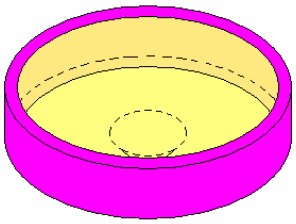


図 10

③　①と②の間

図９と図 10 の間には中間の状態があると考えられる。図９の状態になったあと水の塊はさらに中心が上下からくぼみ、図 11 のように水の塊の回転軸あたりに穴が開きドーナツ型になると予想できる。

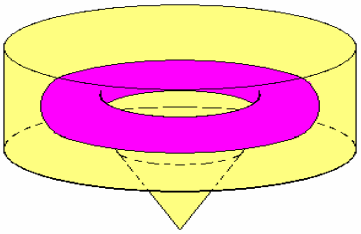


図 11

予想２　中心の周囲がくぼみ中心には小さな水の塊ができる

中心付近は遠心力が非常に小さいため表面張力の影響が大きくなり、中心で水が小さな塊をつくる。そのほかの水は予想 1 と同様の挙動を示す。回転数が大きいほど中心の水の塊は小さくなると考えられる。

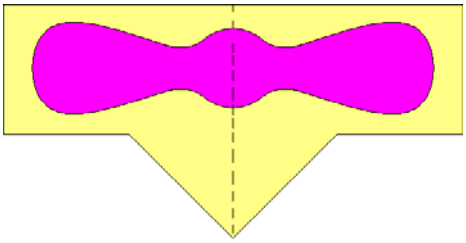


図 12

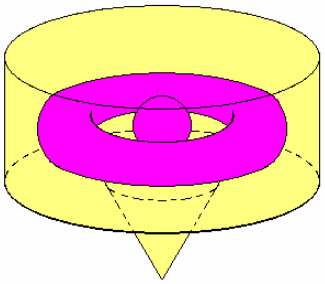


図 13

2－4.　なぜ水の塊がくぼんでいくと考えられるか。

①地上の現象から考える

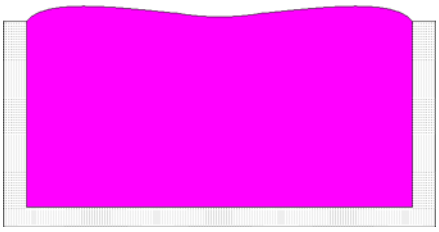


図 14

重力下で小さな容器にあふれない程度の水を入れ回転させると右図のようになる。水は遠心力によって中心がくぼみ外側が表面張力によってふくらむ。微小重力状態では図 14 の上部のような現象が起こると考えられる。上部を組み合わせると図 15 のような赤血球形になる。さらにくぼむとドーナツ形になると考えられる。

図 15

②シミュレーションで考える

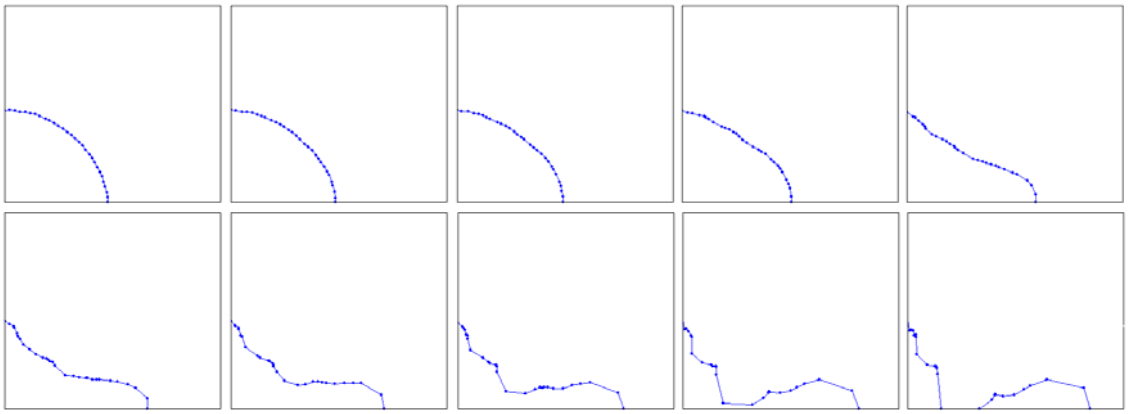


図 16

上の図はこの実験をシミュレーションしてみたもので、断面図を４分の１にしたときの様子を示している。左下の領域が水の塊である。遠心力による位置エネルギー（中心軸からの距離の２乗に比例するエネルギー）と界面エネルギー（界面の面積に比例するエネルギー）の和が減少していくように設定すると、上のような変化をした。このシミュレーションでは中心はくぼまず、中心近くがくぼむことが示されている。

2－5.　微小重力でなければならない理由

重力下では表面張力や油が容器に張り付こうとする力の影響が重力に比べて非常に小さいので、界面が放物線の回転体のような形になるだけである。よって水の塊をつくるにはやはり微小重力下でなければならない。

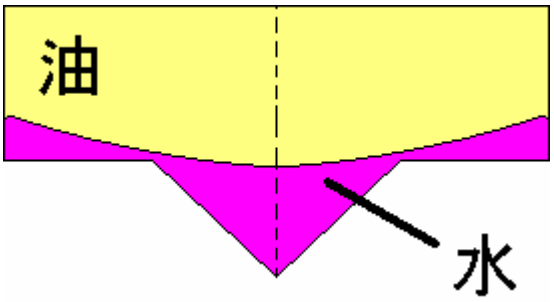


図 17

2－6.　回転数について

回転数がＳ(／分)のとき、中心軸からの距離がｒ(ｃｍ)の位置にある液体に加わる加速度をａ(m/ｓ²)とする。また、回転の角速度をω(rad/s)とする。このとき

$$a = (r \times \frac{1}{100}) \times \omega^2$$

$$S = \frac{1}{2\pi} \times \omega \times 60$$

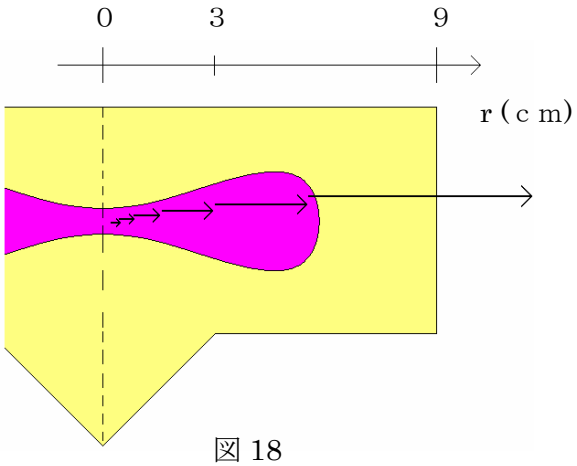


図 18

これらからωを消去すると、

$$a = \frac{\pi^2}{90000} \times S^2 \times r$$

つまり加速度ａは回転数の二乗に比例し、回転軸からの距離に比例する。
ここで回転軸から約３ｃｍ（この前後に水が多く存在する）の距離にある液体に加わる加速度が重力加速度に等しくなるときの回転数を計算する。

ｒ＝３（ｃｍ)、ａ=9.8(m/ｓ²)のとき、

Ｓ≒ 172 (／分)

このとき中心軸から３ｃｍの距離にある液体に加わる加速度が重力加速度に等しいので水は側面に張り付く。(∵重力下では水が下にくるため)

∴実験では回転数を１７２(／分)以下で変化させる。

3　実験内容の区分

物理

4.　実験手順

実験に使うもの

・水　　120ｃｍ³（２日目　240ｃｍ³）
・サラダ油　1440ｃｍ³（２日目 1320ｃｍ³）
・容器
・回転台
・回転数調整装置
・鏡
・カメラ２台
・液晶画面（照明用）　←・容器が反射しにくくなる。
　・液体の中で光が散乱するので１つの液晶画面で２台のビデオカメラの照明として使える。
・スイッチ　←・スイッチの中にばねが入っていて、無重力状態になると電源が on になる。

実験手順

１．水 120ｃｍ³（240ｃｍ³）、油 1440ｃｍ³（1320ｃｍ³）で満たした密閉容器を回転台にセットする。
２．回転数をセットする。（１回目は 10(/分)）
３．液晶画面とビデオカメラのスイッチを手動で入れる。
４．微小重力状態になると回転台のスイッチが自動的に入り、容器が回転を始める。
５．水の塊が動く様子や形を観察しビデオカメラで記録する。
６．実験ごとに回転数を 10(/分)ずつ上げていく。ただし水が側面に張り付いた場合それ以上回転数を上げても変化は見込めないので回転数を５(/分)下げる。ここで再び水が側面に張り付いた場合は回転数を２(/分)下げ、そうでない場合は２(/分)あげる。また１回目、２回目、３回目であまり変化しない場合、側面に張り付く最小の回転数に到達するまで時間がかかってしまうので、次からは 20(/分)ずつ回転数を上げていく。このようにして水が側面に張り付く直前の回転数をめざして回転数を変化させる。この回転数より少し小さい回転数で「実験の予想」で示した赤血球形やドーナツ型の水の塊ができると考えられるからである。

例１　回転数 50、49(/分)で水が側面に張り付いた場合

実験	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
回転数(/分)	10	20	30	40	50

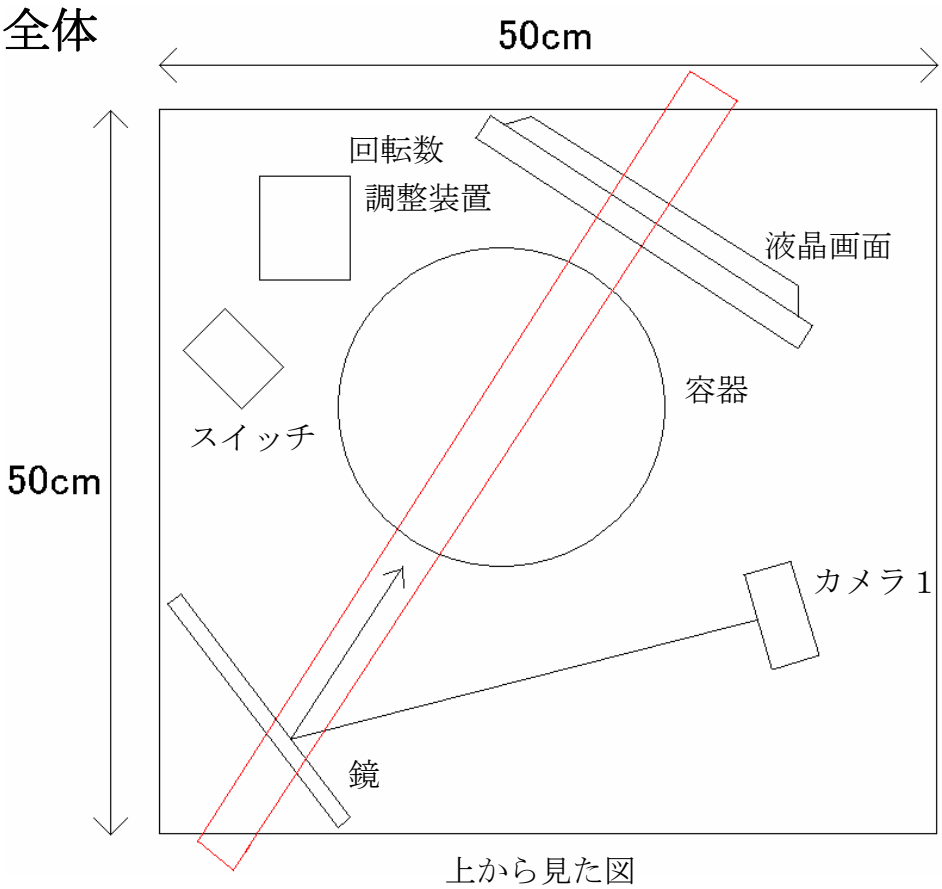
6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
45	47	49	48	48

例２　回転数 90、85、83(/分)で水が側面に張り付いた場合

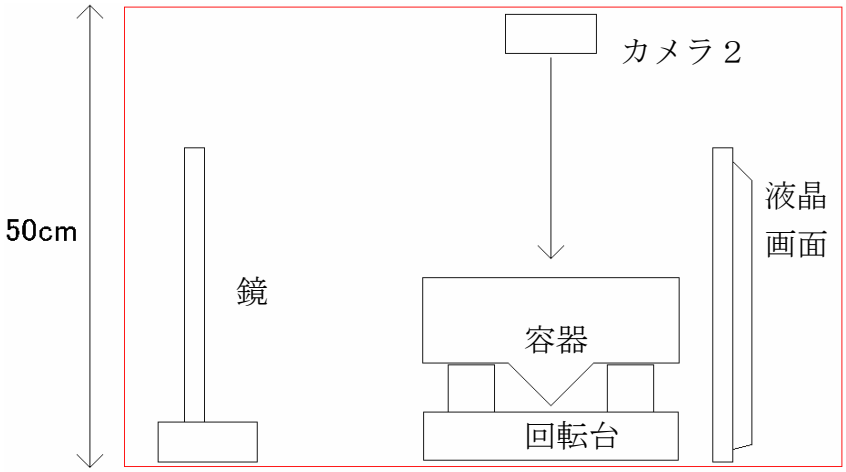
実験	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
回転数(/分)	10	20	30	50	70

6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
90	80	85	83	81

5.　実験装置概要

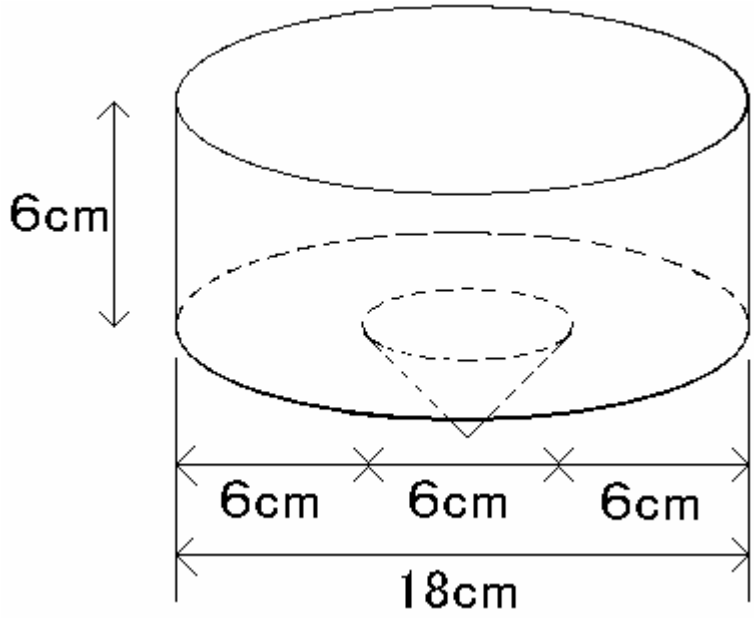


上から見た図

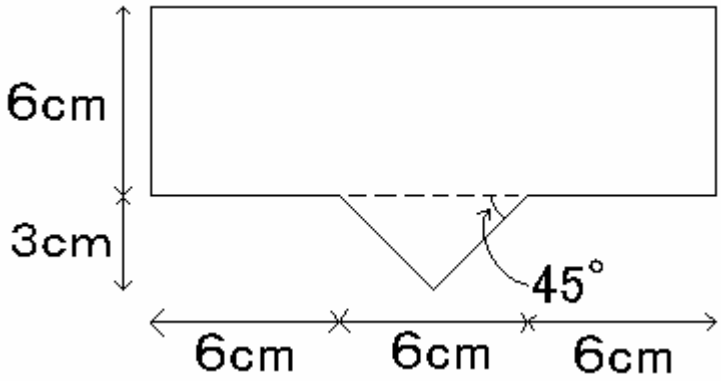


断面図

容器



立体図



断面図

6. 実験装置のサイズ／重量概算

サイズ・・・　50cm×50 cm×50cm

重量・・・・　１５kg以内

7. 必要な電源容量概算

100Ｖ、３Ａ以内

8. 実験支援装置の利用要望

CCD カメラ２台

9. 危険物等の搭載の有無

無し

10. 実験実施時の航空機への搭乗希望有無

有

11. 役割分担

未定

12. その他特記事項

特になし