

地球流体力学演習 2021:後半

担当: 久保川 厚

1 はじめに: 目的と方法

我々は、自転する地球の上に住んでいるにも関わらず、回転を意識することはなく、それ故に、回転の効果は知識としては入ってくるものの、なかなか実感することはできない。この授業は、回転水槽実験等を行い、回転しているとどのようなことが起きるかを見、考え、回転系での物理を考えられる感性を磨くことを目的とする。

講義では、ニュートンの運動方程式に基づき、流体及び回転流体の力学を考えてきた。ここでは、数学的定量性は目指さず、シンプルな概念による理解を目標とする。例えば、素朴な「何故」に答えられる、もしくは、答えに到達できなくても、それに向かって考えることができるようになることを求める。もちろんシンプルな概念は式を用いた方がわかりよい場合もあるが、数学的なことは求めない(算数の範囲内)。

水槽は円筒形で、水の密度は一定。極めてシンプルな世界である。水槽の回転速度に比べて、水槽内の水に相対的流れは弱い(ロスビー数が小さい)。流れは着色水の分布の変化で推測する。我々地球人は地球自転に比べて非常に遅い流れを地球上で地球とともに回転しながらで見ている。それと同様に、水槽と一緒に回転するカメラ(水槽人の視点)を設置する。見ただけではわからない水槽人の気持ちも、必要な場合には、推察する。水槽人から見える世界の法則を理解するには、慣性系からの視点(宇宙人の視点)も必要である。我々は、両方の視点を行きつ戻りつ、地球上の大規模な流れの法則の理解を目指す。

成績は、授業参加状況とレポートでつける。レポートは、実験のまとめ、自分の理解したことを書く。

なお、授業はBCPレベルが上がらない限りは対面で行う。実験映像の一部はzoom(講義と同じURL)で見えることはできるが、リモート参加者向けには授業は行わない。

2 授業の予定と要点

授業は3回(07/02,07/09,07/16)行い、各回、テーマは2つずつを予定している。水槽実験は5種類行う。

2.1 回転系と非回転系の違い:染料の広がり方 (07/02-1)

水槽に水を入れ、シリンジを用いて、水の中に赤い染料を注入する。なお、シリンジは斜めにして、水面近くから勢い良く注入する。どのように広がるか。まず、水槽が回転していない状態で行う。次に、水槽を十分な時間回転させ、水槽と水槽内の水が一緒に回転している状態で、同様のことを行う。回転している場合も水槽人から見て同じ実験になるように、実験者は水槽と一緒に回転しながら注入する。

注目点・考察点

- 回転していない場合の、広がり方。その特徴
- 回転しているときの広がり方。その特徴
- 回転しているときの広がり方から、流れの特徴を推察する。(流れと染料の広がり方の関係)
- 回転しているときの流れがそうなる理由

2.2 底近くの流れと上空の流れ：高気圧と低気圧 (07/02-2)

水槽に水を入れ、水槽内の水が水槽と一緒に回転するまで待つ。水槽の中央の底部にシリンジを用いて、染料をゆっくりと注入し、染料を水槽の半径の $1/3$ から $1/2$ 程度の半径を持つ円領域に薄く広げる。染料は、底に接しており、その厚さは 1mm に満たないようなものである。その状況で、水槽の回転速度を少しだけ変える。水槽の底の染料はどう振る舞うか。

注目点・考察点

- 回転速度を速くする場合、遅くする場合、それぞれどうなるか。
- 宇宙人の視点で、その理由を説明する。力のバランスとその崩れ。
- 水槽人から見たとき、回転速度を変える前の世界はどのような世界か。
- 水槽人から見たとき、回転速度を変えたときの世界は、どう見えるか。
- 水槽人から見たときの力のバランス。高気圧と低気圧。

2.3 回転する水槽から水を抜くとどうなるか (07/09-1)

実験に用いる水槽には、側面下部に蛇口が付いており、そこから水を抜けるようにしている。水槽内の水が水槽と一緒に回転している状態で、コックをひねり、蛇口から水を少しずつ抜く。その時、水槽内ではどのような流れが生じるか。

注目点・考察点

- 水を抜いたときの水の動き方を、第1回目の実験(07/02-1)に基づいて考える。
- その結果と渦度の力学に基づいて、生じる流れを説明する
- 抜き始めてから十分に時間が経った後は、どうなるか。第2回目の実験(07/02-2)の結果を思い出しつつ考える。
- 水を抜くことと地球大気海洋の関係は？

2.4 底の地形と流れ (07/09-2)

水槽の底に、すり鉢状(中心が深く、周囲が浅くなるような傾斜を付けた)底板を沈める。この底板には、一箇所、中心から端まで伸びる幅の狭い盛り上がり(山)を付けている。この山は低い。水槽内の水が水槽と一緒に回転している状態で、コックをひねり、蛇口から水を少しずつ抜く。その時、水槽内ではどのような流れが生じるか。

注目点・考察点

- 山がない場合にどうなるかを、第3回目の実験(07/09-1)に基づいて考える。
- 次に、山がある場合について考える。この時、等深線分布に着目する。
- 余裕があれば、コーン型(中心が浅く、周囲が深くなるような底)なる底の場合どうなるか、考える。

2.5 地球が丸いということ (07/16-1)

車輪と回転椅子を用いた実験。実験者は椅子に座って回転する。車輪が回転していない状態で、車輪の回転軸を水平にする。椅子を回転させている状態から、車輪を持ち上げ、車輪の回転軸を水平から垂直に向けて少しずつ傾けていく。このときに、車輪の車軸周りで

の回転がどう見えるか。椅子に座っている人(地球人)と外から見ている人(宇宙人)、それぞれからどう見えるかを観察する。

注目点・考察点

- 地球人と宇宙人、それぞれからの見え方を記述し、説明する。
- 地球上での流体の南北移動の影響について考察する。
- 水槽が丸い地球を模しているとした時、水槽の深さ分布と東西南北はどう関係するか。
- 第4回目の実験(07/06-2)を丸い地球に当てはめて考える。

2.6 深さ分布と流れII(07/16-2)

水槽の底に、水槽の内径と同じ大きさの亚克力円盤を沈め、その一方を持ち上げることにより、底を一様に傾ける。水槽を回転させ、水槽内の水が水槽と一緒に回転している状態で、コックをひねり、蛇口から水を少しずつ抜く。その時、水槽内ではどのような流れが生じるか。

注目点・考察点

- 第3回目の実験(07/06-1)との違いを考える
- 第2回目の実験(07/06-2)で得た知見も用い、この実験での定常バランスがどのように成り立っているかを考える。
- 地球の現象に当てはめる。水を抜くことは何に対応するのか。