

どうして回転水槽か？

- 実際の気象・海洋現象は様々な要因が複雑に絡み合っている。
⇒ その現象に本質的なメカニズムがわかりにくい。
- 回転水槽では、様々な要因を全て取り除くことができる。
⇒ 現象に本質的なメカニズムのみを抽出できる。
- 本質的なメカニズムが特定できれば、それを引き起こす要因を観測することで、現象発生の予報に役立てられる。

計算機が発達する以前は、回転水槽によって現象のメカニズムを理解する研究が盛んであった¹。

現在では、計算機によるシミュレーションで現象のメカニズムを理解する研究が多く行われる。

例えば台風の場合

- 発達の本質的なメカニズムは？(中心付近での活発な積乱雲)
- そのメカニズムを引き起こす要因は？(高い海面水温)
- その要因を観測できるか？(衛星観測・海洋ブイ観測)
- 観測結果から発達を予報できるか？(計算機によるシミュレーション)

¹ 参考文献：菊地他，1988，実験気象学入門，東京堂出版。

実験に必要なもの

回転台 電動ろくろ

水槽 円形水槽 (今回の実験の場合)

作業流体 水道水

塩水 500 cc 水道水 + 塩大さじ 1 杯

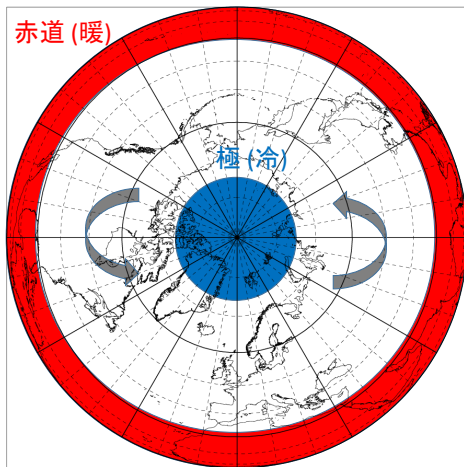
可視化 赤・緑色の食紅

塩水注入 ドレッシング容器

障害物 500 cc ペットボトル + 水道水

実際の地球

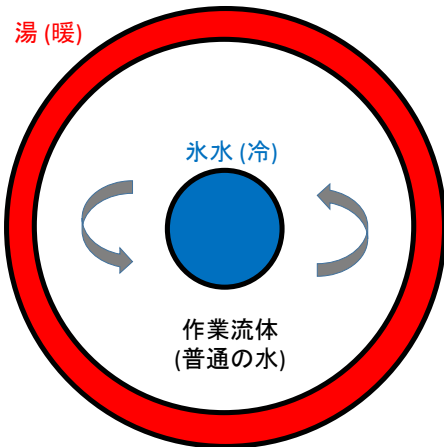
地球では、極 (自転軸に近い領域) で温度が低く、赤道 (自転軸に遠い領域) で温度が高い。



地球のモデル化

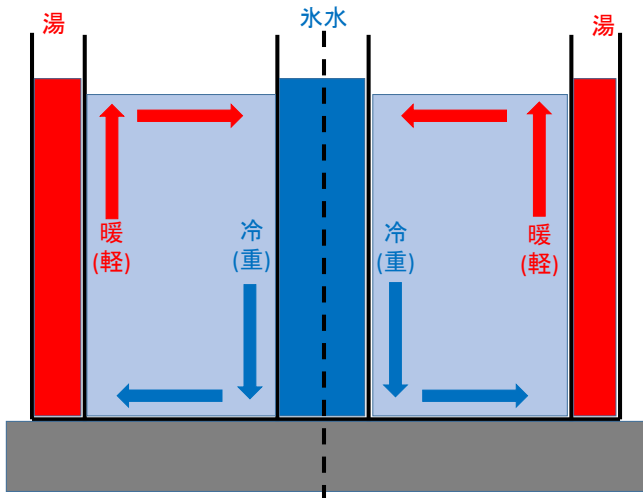
水槽に地球を再現 (モデル化) するには,

- 自転を再現するために, 水槽を回転させる.
- 極を再現するために, 水槽中心を冷やす.
- 赤道を表現するために, 水槽外側を温める.



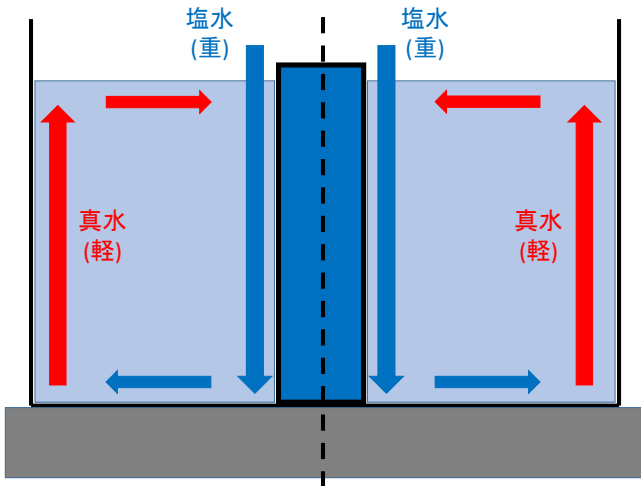
水槽を横から見ると

- 中心は冷たい (重たい) ので水は下に潜り込む.
- 外側は温かい (軽い) ので水は上に昇る.



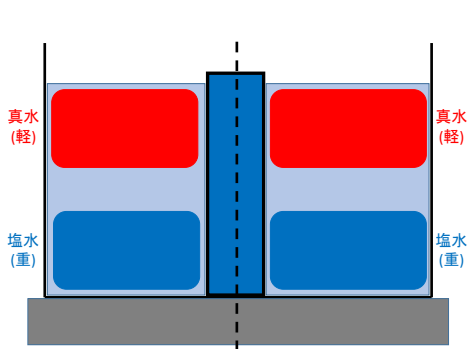
さらなる簡略化

この流れは作業流体 (水) の密度差によって引き起こされる。
⇒ 別の方法でこの流れ (密度差) を再現する。



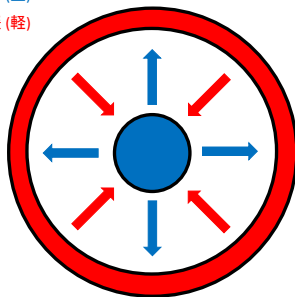
回転がなければ

中心に注入した塩水は真水の下に潜り込んで 2 層に分かれる。



横から見た図.

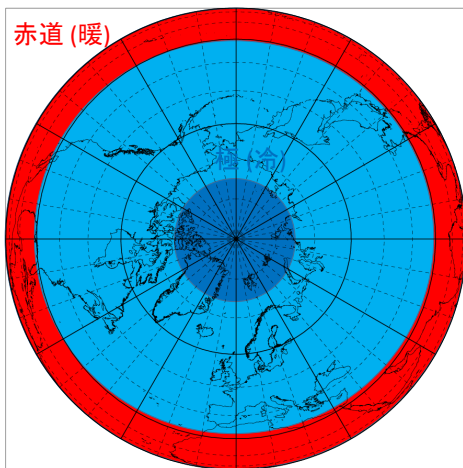
→ 冷 (重)
→ 暖 (軽)



上から見た図.

もし地球が自転していなければ

地球上の大部分では温度 (密度) が一様に分布する。
⇒ 北海道と沖縄でほぼ同じ温度になる。

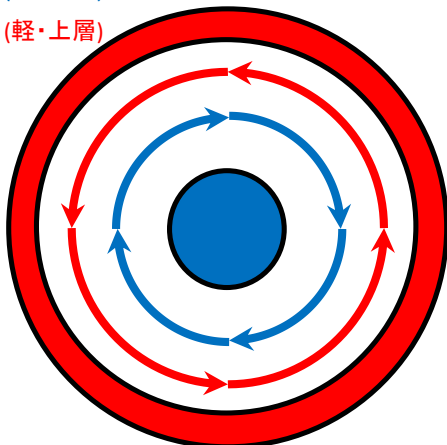


地球 (水槽) が自転 (回転) していれば

- 中心の重い水はすぐに外側には広がらない。
- 水槽の下は回転方向と逆回りに、水槽の上は回転方向により速く流れ出す。

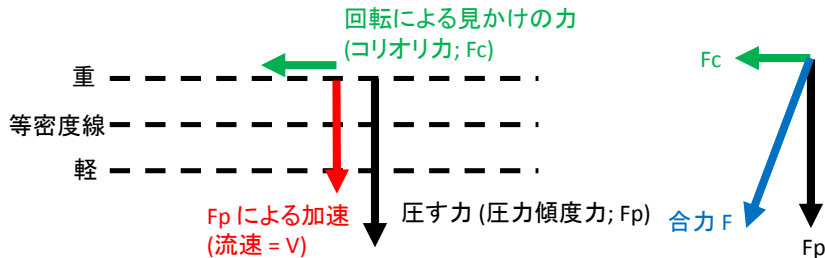
➡ 冷 (重・下層)

➡ 暖 (軽・上層)



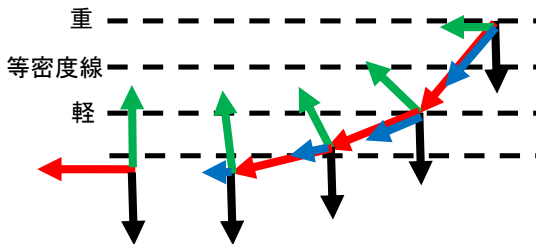
回転系での不思議な流れ

- 回転水槽の中では、密度差によって中心から外へ押す力 (圧力傾度力) の他に、**流れの向きに右向きに働く力 (コリオリ力)** が働く。
- これらの**合力**によって、水は密度の同じ線 (等密度線) に沿って流れ出す (地衡流)。



回転系での不思議な流れ

- 回転水槽の中では、密度差によって中心から外へ押す力 (圧力傾度力) の他に、**流れの向きに右向きに働く力 (コリオリ力)** が働く。
- これらの**合力**によって、水は密度の同じ線 (等密度線) に沿って流れ出す (地衡流)。



圧す力 (圧力傾度力; F_p)

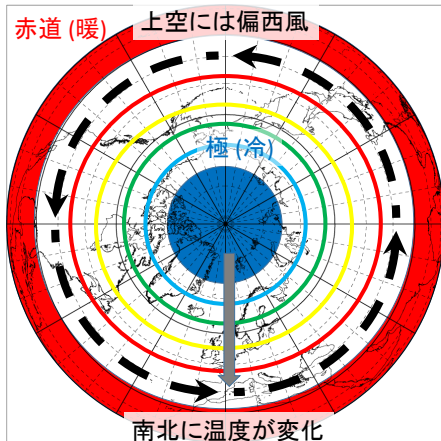
回転による見かけの力 (コリオリ力; F_c)

2つの力の合力 (F)

水の移動する方向 (=風向)

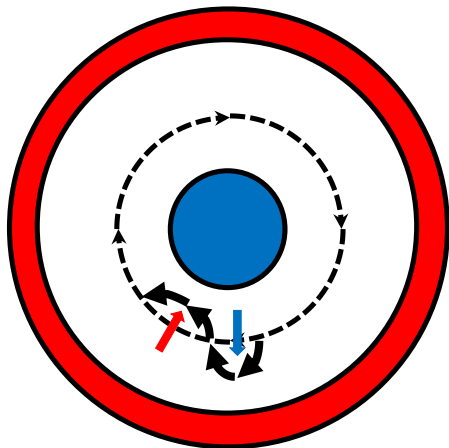
地球 (水槽) が自転 (回転) していれば

- 等密度線 (等温度線) が回転軸と同心円状に広がる.
- 北から南に徐々に温度が変化するようになる.
- 上層にできる西向きの流れが偏西風に相当する.



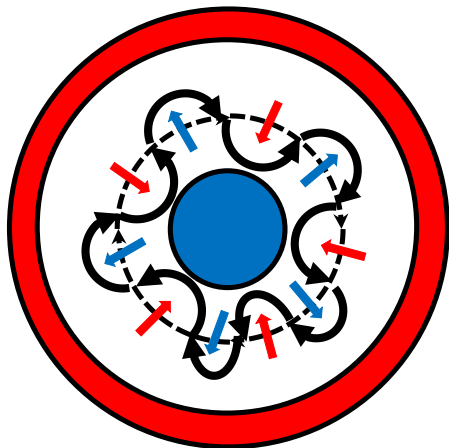
実際の地球 (水槽) では

このようなきれいな同心円にはならない。
地形の起伏などで地衡流が乱される。



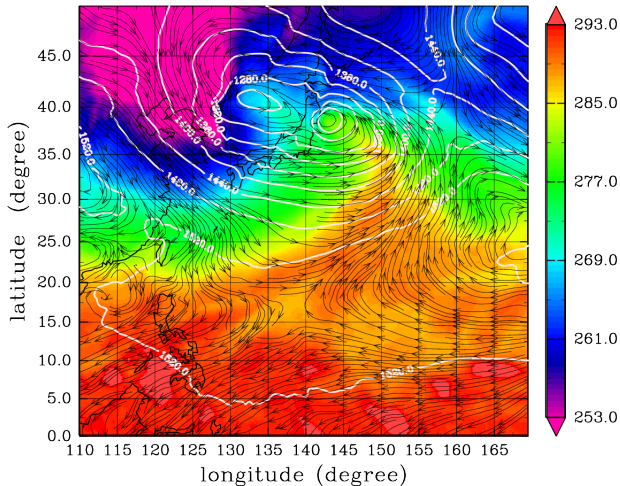
実際の地球 (水槽) では

このようなきれいな同心円にはならない。
地形の起伏などで地衡流が乱される。



温帯低気圧の発達

2016011812 (850.0hPa)



日本付近における 850 hPa 面での温度分布 (カラー) とジオポテンシャル高度 (白等値線).

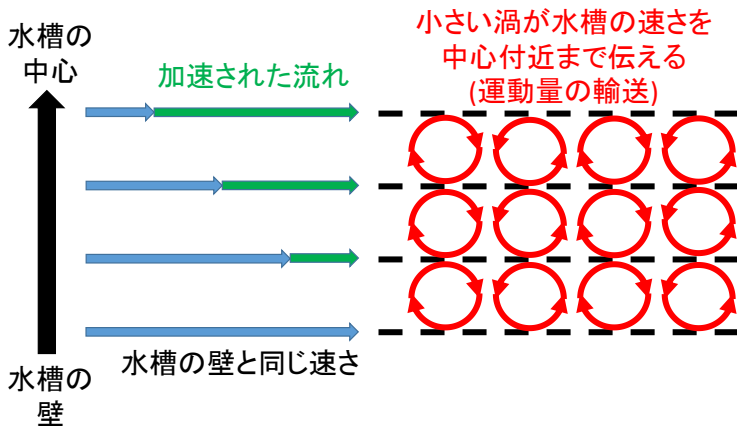
流れの伝わり方

水槽の水は最初、止まっている。この状態から回転台と同じ速さで流れるようにするには...

- 回転台の回転はすぐに水には伝わらない (水槽は回転台と同じ速さで回っている)。
- 水槽の壁に近い水が壁に引っ張られて流れ出す。
- 壁側の水と中心側の水に流速の差が生まれる。
- 水はこの流速の差を無くすために、小さな渦を作る。
- 小さな渦は壁側の水を内側に、内側の水を壁側に輸送することで、高速な外側の水を低速な内側の水と入れ替える。
- 次第に内側の水に回転の速さが伝わり、最終的に回転台と同じ速さになる。
- 内側の水視点で見ると、小さな渦によって外側の運動量が輸送され、加速されたことになる。

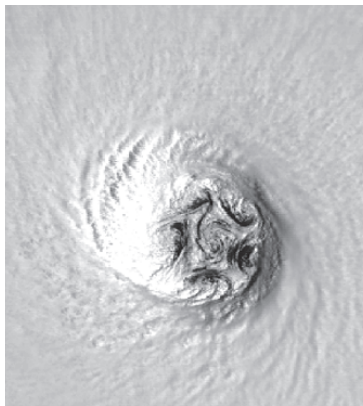
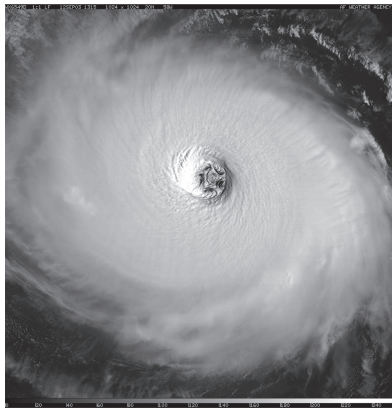
回転の初めには小さな渦で必死に速さを伝える様子が見えます。

流れの伝わり方



台風之眼

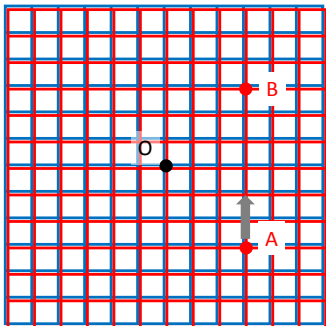
台風の中に小さな渦ができると、**台風の強風の一部を内側に輸送することで台風の強さを弱くすることもある。**



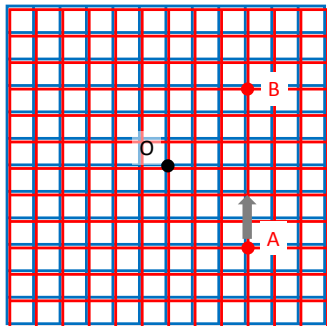
ハリケーン Isabel (2004) の衛星画像 (Kossin and Schubert, 2004).

コリオリ力

- 回転座標系 (地球上) から見たときに, 物体に働く「見かけの力」.
- 絶対座標系 (宇宙空間) から見ると, その物体は等速直線運動している (力は働いていない).



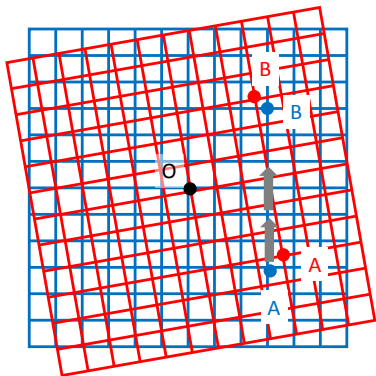
宇宙空間から見た等速直線運動.



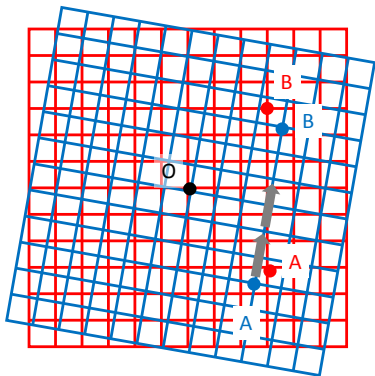
地球上から同じ運動を見ると...

コリオリ力

- 回転座標系 (地球上) から見たときに, 物体に働く「見かけの力」.
- 絶対座標系 (宇宙空間) から見ると, その物体は等速直線運動している (力は働いていない).



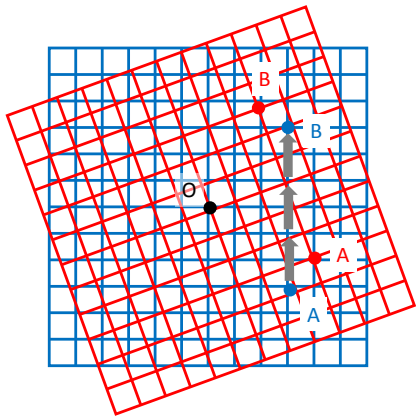
宇宙空間から見た等速直線運動.



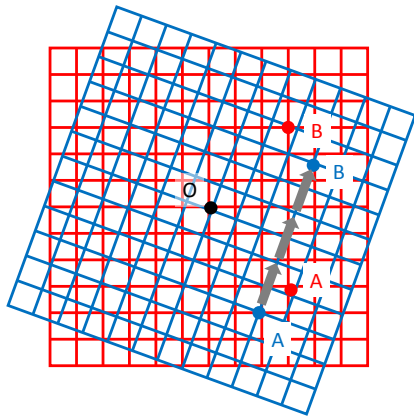
地球上から同じ運動を見ると...

コリオリ力

- 回転座標系 (地球上) から見たときに, 物体に働く「見かけの力」.
- 絶対座標系 (宇宙空間) から見ると, その物体は等速直線運動している (力は働いていない).



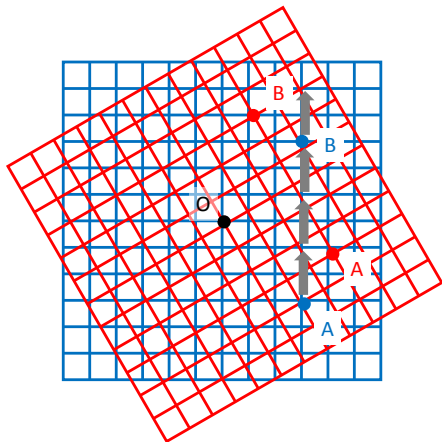
宇宙空間から見た等速直線運動.



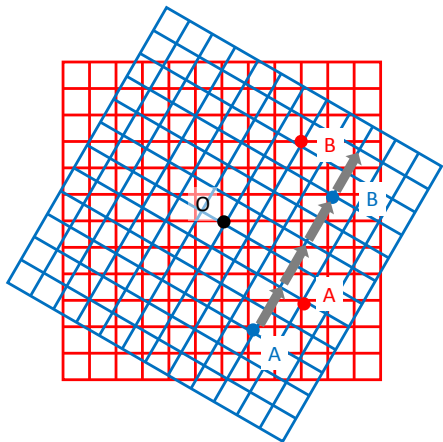
地球上から同じ運動を見ると...

コリオリ力

- 回転座標系 (地球上) から見たときに, 物体に働く「見かけの力」.
- 絶対座標系 (宇宙空間) から見ると, その物体は等速直線運動している (力は働いていない).



宇宙空間から見た等速直線運動.



地球上から同じ運動を見ると...

コリオリ力

- 北半球では物体の進む向きに**右向き**に働く「ように見える」.

