

# レコードプレイヤーで学ぶ 地球流体力学の基礎

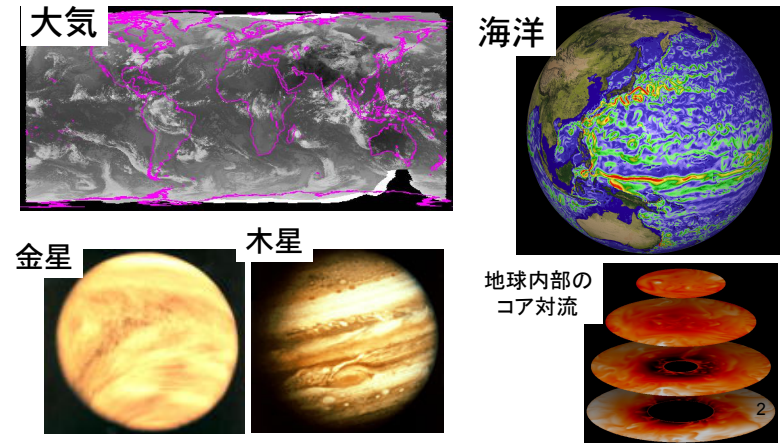
東京大学 大学院理学系研究科  
地球惑星科学専攻 大気海洋研究室  
丹羽淑博

1

地球流体力学 = 大気海洋科学の基礎

大気・海洋・惑星上に生じる大規模な流体運動

→ 回転効果(コリオリ力)と密度成層(浮力)の影響大



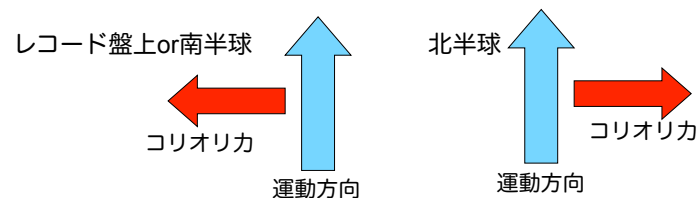
## ☆コリオリ力(転向力)

\* 回転する座標系に生じる見かけの力(遠心力とは別種)



\* レコード盤上(時計回り)では運動方向に対して左向き

\* 北半球では運動方向に対して右向き、南半球では左向き



3

## ☆ロスビー数

- ・ コリオリ効果は空間スケールが大きくゆっくりした運動に効く
- ・ ロスビー数：コリオリ効果の重要度を表す指標  
← コリオリ力と慣性力(加速度)の比を表す無次元数

$$Ro = \frac{T_{\Omega}}{L/U} \left( \approx \frac{\text{慣性力}}{\text{コリオリ力}} \right)$$

U=代表的な速度  
L=代表的な空間スケール  
 $T_{\Omega}$ =系が一回転する時間

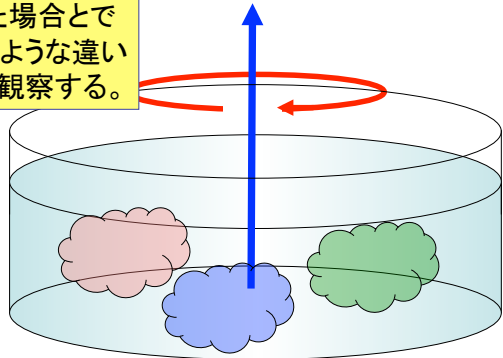
- \* ロスビー数  $\ll 1$  の場合：コリオリ力が支配的になる
- \* ロスビー数  $\gg 1$  の場合：コリオリ力は無視できる

- ・ 大気運動の場合：U=10m/s, L=1000km,  $T_{\Omega}$ =24hours  $\Rightarrow Ro \approx 0.1$
- ・ 海洋運動の場合：U=10cm/s, L=1000km,  $T_{\Omega}$ =24hours  $\Rightarrow Ro \approx 0.01$
- ・ レコード盤実験の場合：U=1cm/s, L=10cm,  $T_{\Omega}$ =2sec  $\Rightarrow Ro \approx 0.03$

4

1. 水槽に水を半分位入れてレコード盤に置いて回転させる。
2. 水槽の水がレコード盤と同時に回転をするまでなじませる。  
→水面が中心で凹む。圧力傾度力と遠心力がバランス。遠心力の効果が打ち消される。
3. 水槽の水を少しかき回して、わずかな流れを生じさせる。
4. インクを使って流れを可視化する。

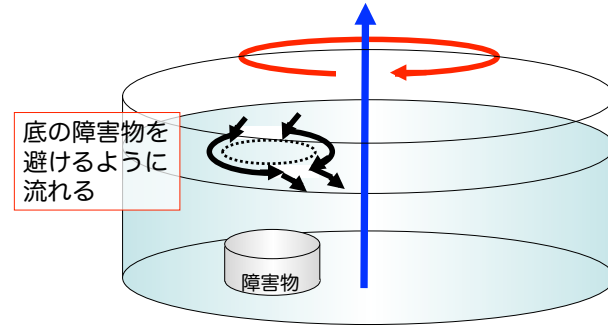
回転させない場合と  
回転させた場合とで  
流れにどのような違い  
が生じるか観察する。



5

## ☆テイラー柱の実験

1. 障害物を入れた水槽をレコード盤に置いて回転させる。
2. 水槽の水がレコード盤と同時に回転をするまでなじませる。  
→水面が中心で凹む。圧力傾度力と遠心力がバランス。遠心力の効果が打ち消される。
3. 水槽の水を少しかき回して、わずかな流れを生じさせる。
4. インクを使って、流れを可視化する。  
→底の障害物を避けるように流れが生じていることが分かる。



6

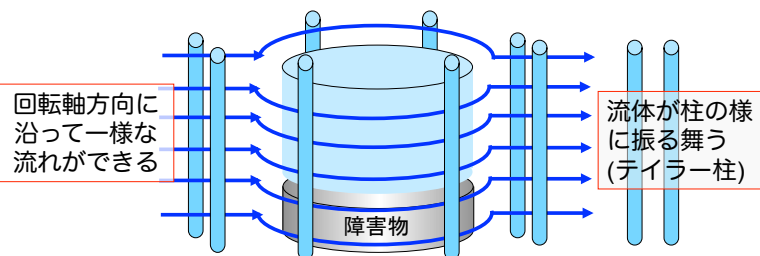
## なぜ障害物を避けるように流れるのか？

- ・インクを使って、水槽の内部の流れを可視化する。  
→上下一様にカーテンのように流れているのが分かる。

※回転系の流れの特徴  
回転軸に沿って隣り合った水が一様に流れる。

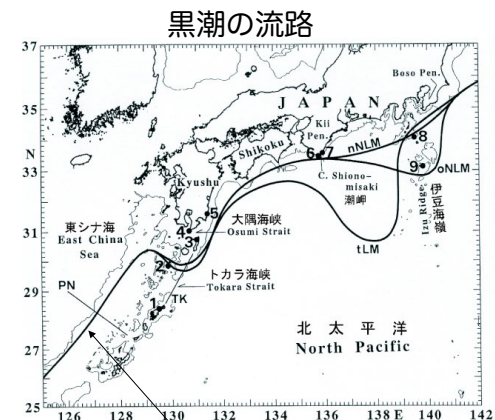
→もし障害物の上を通過すると上下に異なる流れが生じてしまう。  
それを避けるため回転系では障害物を避けて流れる。

※回転軸方向に一定長さの柱の様に振る舞う(テイラー柱)。  
→回転系では等深線に沿って流れる傾向がある。



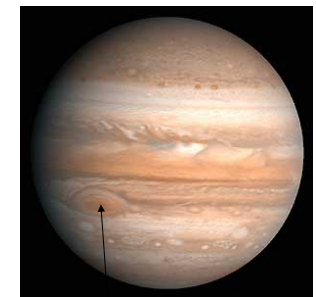
7

## ☆テイラー柱の実例



黒潮は東シナ海から四国沖にかけて  
約200mの等深線に沿って流れる。

## 木星の大赤班？

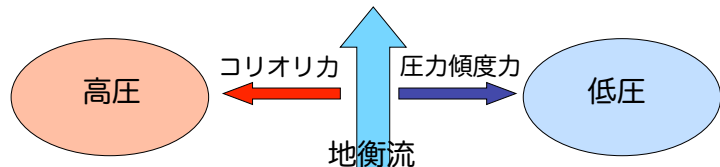


木星の大赤班の原因はまだ未解明。  
テイラー柱は有力な説の一つ。  
もしテイラー柱ならば大赤班の下に  
障害物に対応するものがあるはず。

## ☆地衡流

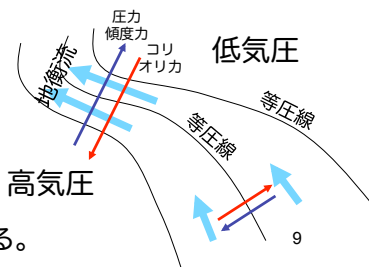
※コリオリカと圧力傾度力がバランスした流れ。

- ・ロスビー数が十分1より小さいと、流れはほぼ地衡流となる。



- ・地衡流は等圧線と平行に流れる。  
レコード盤・南半球では低圧側を右手に  
北半球では左手に見て流れる。

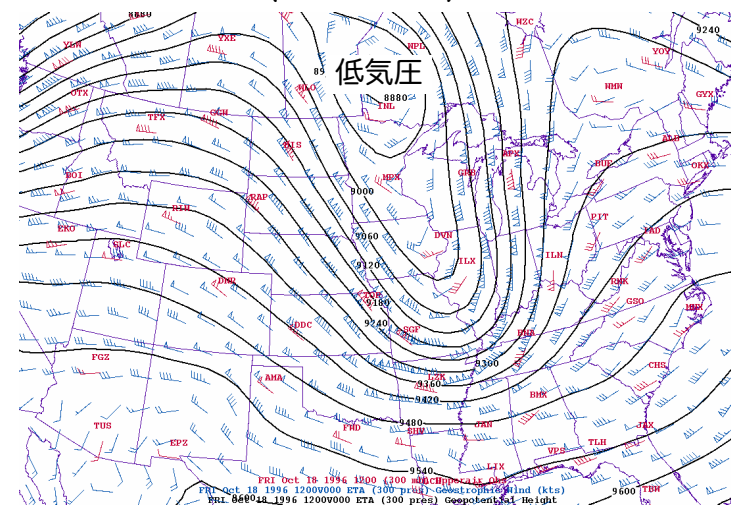
- ・等圧線の間隔が狭くなったところで、  
(→圧力傾度力が大)、地衡流は速くなる。



9

## ☆地衡流の実例

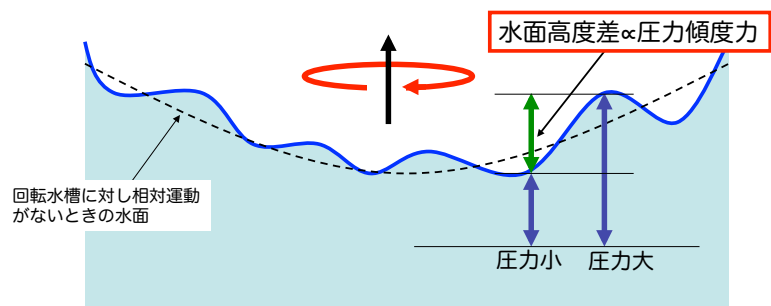
アメリカ大陸上空(高度約10km)の気圧・風速分布



10

## ☆圧力傾度力

- ・ある深さの圧力は、その上の水の重さによって決まる。
- ・密度が一定なら、圧力傾度力は水面の高さの差で決まる。  
⇒圧力傾度力は深さに依存しない。  
⇒地衡流は深さによらず一定となる(テイラー柱)。



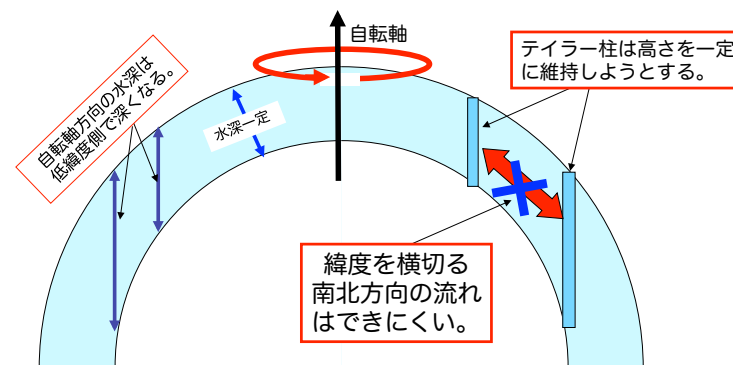
注意：回転水槽では静止状態で遠心力とバランスして水面が放物面状(点線)になるので、実質的にコリオリカがバランスするのは、この放物面を基準として、それからの水面高度のズレに伴う圧力傾度力である。

11

## ☆海洋大循環とテイラー柱

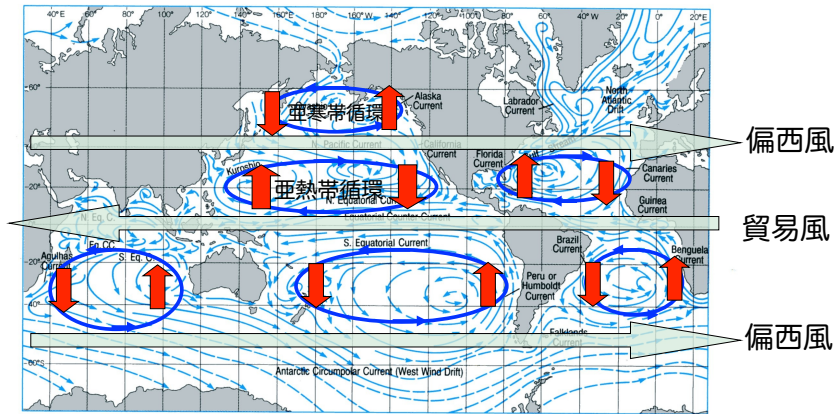
簡単のため水深が一定・密度が一定の海洋を考える。

- ・自転軸に沿った水深は低緯度に行くほど深くなる。
- ・回転系のテイラー柱は回転軸方向に一定の高さを維持しようとする。  
⇒もともと海洋では等緯度線を横切る南北方向の流れはできにくい。



12

## ☆海流分布(風成循環)

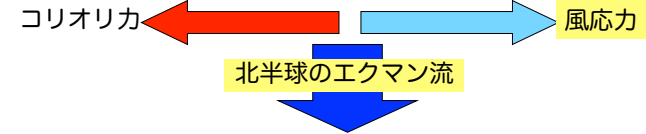


実際の海洋大循環では南北方向の流れができています。  
→偏西風と貿易風的作用。その駆動メカニズムは？

13

## ☆エクマン流

- ・風応力とコリオリカがバランスして生じる海面近傍の流れ。
- ・北半球では風に対し直交右向きに、南半球では左向きに流れる。



- ・エクマン流≠風成循環  
エクマン流の厚さは数十m程度で、風成循環の厚さ約1000mに比べてずっと薄い。

- ・実際のエクマン流は、深さ方向に回転しながら徐々に弱くなっていく。(エクマン螺旋)
- 深さ方向に積分したエクマン流が風応力と直交する。

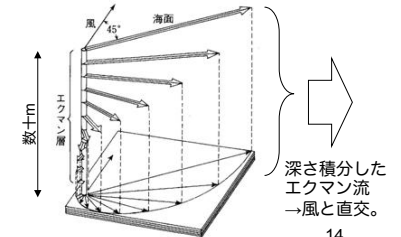
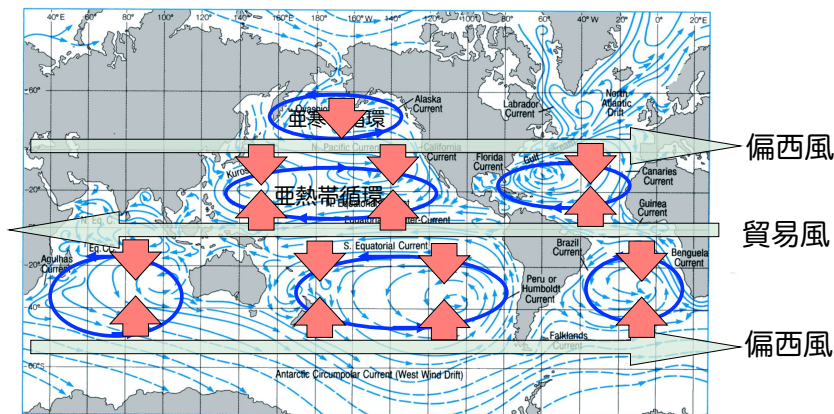


図1 北半球におけるエクマン流(模式)

14

## ☆エクマン流の分布

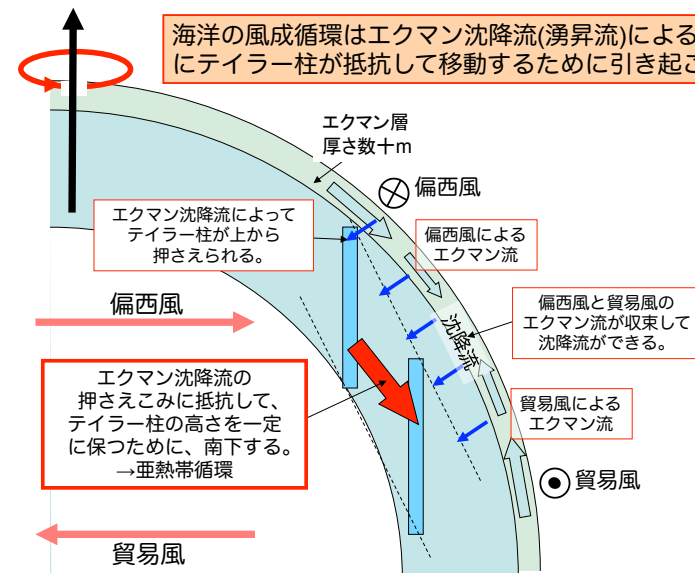
風応力引きずられて出来る海面近くの流れ(水深数十m以浅)



15

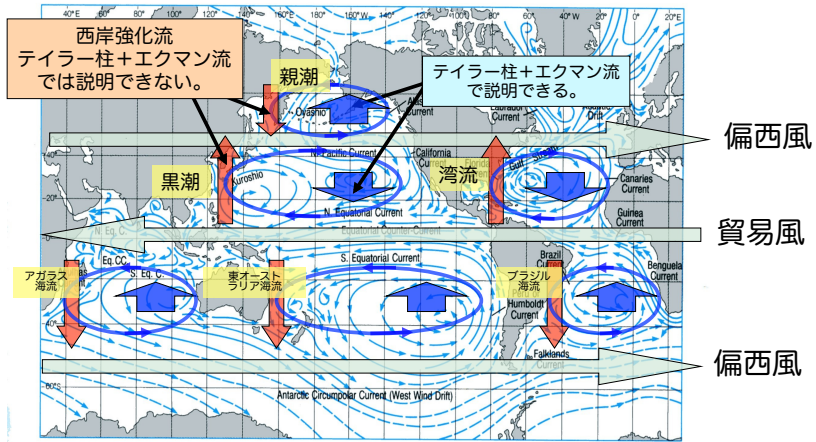
## ☆海洋循環の駆動メカニズム

海洋の風成循環はエクマン沈降流(湧昇流)による収縮(伸張)にテ일러柱が抵抗して移動するために引き起こされる。



16

## ☆西岸強化流



- ・ 亜熱帯循環(亜寒帯循環)の低緯度側(高緯度側)に向かう外洋域の幅広い流れはテイラー柱とエクマン流で説明できる。
- ・ 逆の流れは、各大洋の西側に集まって狭く速い海流をつくる(黒潮・湾流・親潮など)。  
**西岸強化流：テイラー柱+エクマン流では説明できない。**  
**実は地球が球形をしていることが重要 (難しいので説明は略)**