

温帯低気圧の簡易モデル

樋野真弓 (指導教員: 河村哲也)

1 はじめに

近年、異常気象など平年より大きくかけ離れた気候が社会的に大きな影響を及ぼしている。気候は私達の生活と密接な関係がある。日本の気候の特徴のひとつに温帯地域に発生する温帯低気圧がある。そこで温帯低気圧に注目する。温帯低気圧は偏西風がきっかけとなり発生する。偏西風は赤道付近の暖かい空気と北極付近の冷たい空気の温度差により勢いを増し、南北に波打つように進む。気圧の谷が近づくと地上から近いところで反時計回りの空気の流れが発生する。この流れの東側では暖かい空気が北へと移動して温暖前線をつくり、西側の冷たい空気は南へと回り込んで寒冷前線が生まれる。さらに気圧の谷が接近すると反時計回りの空気の流れも強くなって、ついに温帯低気圧が発生する。本研究では暖気と寒気をコリオリ力に見立てた力によって釣り合わせることで、不安定な前線面を作り出す。これを温帯低気圧の簡易モデルとみなし、数値シミュレーションにより検証する。

2 モデル化・格子形成

xを南北方向、yを東西方向、zを高度とし、主に対流圏で起こる現象を検証する。高度よりも東西南北の領域を広くとり、このような温帯低気圧をモデル化する。格子は、簡単のため直交等間隔格子とする。ただし、対流面の空気の流れには鉛直方向の変化の結果が重要であると考え、計算に使用した格子数はx、y、z方向に80×80×20である。(Fig.1)

3 計算方法

風の流れは、圧力をかけても縮まない非圧縮性の流れとみなすことができるため、連続の方程式(1)、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式(2)、温度の移流拡散方程式(3)を使用する。

$$\nabla \cdot v = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta v + f \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (v \cdot \nabla)T = K \Delta T \quad (3)$$

v: 速度ベクトル p: 圧力 t: 時間 ρ: 密度
f = (2v Ω sinφ, -2u Ω sinφ, -g): 外力項
φ: 緯度 g: 重力加速度
u: x方向速度 v: y方向速度
T: 温度 K: 熱拡散係数 t: 時間

本研究ではこれらの方程式をフラクショナルステップ法を用いて数値的に解いた。方程式(2)の非線形項の差分近似については、3次精度上流差分を用いた。時間微分には前進差分、その他には中心差分を用いた。

4 簡易モデル

本研究では Fig.1 に示すように南北方向に暖気と寒気を鉛直面を境界として接して置き、暖気は緯度の低い赤道付近で暖められた空気、寒気は緯度の高い北極付近で冷やされた空気とみなした。この状態で暖気は上へ、寒気は下へと移動しようとする、しかし、実際の地球上では自転の影響により大気に対して力(コリオリ力)が働き、この移動を打ち消そうとする。

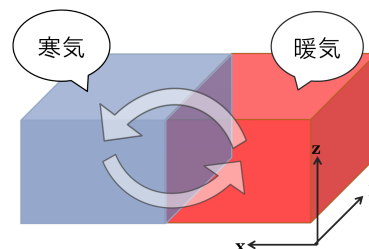


Fig1: モデル化

5 コリオリ力

実際の偏西風の様子に一致するよう高度が増すほど速度が大きくなるよう設定する。速度が大きいかほどコリオリ力が強くなる。よって、コリオリ力の影響により暖気と寒気の移動はなくなり、つりあった状態になり、初期の状態を保とうとする。ただし、このつりあいは不安定である。

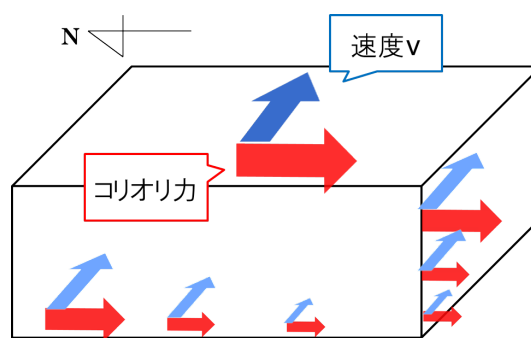


Fig2: コリオリ力

6 島

島を配置する場合も検証する。

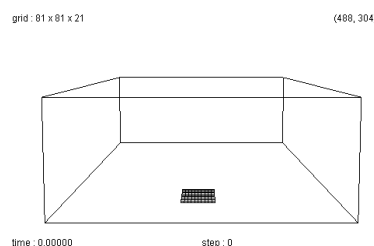


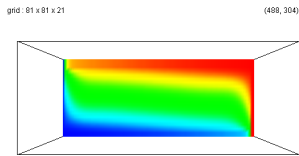
Fig3: 島

7 計算結果

7.1 回転の有無による流れの差

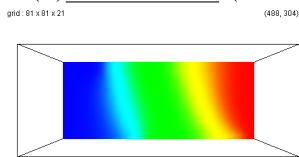
はじめに現象が起こりやすくするため、空気の厚さを現実よりもずっと大きくしてシミュレーションを行った。すなわち Fig1 において横幅を 1 としたとき高さ h を 0.4 としてシミュレーションを行った。

(i) 回転を与えない ($\omega=0$ $h=0.4$ $Re=2000$)



重い寒気は下層へ、軽い暖気は上層へ流れた。

(ii) 回転を与える ($\omega=1.8$ $h=0.4$ $Re=2000$)

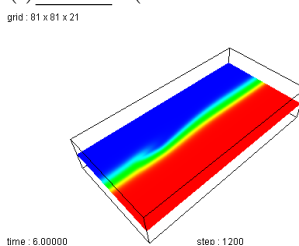


寒気と暖気は左右にとどまった。

7.2 島の有無による流れの差

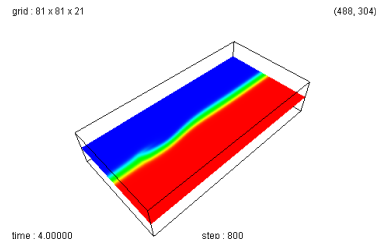
次に現実に近い状態のため横幅に比べて高さをずっと小さくしたシミュレーションを行った。すなわち 7.1 に比べて高さ $1/20$ にして計算を行った。ただし計算結果が見にくくなるため、高さ方向に 20 倍にして表示している。

(i) 島無し. ($\omega=1.8$, $h=0.02$, $Re=40000$)

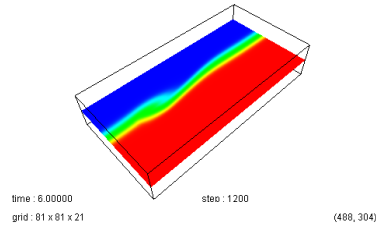


(ii) 島有り ($\omega=1.8$, $h=0.02$, $Re=40000$)

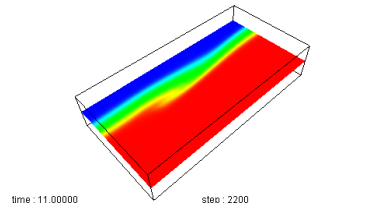
低気圧の発生には何らかの乱れが必要と考えられる。本研究では底面に島を配置することにより乱れを発生させた。



step 800



step 1200



step 2200

8 考察

空気層が厚い場合は回転と与えないとき冷たい空気は下へ、暖かい空気は上へと移動した。回転を与えた場合はコリオリ力の影響で空気の移動が阻止されて界面(前線)が維持された。ただし界面は不安定で地表面に波打ち(低気圧)が見られた。空気層が薄い場合は前線は波打たず安定化した。島を配置して乱れを与えると前線が波打って低気圧が現れた。

9 まとめと今後の課題

簡単なモデルにより前線や低気圧を再現することができた。現実に近い状況では温帯低気圧の発生には島(陸地)が大きな影響を及ぼすことがわかった。今後は更に現実の状況に近い条件でシミュレーションを行いたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご尽力くださいました指導教員の河村哲也先生、シミュレーション科学センターの桑名杏奈先生、本研究室の諸先輩方に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 河村哲也, "数値シミュレーション入門", ISBN4-7819-1134-X, サイエンス社, 2006.
- [2] 小倉義光, "一般気象学", 東京大学出版会, 1984