

台風の発生過程に関するシミュレーション

水ノ江 啓子 (指導教員: 河村 哲也)

1. はじめに

台風は北太平洋西部とその沿岸域に存在する最大風速が17.2m/sに達する熱帯低気圧とされている。台風発生に関して好都合な条件として、高海水温(26.5℃以上)、下層の総観規模低気圧性渦、弱い鉛直シア、赤道から緯度が3~5°以上離れていることなどが挙げられるが、実際にどのような条件の下で、具体的にどのような過程をたどって台風が発生するのか、その詳細は分かっていない。そこで、本研究では数値モデルを用いて実際の台風を再現し、数値シミュレーションにより、台風の発生過程を調べることが目的としている。

2. モデル化

x 方向を東西方向、y 方向を南北方向、z 方向を高度とした。また、中心に海上の温度として高温域を設け、その熱源による上昇気流によって発生する渦を台風の簡易モデルとした。

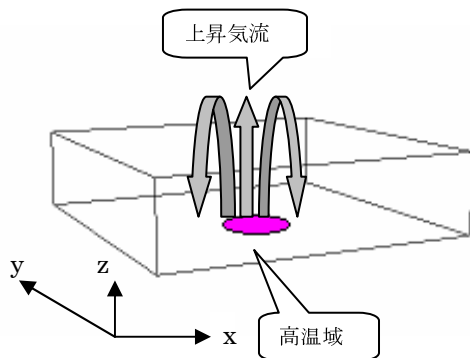


Fig.1 : モデル化

3. 格子生成

格子は直交等間隔格子とする。ただし、対流圏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、z 方向の格子の間隔は、x、y 方向の4分の1と細かくした。計算に使用した格子数は、x 方向に 80、y 方向に 80、z 方向に 40 とした。

4. 基礎方程式

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と非圧縮性ナビエ・ストークス方程式②および熱に関する方程式③の3式を支配方程式として解くことができる。

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad \text{①}$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{V} + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} \mathbf{t} \mathbf{k} - 2\Omega \times \mathbf{V} \quad \text{②}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) T = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \Delta T + Q \quad \text{③}$$

\mathbf{V} : 速度 T : 温度 p : 圧力 t : 時間 Re : レイノルズ数
 Gr : グラスホフ数 Pr : プラントル数 Q : 潜熱
 $2\Omega \times \mathbf{V}$: コリオリ力 \mathbf{k} : z方向の単位ベクトル

ここで、プラントル数 Pr は流れの性質によらない物質の定数であり、空気もつ値(0.7)とする。レイノルズ数 Re は流体の慣性力と粘性力の比を表す量であるが、本研究では渦粘性を考慮して 200 とした。

5. 雲の定義

雲は、大気の温度が下がり、水蒸気が凝結したものである。本研究では大気中に無数にある水蒸気を有限個の粒子と考え、その動きを追跡する。粒子の位置は、 $\mathbf{r}^{t+\Delta t} = \mathbf{r}^t + \mathbf{v}^t \cdot \Delta t$ で求まる。ここで粒子の速度 \mathbf{v}^t は周りの8つの格子点から補間するものとする。今回は粒子の温度を考慮せず、ある一定の高さに粒子が達した時点で雲と判断して表示する。

6. 雲の出力

5.で述べた方法では、各粒子に速度・位置の計算をしているため、その数が計算時間に及ぼす影響は大きい。そこで少ない粒子での計算を実現するため、各粒子において粒子の密集度を表す量を以下のように定義して、これを雲として出力することにした。ここで d_i は i 番目の粒子と格子点との距離とする。本研究では、 $a=0.5$ として計算を行った。

$$Cld(j,k,l) = \sum_{i=1}^{imax} \exp(-a * d_i^2)$$

このように定義することにより、有限個の粒子の隙間を埋めることができ、さらに一箇所に複数の粒子が集まったときの様子を、より正確に表現することができると思われる。

7. 条件の設定

通常の上昇気流に様々な条件を加えて、台風発生の様子を調べた。

[1]コリオリ力がない場合

実際はコリオリ力によって反時計回りに回転するが（北半球の場合）、それを無くした状態での空気の流れを見た。

[2]潜熱がある場合

空気が上昇すると大気中の水蒸気から雲粒が形成される際に潜熱が放出され、それによって上昇気流が強くなる。そのモデル化として、凝結による潜熱を発生させ、流れの違いをみた。

[3]潜熱があり、対流圏上層に風が吹いている場合

[2]の条件にさらに、対流圏上層に風が吹いている、空気が流れるようにした場合の流れをみた。

[3]潜熱があり、対流圏上層に風が吹いている場合

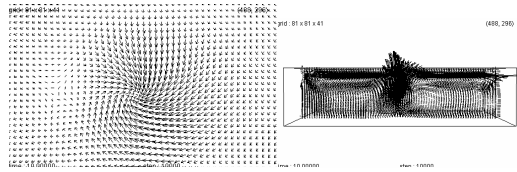


Fig.10 : xy 平面

Fig.11 : xz 平面

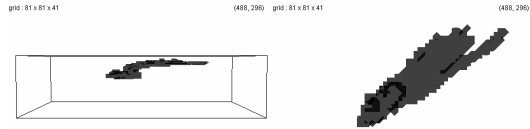


Fig.12 : xz 平面

Fig.13 : xy 平面

8. 計算結果

基本的な条件と[1]～[3]の場合の解析をした結果を以下に示す。

[0]基本的条件

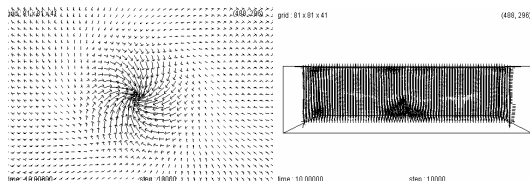


Fig.2 : xy 平面

Fig.3 : xz 平面

（上から見た風の様子）

（横から見た風の様子）

[1]コリオリ力が無い場合

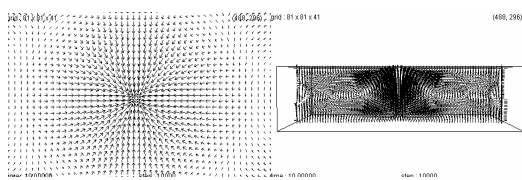


Fig.4 : xy 平面

Fig.5 : xz 平面

[2]潜熱がある場合

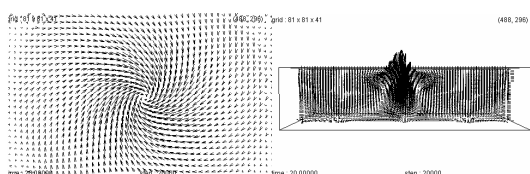


Fig.6 : xy 平面

Fig.7 : xz 平面

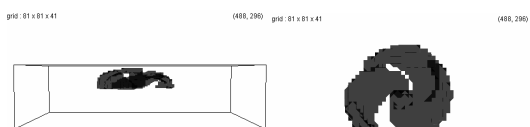


Fig.8 : xz 平面

Fig.9 : xy 平面

（横から見た雲の様子）

（上から見た雲の様子）

9. 考察

- [1] 上昇気流は発生するが、渦ができない。つまり、コリオリ力が無いと台風が発生しない。
- [2] 上昇気流が強くなり、熱も上昇し広がっていく。潜熱がある場合、渦も強く台風が発達していく。
- [3] 上昇気流は強くなるが、渦が崩れる。つまり、上空に風が吹いていると台風は発生しにくい。

10. まとめと今後の課題

本研究により、台風の発生にはコリオリ力が必要であり、また潜熱の影響で台風が発達していく様子が分かった。また、風が吹いていると上昇気流は強くなるが、渦が崩れて台風が発生しにくいことが分かった。今後は、粒子に温度をもたせ、鉛直方向の動きに応じて露点を考慮した雲の表示にすること、計算領域をより実際の大気条件に近づけることを課題としてシミュレーションを行いたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご尽力くださいました指導教員の河村哲也先生、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”サイエンス社、2006、ISBN4-7819-1134-X
- [2] 佐野理：“連続体の力学”裳華房、2007、ISBN978-4-7853-2137-6
- [3] 丸山健人、水野量、村松照男：“大気とその運動”東海大学出版会、1995、ISBN4-486-01314-X
- [4] 加藤万祐：“台風の発生に関するシミュレーション”お茶の水女子大学卒業論文、2006
- [5] 土屋なお子：“安定成層中の山越え気流による雲の発生”お茶の水女子大学卒業論文、2005