

# 台風の数値シミュレーション

坂田 貴恵 (指導教員: 河村 哲也)

## 1 はじめに

熱帯の海上で発生する低気圧を「熱帯低気圧」と呼ぶ。このうち北西太平洋または南シナ海に存在し、なおかつ低気圧域内の最大風速がおおよそ 17m/s 以上のものが「台風」である。台風は過去 30 年間の平均で、年間約 30 個発生している。そのうち約 11 個の台風が日本から 300 km 以内に接近し、約 3 個が日本に上陸している。日本に毎年のように襲来し、身近な気象現象であるが、きわめて大きな災害をもたらすこともある。本研究では台風の簡易モデルを作成し、その際の風の様子を数値シミュレーションにより検証する。

## 2 台風の発生メカニズム

台風は、熱帯地方である北緯 5 度から 20 度の海上で多く発生する。このあたりの海は他の場所と比べて海水の温度も高く、コリオリ力もあるためである。熱帯の海上に空気の渦ができると、渦の中心に向かって水蒸気を多く含んだ空気がまわりから流れ込み、上昇気流が生まれる。そして雲が成長して積乱雲となる。その過程で、水蒸気が水粒に変化するが、その際に潜熱を開放し、その熱がまわりの空気をあたため、上昇気流はさらに強まる。これが繰り返されて発達すると台風となる。

## 3 コリオリ力

コリオリ力とは、地球が球体で自転しているために生じる見かけの力である。北半球では右向きに、南半球では左向きに、物体を進行方向に対して直角にそらす力であり、その大きさは物体の質量と速度、地球の角速度、物体の緯度を  $\phi$  としたときの  $\sin \phi$  に比例する。台風が赤道付近で発生しないのは、コリオリ力が赤道上では働かないためである。

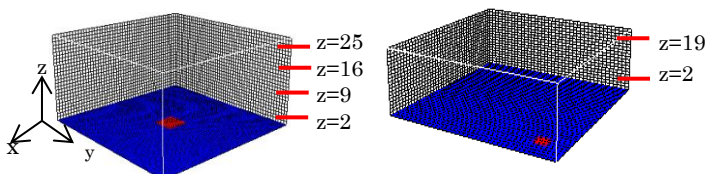
## 4 モデル化・格子生成

北半球の海上の一部を切り取ったような直方体領域にて計算を行い、x 方向を東西方向、y 方向を南北方向、z 方向を高度とする。地表の一部に熱源を設けて、空気を下から温める。

Case1 地表の一部に固定した熱源を設ける。格子数は  $50 \times 50 \times 25$ 、各方向の比率が  $x : y : z = 1 : 1 : 0.5$  である直交等間隔格子を用いる

Case2 Case1 にコリオリ力を加えたもの

Case3 地表の一部に風と共に移動する熱源を設ける。格子数は  $40 \times 40 \times 20$ 、各方向の比率が  $x : y : z = 1 : 1 : 0.3$  の直交等間隔格子を用いる。



Case1, Case2

Case3

図 1: 格子モデル

## 5 境界条件

Case1, 2 上空をすべり壁, 地表と東西南北をすべりなし壁とする。

Case3 上空の南側が東向きに流れる貿易風, 北側が西向きに流れる偏西風, 地表をすべりなし壁, 東西を自由流出, 南から貿易風, 北から偏西風が流れるようにした。

## 6 計算方法

気象現象において、空気の流れは非圧縮性の流れとみなすことができる。そのため、連続の方程式(1)と非圧縮性ナビエーストークス方程式(2)および温度の移流拡散方程式(3)の 3 式を基礎方程式として用いた。本研究ではこれらの方程式の数値解法はフラクショナルステップ法を用いて解いた。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

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

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

$\mathbf{v}$ : 速度ベクトル	$p$ : 圧力	$\mu$ : 粘性率
$\rho$ : 密度	$T$ : 温度	$K$ : 熱拡散係数
$t$ : 時間	$\mathbf{f}$ : コリオリ力+浮力	

Case1, Case2 では  $\Delta t = 0.001$ ,  $Re = 30$ , 計算ステップ数は 10000 回とした。Case3 では  $\Delta t = 0.0001$ ,  $Re = 30$ , 計算ステップ数は 40000 回とした。

## 7 計算結果と考察

### 7.1 Case1 における風の流れ

図 2 より熱源から空気が温められ、上昇気流が発生していることがわかる。また図 3 より地表付近では風が吹き込んでいること ( $z=2$ )、上空では風が吹き出していること ( $z=25$ ) が見て取れる。なお  $z=2$ ,  $z=25$  とは図 1 に示したように、下から数えた際の格子の番号である。例えば  $z=2$  の図であれば、下から 2 番目の格子を上から見た図ということになる。

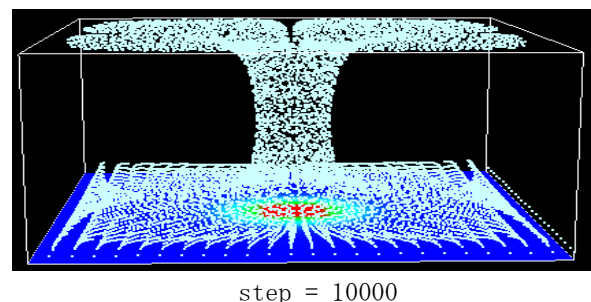
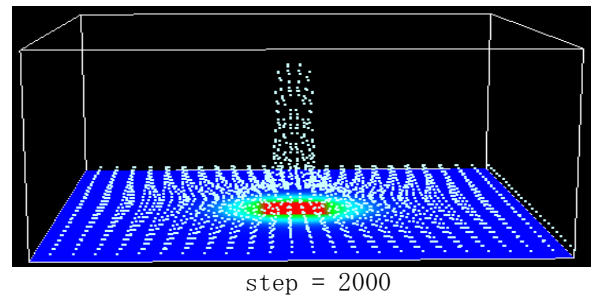
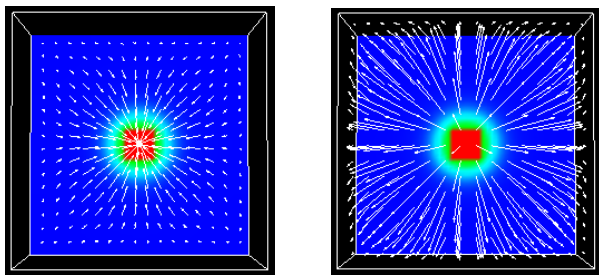


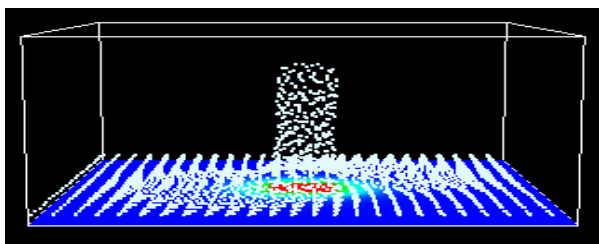
図 2: 横から見た風の流れ



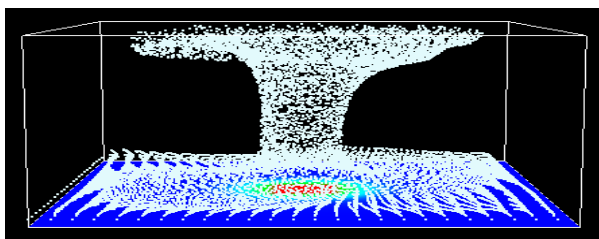
z = 2                      z = 25  
 図 3 : 上から見た風の流れ (step=10000)

### 7. 2 Case2 における風の流れ

図 4 より Case1 と同様に熱源から空気が温められ、上昇気流が発生していることがわかり、それに加えて渦を巻いていることが確認できる。また、図 5 より地表付近では反時計回りに風が吹き込んでいること (z=2)、上空では時計回りに風が吹き出していること (z=25) が見て取れる。

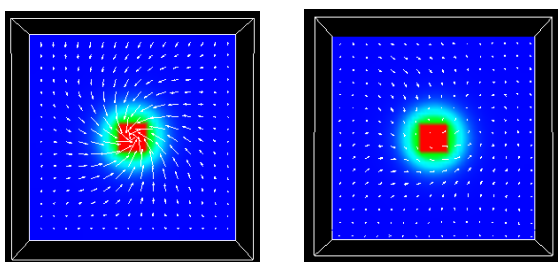


step = 2000

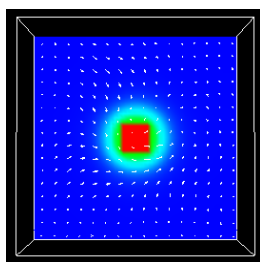


step = 10000

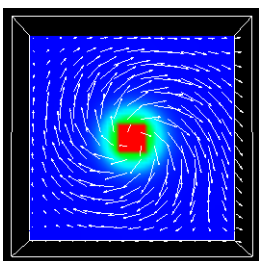
図 4 : 横から見た風の流れ



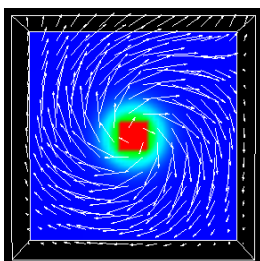
z = 2



z = 9



z = 16

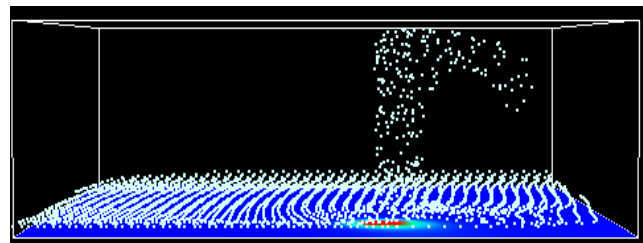


z = 25

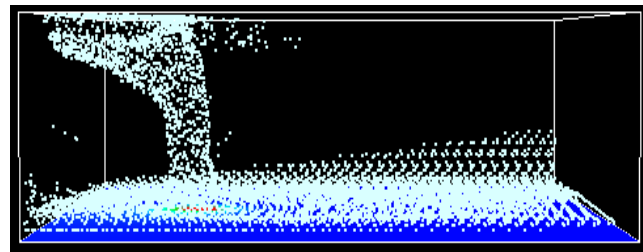
図 5 : 上から見た風の流れ (step = 10000)

### 7. 3 Case3 における風の流れ

図 6, 7 より熱源を動かした場合でも、その上に上昇気流ができていくこと、地表付近では反時計回り、上空では時計回りの風が吹いていることが見て取れる。

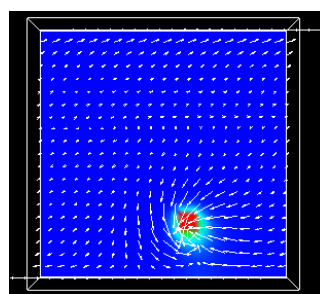


step = 5000

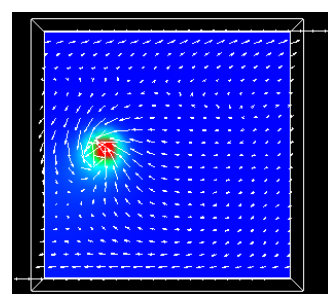


step = 20000

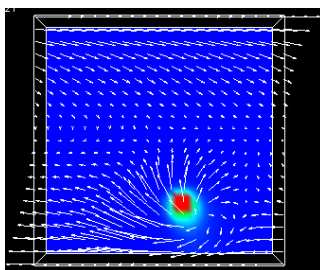
図 6 : 横から見た風の流れ



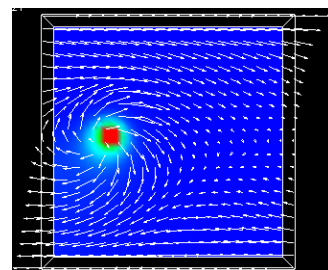
z=2 (step=5000)



z=2 (step=20000)



z=19 (step=5000)



z=19 (step=20000)

図 7 : 上から見た風の流れ

### 8 まとめと今後の課題

熱源とコリオリ力を用いた簡易モデルによって、強い渦を伴う上昇気流が生じ、その発生や発達過程をシミュレーションすることができた。また今回は熱源を指定して動かしたが、それによって熱源に伴った台風の渦の移動を見ることができた。今より実際の現象に近づけるため、(1)熱源を地表から離すこと、(2)水蒸気を考慮し、雲ができて雨が降るところまで考えることなどが今後の課題としてあげられる。

### 参考文献

- [1] 河村哲也, 「数値計算入門」, 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)
- [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)
- [4] 日本気象協会 <http://www.tenki.jp> (アクセス日 : 2015/2/3)