

地形を考慮した積乱雲発生の数値解析

大隈 美枝 (指導教員: 河村 哲也)

1 はじめに

雲は、大気の状態によって変化し、形状や高さによって分類される。中でも、積乱雲は雷や激しい雨を伴い、近年都市部での集中豪雨などをもたらしている。本研究では、上昇気流による雲の発生をシミュレーションし、検証を行う。

1.1 積乱雲

積乱雲とは、雨や雷を伴う地上付近から圏界面に達する巨大な雲の一種である。

積乱雲は、

- ① 暖められた空気が上昇
- ② 空気が冷えて水蒸気が凝結
- ③ 凝結熱が出て空気を暖める

の繰り返しによって、発生し大きく成長する。上昇気流を必要とするため、海に近いところより内陸部や山間部で発生することが多い。今回は、地形によってどのように粒子が上昇し、雲の発生に影響するのかに着目する。

2 モデル化

x y 平面を地表面、z 方向を高さとし、各方向の比率は x:y:z = 5:2:2 とした。y z 平面から風を吹かせる。格子は、x 方向 51、y 方向 31、z 方向 51 の直交等間隔格子を用い、粒子の上昇を見るため z 方向の格子を細かくした。

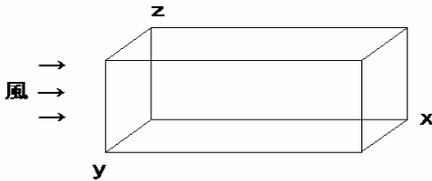


図1 計算領域

3 計算方法

3.1 基礎方程式

非圧縮性流体とみなせるので、連続の式(1)と、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式(2)を支配方程式として解くことができる。

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

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{V} + \mathbf{F} \quad (2)$$

また、熱を扱うため、熱に関する方程式(3)も用いた。

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

\mathbf{V} : 速度 T : 温度 p : 圧力 t : 時間

Re : レイノルズ数 Pr : プラントル数

$\mathbf{F} = (0, 0, \alpha T)$: 浮力

3.2 雲の定義

雲は、水蒸気を含む空気が上昇し冷やされ、凝結したものである。本研究では、位置情報を持つ有限個の粒子を置き、その動きを追跡する。粒子の位置は

$$\mathbf{r}^{t+1} = \mathbf{r}^t + \mathbf{V}^t \cdot \Delta t$$

で求めることができる。ただし \mathbf{V}^t は粒子が存在する格子を形成する8つの格子点から補間を行う。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表示する。

3.3 雲の表示

以上の方法では、各粒子に速度と位置の計算を行っているため、計算時間が長くなってしまふ。そこで、粒子の密集度を表す量を以下のように定義し、雲の出力とした。 d_n は n 番目の粒子と格子点の距離を表し、距離に近いほど値が大きく、遠いほど値が小さくなる。今回、 $a=0.5$ とする。

$$\text{cloud}(i, j, k) = \sum_n^{n_{\max}} \exp(-a \cdot d_n^2)$$

3.4 山の表示

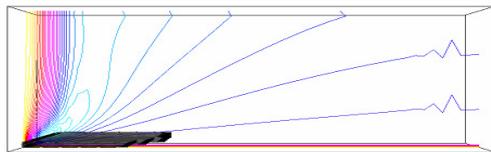
今回、山はマスク処理によって表した。3次元配列 $\text{MSK}(i, j, k)$ を用意し、山の部分を0、流体部分を1としておく。最初は、山がないと仮定して計算を行う。計算が終わった後、得られた結果に $\text{MSK}(i, j, k)$ をかけ合わせることで、流体部分

の値はそのまま山の内部の値は0とすることができる。

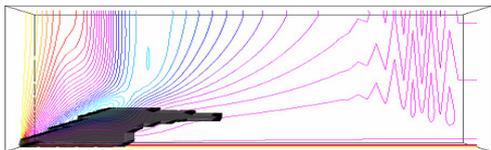
4 計算結果

今回、粒子を 10×20 個、無次元時間 $t=0.05$ ごとに 200 回置き、以下の4つのパターンについて解析を行った。

- ① 平坦で山がない場合 (図2)
- ② 山がある場合 (図3)
- ③ 一部分が高温である場合 (図4)
- ④ 四角い形状の地形がある場合 (図5)

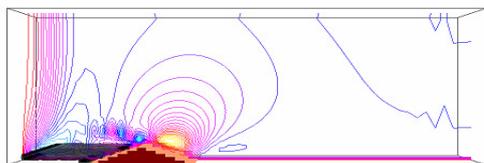


t=5

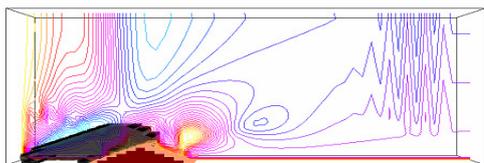


t=12

図2 平坦な場合

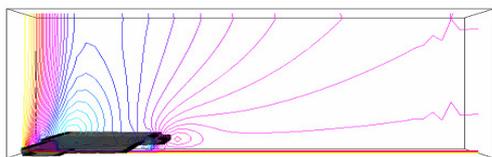


t=5

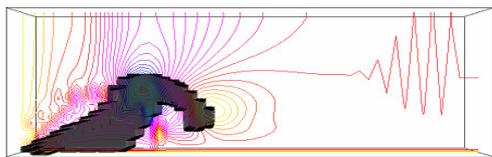


t=12

図3 山がある場合

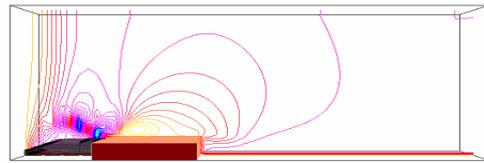


t=5

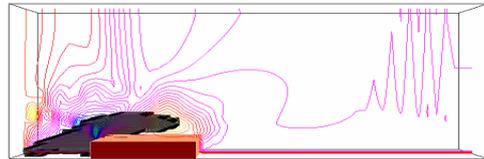


t=12

図4 一部分が高温の場合



t=5



t=12

図5 四角いものがある場合

無次元時間 $t=5$ の時、あまり変化は見られないが、図4は他に比べて厚みがある。

無次元時間 $t=12$ の時、図4の一部分が高温である場合は他に比べて上がっている。また、図3では山に沿って厚みが見られる。

ある1点の粒子の軌跡を図6に示す。どの場合も粒子は上昇していくが、平坦な場合は傾きがゆるく、山がある場合と一部分が高温な場合の方は傾きが急である。

無次元高さ

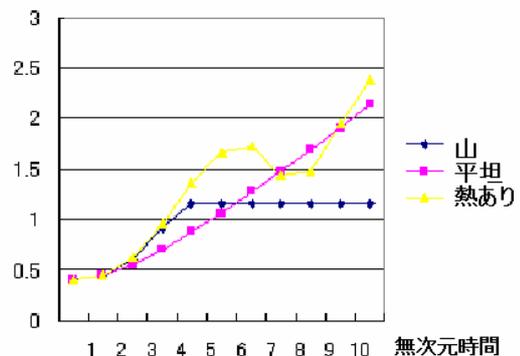


図6 粒子の軌跡

5 まとめと今後の課題

今回の解析の結果、山などの地形や熱によって上昇気流ができ、粒子の移動に違いが見えた。しかし、湿度などのパラメーターを考慮していない。よって、より現実に近づけるために、温度を計算に含めたプログラムに改良する必要がある。

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]土屋なお子：安定成層中の山越え気流による雲の発生、2004年度お茶の水女子大学卒業論文、2005