

山越え気流のシミュレーション

山田 歩 (指導教員: 河村 哲也)

1. はじめに

台風や低気圧が日本海側で発達しながら通過するとき、太平洋側から中央山脈を越えて日本海側に乾燥した温かい風が吹き降りることがある。この現象をフェーン現象という。フェーンとは、もともとはアルプスの北斜面に南風の時に吹き降りる暖かく乾いた風のことを言うが、日本では夏季に日本海側の新潟、金沢、福井、高山地方などで起こっている。たとえば山形では 1933 年 7 月 25 日、フェーンのため 40.8℃という日本の気温を記録した。この現象は単に気温の上昇だけでなく乾燥による大火等の被害も出ている。本研究では、山越え気流によるフェーン現象の発生をシミュレーションし、検証を行う。

2. フェーン現象

フェーン現象は、気流が山脈の風上側で湿潤断熱的に上昇するとき、水蒸気が凝結して潜熱を放出しながら雲を作って暖まり、また風下側でふもとに下降するときには乾燥断熱的に暖まって乾いた暖かい風になるのがそのメカニズムである。

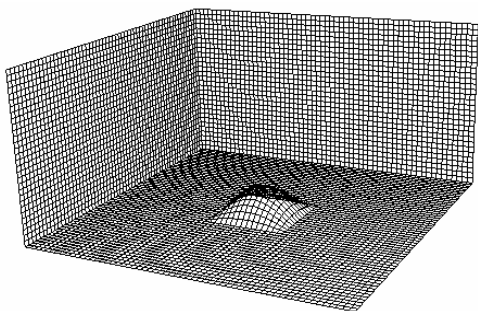
3. モデル化

x y 平面を地表面、z 方向を高さとする直方体領域を考え、y z 面から風を吹かせる。

ただし、地表面の中央部分に z 方向の高さの 1/20 の高さの山があるとした (図 1 参照)

4. 格子生成

格子は境界に沿った不等間隔格子とする。計算に使用した格子数は、x 方向 120、y 方向に 120、z 方向に 61 とした。



(図 1)

5. 計算方法

山越え気流は風速が大きいとみならず、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。そこで、連続の式(1)、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式(2)、熱および水蒸気量に関する方程式(3)、(4)の 4 式を支配方程式として解くことができる。

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

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \nabla^2 \mathbf{v} + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} T \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) T = \frac{1}{\text{Re Pr}} \nabla^2 T + Q \quad (3)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) H = \alpha \nabla^2 H \quad (4)$$

ただし、 \mathbf{v} は速度ベクトル、 t は時間、 p は圧力、 Q は熱源項、 H は水蒸気量、 α は拡散係数、 Re はレイノルズ数、 Gr はグラスホフ数、 Pr はプラントル数である。また T は、 T_a を実際の温度、 T_o を地表温度、 γ を乾燥断熱減率、としたときの乾燥断熱変化からの温度の偏差

$$T = T_a - (T_o - \gamma Z) \quad (5)$$

である。さらに本研究では、飽和水蒸気量を

$$H_s = H_o - \beta Z \quad (6)$$

と仮定した。ただし H_o は地表の飽和水蒸気量、 β は飽和水蒸気量の減率である。(4)によって水蒸気量を計算し、ある点において $H - H_s$ が正になったとき、その点で過飽和になったと判断して、潜熱 Q を発生させるとともに、水蒸気量を過飽和の分だけ減らす。

6. 計算条件

空間全体の初期条件として風を速度をすべて 0 とし、y z 壁面だけ大きさ 1 の風を x 方向に流した。また、時間間隔とレイノルズ数は次のように設置した。

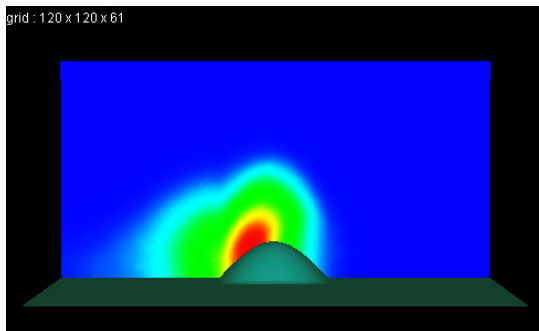
$$\Delta t = 0.01$$

$$\text{Re} = 2000$$

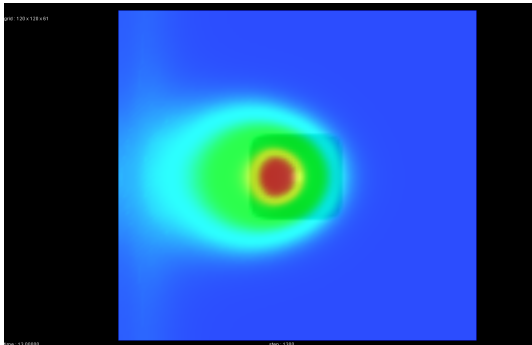
7. 計算結果

7.1 発熱量

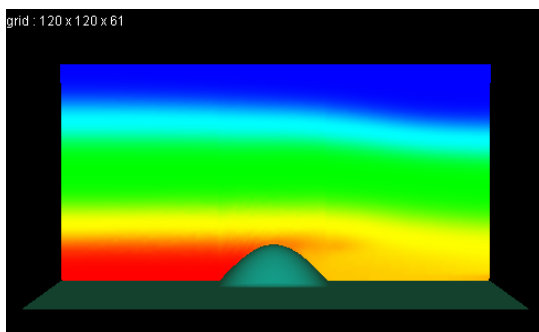
横から見た発熱量



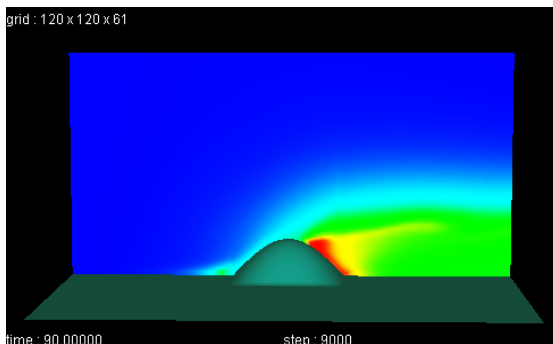
上から見た発熱量



7.2 水蒸気量



7.3 乾燥断熱変化からの温度の偏差



8. 考察

8.1 発熱量

風が山の斜面に沿って昇る時に熱が発生している。これは空気に含まれた水蒸気が凝結して雲が発生するときに生ずる潜熱に対応している。したがって、図の黄色と赤色の部分が雲を表していると考えられる。

8.2 水蒸気量

水蒸気を多く含んだ風が山を越えると水蒸気量が山を越える前よりも少なくなっている。この原因として山を越える風の水蒸気が凝結して減少して山を越えたことで越える前よりも乾燥した風になったことが考えられる。

8.3 乾燥断熱変化からの温度の偏差

7.1に示した発熱により加熱された空気が山を越えて下流に流れている。たとえば地表面を見ると、山の上流では青く(=0)、下流では赤→黄→緑に変化している。実際の温度はこの偏差にもとの地表温度 T_0 を加えたものであるため地表面で温度上昇している。すなわち、フェーン現象が発生していることがわかる。

9. まとめと今後の課題

本研究により、雲の発生、水蒸気量、温度の偏差の3点からフェーン現象の発生を検証できた。

今後は山だけでなく実際の日本の地形を再現し、どのような地点でフェーン現象が起こりやすいか、また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。

10. 謝辞

本研究を進めるにあたりお世話になりました、河村哲也先生、研究室の先輩方、友人に深く感謝いたします。

11. 参考文献

- [1]河村哲也 流体解析 I, 朝倉書店
ISBN4-254-11402
- [2]河村哲也 数値シミュレーション入門
サイエンス社 ISBN4-7819-1134-X
- [3]安藤常世 流体の力学 培風館
ISBN4-563-03411-8
- [4]正野重方 概論気象学 地人書館