

# 山麓における火災旋風のシミュレーション

塚田 有希 (指導教員：河村 哲也教授)

## 1 はじめに

火災旋風とは広範囲で火災が発生したときに見られる炎を伴った竜巻のことである。1923年の関東大震災直後に発生した火災旋風が有名だが山火発生時にもしばしば見られる。そこで、本研究では、山麓における火災発生時にどのように火災旋風が発生し、また、熱源の位置や風の速さによって、どのような影響があるかを検証する。

## 2 モデル化・格子生成

計算領域を示す。x,y 平面を地表面,z 方向を鉛直方向とした三次元空間において、富士山型 (type1) と山脈型 (type2) の2種類の地形を比較の対象とし、熱源付近に沿った不等間隔格子を用いる。各方向の比率は  $x:y:z = 2:1:1$ 、格子数は 120,80,40 とする。

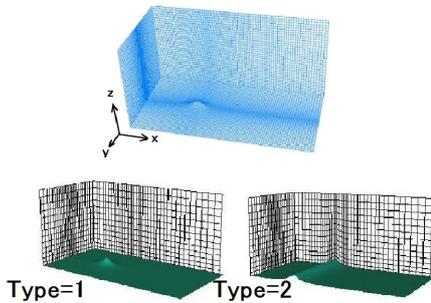


図 2.1 計算領域

## 3 計算方法

### 3.1 基本方程式

大気中の流れは非圧縮性流体として扱うことができる。そこで、連続の式 (1)、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式 (2) を支配方程式として解析することができる。また、熱に関する方程式 (3)、水蒸気量に関する方程式 (4) も使用する。これらの方程式は無次元化されている。

(1)~(4)の式をフラクショナル・ステップ法を用いて計算する。

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

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

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (v \cdot \nabla)T = \frac{1}{RePr} \nabla^2 T \quad (3)$$

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

$v$ :速度,  $p$ :圧力,  $t$ :時間,  $Re$ :レイノルズ数,  
 $Gr$ :グラスホフ数,  $k$ :z 方向の単位ベクトル  
 $K$  コリオリ力:( $2\Omega v, -2\Omega u, 0$ ),  $T$ :温度,  
 $\Omega$ :地球自転角速度,  $Pr$ :プラントル数  
 $H$ :水蒸気量,  $\alpha$ :水蒸気の拡散に関する係数

### 3.2 計算条件

時間間隔は  $\Delta t=0.0001$ , レイノルズ数=1000, プラントル数  $Pr=0.7$ ,  $Gr/Re^2=2.0$ , 計算ステップ数は 15000 である。

## 4 計算結果

### 4.1 条件の設定

対象地形 Type1, Type2 に対して次の条件で計算を行った。風  $v=(0.0,0.0,0.3)$  の有無, 熱源の位置をのどちらか一方に設置する。

	風あり	風なし
熱源左	Case1	Case3
熱源右	Case2	Case4

### 4.2 計算結果と考察

計算の結果, 特徴的なものを代表して示す。

#### 4.2.1 旋風の様子

熱源から出発する流線においてここでは Type1 の場合を比較したものを代表して載せる。図 4.1-3 は流線と温度をボリュームレンダリング表示 (VR) により示したものである。以下の図は  $xz$  平面から観察した。

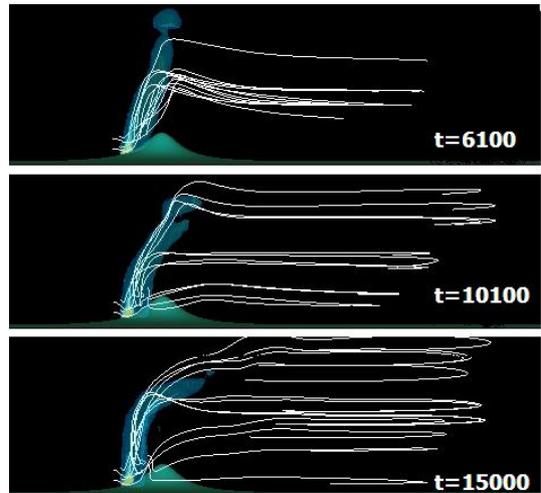


図 4.1 Case1

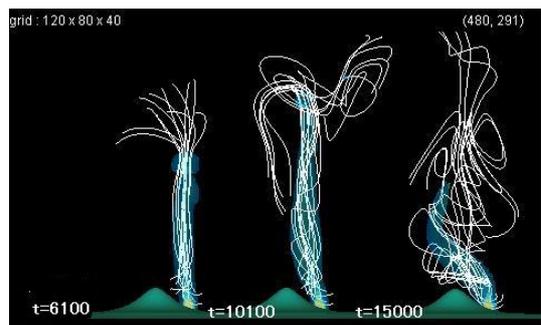


図 4.2 Case4

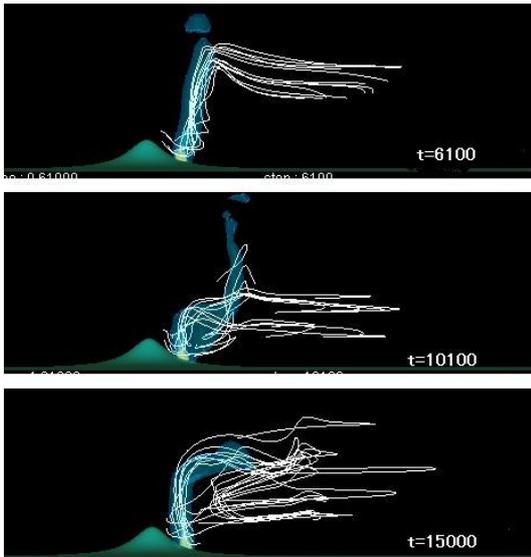


図 4.3 Case2

図 4.1 において旋風は発生していない。これは風の影響により、熱源と山頂までの間で熱の中心部に入り込める地上付近の空気が少なかったからと推測した。図 4.2 では  $t=6100-10100$  にかけて旋風が発達する様子が見て取れる。 $t=15000$  では山頂を中心に渦がみられる。図 4.3 では  $t=6100$  において旋風の様子が見て取れる。しかし、しばらくすると風の影響で渦の中心が安定せず旋風が消えてしまった。

これらより、旋風を作り出すためには地上付近で熱の中心部に入り込める十分な空気が必要であり、また、風がある場合の方が旋風が発達する時間は短い、渦の中心が安定せず旋風が移動していくことから長時間旋風として存在するのは難しいと推測した。

#### 4.2.2 Type1 と Type2 の相違

Case2 において地形の違いに着目した。図 4.4-5 は Case2 においての流線と水蒸気量を VR で示したもので、上部が Type1、下部が Type2 となっている。

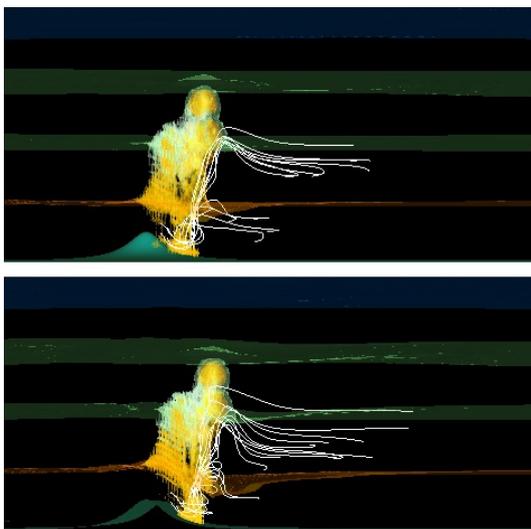


図 4.4  $t=7000$  における流線と水蒸気量

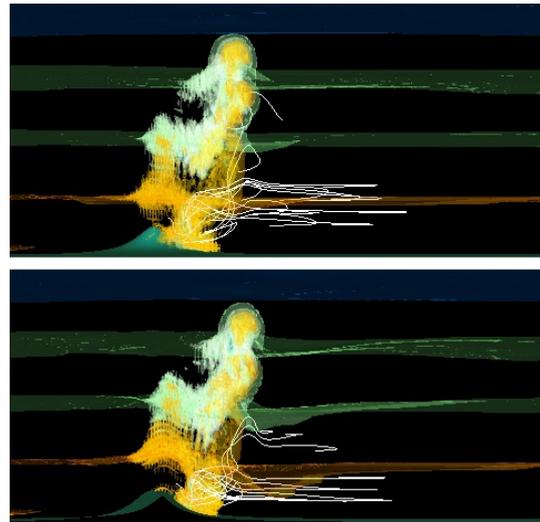


図 4.5  $t=10000$  における流線と水蒸気量

図 4.4 より  $t=7000$  では Type1,2 ともに旋風が発生している。しかし、Type2 の方が回転する力が強いことが見て取れる。これは Type1 では吹いてきた風は山麓に対して回り込めるが、Type2 は回り込むことができない。そのため、熱源に向かって Type2 の方が山頂から地表に向かってより多くの風が吹くことで、地表付近で熱源に多くの空気を取り込めたためと推測した。図 4.5 では Type1,2 ともに風の影響で旋風は消えてしまった。Type1 より Type2 の方が流線全体が地表付近にとどまっており、水蒸気量においては Type2 で図 4.4,4.5 とともに熱源右側で水蒸気量のオレンジの面が地表方面に下がっていることを観察した。これは Type1 で風は山麓付近の頂上をあまり通らずに回りこんでいるが、Type2 では風が回り込めなため風下波の影響を受け、水蒸気量も変化したと推測した。

## 5 まとめと今後の課題

本研究では、山麓における火災旋風のシミュレーションを行い、山の形状、熱源の位置、風の有無の違いにより旋風の様子がどのように変化するか調べることができた。

今後は雲が発生について考慮したり、大気の状態をより現実に近いものとした。

### 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] 河村哲也, 桑原邦郎, 菅牧子, 小紫誠子:環境流体シミュレーション,朝倉書店,2001,ISBN4-254-18009-8
- [3] 小紫誠子:A Study of Tornado Based on Computational Approach,2001
- [4] 村本典子:お茶の水女子大学卒業研究発表会要旨集 pp77-78,2010