

セルオートマトンを用いた森林火災のシミュレーション

日大生産工 ○黒川 秀将

日大生産工(卒業生) 角田 克磨 日大生産工(教員) 野々村 真規子

1. まえがき

森林火災は非常に危険である。一度発生すると、止めることは難しい。森林を燃やし尽くし、死傷者が出ることも少なくない。

本研究では、森林火災が起きた時の避難活動や、消火活動などに役立つ事を目標に、実際の地形での炎の広がり方をシミュレーションする。

2. 既存の研究

文献[1]では、森林火災の広がり方を、風と高低差を考慮したセルオートマトンで計算している。森林全体を $I \times J$ の正方形に区切り、その正方形に区切られた各区間をセルと呼ぶ。

セル $\langle i, j \rangle$ の時刻 t での燃焼率 $a_{ij}^{(t)}$ を

$$a_{ij}^{(t)} = \frac{\text{セル} \langle i, j \rangle \text{の燃えた面積}}{\text{セル} \langle i, j \rangle \text{の面積}} \quad (1)$$

で定義し、以下の式に従って時間発展するものとした。[1]

$$a_{ij}^{(t+1)} = a_{ij}^{(t)} + \sum_{(\alpha, \beta) \in V_M^{adj}} \mu_{\alpha\beta} a_{i+\alpha, j+\beta}^{(t)} + \lambda \sum_{(\alpha, \beta) \in V_M^{diag}} \mu_{\alpha\beta} a_{i+\alpha, j+\beta}^{(t)} \quad (2)$$

この時、 i が小さい方が森林の上側、 j が小さい方が森林の左側を表す。 t が 1 増えると時間ステップが 1 回分経過する。 $\sum_{(\alpha, \beta) \in V_M^{adj}}$ は計算するセル $\langle i, j \rangle$ に対して縦横に隣接するセルの和を表している。また、 $\sum_{(\alpha, \beta) \in V_M^{diag}}$ は斜めにあるセルの和を表し、その係数の λ は

$$\lambda = \frac{\pi}{4} \approx 0.785 \quad (3)$$

とする。式(2)に含まれる $\mu_{\alpha\beta}$ を式(4)に表す。

$$\mu_{\alpha\beta} = w_{\alpha, \beta} h_{\alpha, \beta} \quad (4)$$

また、行列 W と Φ を式(5)(6)に示す。

$$W = \begin{pmatrix} w_{-1, -1} & w_{-1, 0} & w_{-1, 1} \\ w_{0, -1} & 1 & w_{0, 1} \\ w_{1, -1} & w_{1, 0} & w_{1, 1} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} h_{-1, -1} & h_{-1, 0} & h_{-1, 1} \\ h_{0, -1} & 1 & h_{0, 1} \\ h_{1, -1} & h_{1, 0} & h_{1, 1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

セル $\langle i, j \rangle$ は、式(5)(6)の行列の中央の成分と対応する。式(5)(6)の行列の各成分 $w_{\alpha, \beta}$ 及び $h_{\alpha, \beta}$ で、中央の成分を 1 として、 $\alpha = -1$ が上側、 $\alpha = 1$ が下側、 $\beta = -1$ が左側、 $\beta = 1$ が右側である。 W は風の強さを表す行列であり、風が吹いてくる側のセルは数値が 1 より大きく、風が吹いてくる側のセルの数値が 1 より大きい。左からの風の場合は式(7)のようになる。

$$W = \begin{pmatrix} 1.5 & 1 & 0.5 \\ 1.5 & 1 & 0.5 \\ 1.5 & 1 & 0.5 \end{pmatrix} \quad (7)$$

行列の値の大きさによって風の強さが変わり、全部が 1 の時、無風である。 Φ は森林の高低差を表す行列であり、中央のセルとの高低差 $h_{\alpha, \beta}$ は、

$$h_{\alpha\beta} = H_{ij} - H_{i+\alpha, j+\beta} \quad (8)$$

で表す。 H は森林の標高を表す行列であり、セル $\langle i, j \rangle$ の標高が H_{ij} である。中央よりも左側が高く、右側が低く、上下のセルが同じ高さの場合は次のように表す。

$$\Phi = \begin{pmatrix} 5 & 0 & -5 \\ 5 & 1 & -5 \\ 5 & 0 & -5 \end{pmatrix} \quad (9)$$

3. 計算結果

図の緑色は燃えていない部分で、森林の標高が高いと明るい緑色、低いと暗い緑色、赤色は燃えている部分である。図 1 に平地で無

Simulations of forest fire spread using cellular automata

Hidemasa KUROKAWA, Katsuma TSUNODA, Makiko NONOMURA

風の時、図 2 に平地で左からの風の時、図 3 に中央が高い森林で無風の時、の 3 通りの計算結果を以下に示す。

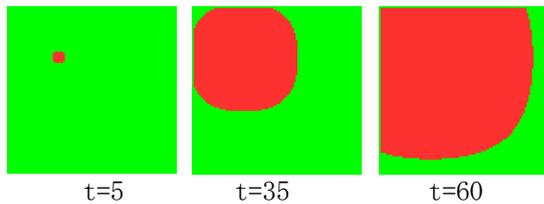


図 1 平地 無風

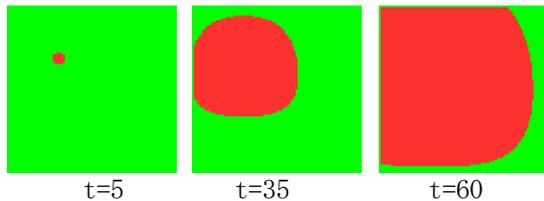


図 2 平地 左からの風

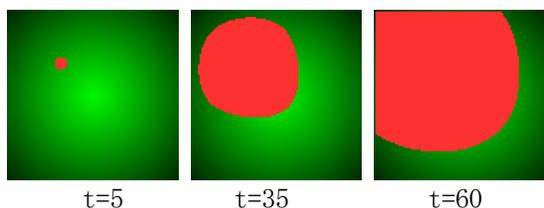


図 3 中央が高い森林 無風

図 1 と図 2 を比較すると、風が吹いていく右側へ炎が広がりやすいことがわかる。図 2 と図 3 を比較すると、標高が高い中央、へ炎が広がりやすいことがわかる。

次に、群馬県の浅間山付近での森林でシミュレーションを行った。この地形データは[3]より引用した。1 辺が約 35km の正方形で地形を切り取り、256 分割したものが一つのセルである。セル $\langle i,j \rangle$ の標高 $H_{i,j}$ は、一つのセル $\langle i,j \rangle$ の地形の標高の平均を利用している。この結果を、図 4 に浅間山付近、無風の時、図 5 に浅間山付近、左からの風の時、の 2 通りの実験結果を示す。

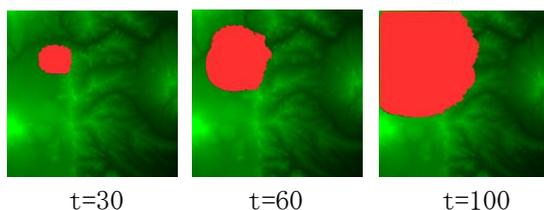


図 4 浅間山付近 無風

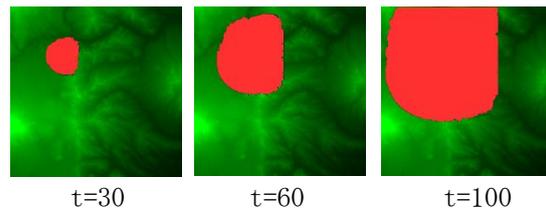


図 5 浅間山付近 左からの風

図 1 と図 4 を比較すると、地形に合わせて炎の広がり方が変化しているのがわかる。標高が高いところへ炎は広がりやすく、標高が低いところへ炎が広がりにくい。図 4 と図 5 を比較すると、風が吹いていく右側へ炎が広がりやすいことがわかる。

4.まとめ

地形により炎の広がり方が違うことを計算により確かめた。この炎の広がり方を実際の森林火災と比較する。

5.参考文献

- [1] A. Hernandez Encinas , L. Hernandez Encinas , S. Hoya White , A. Martin del Rey , G. Rodriguez Sanchez “Simulation of forest fire fronts using cellular automata”(2006)
- [2] 角田克磨 “森林火災の数値シミュレーション” 平成 29 年度卒業論文
- [3] 国土地理院ホームページ標高タイル (<http://maps.gsi.go.jp/development/tileCoordCheck.html#10/36.4169/138.7106>)