

森林火災の数値シミュレーション

日大生産工 (学部) ○角田 克磨

日大生産工 (卒業生)

吉田 龍ノ介

日大生産工 (教授)

野々村 真規子

1 まえがき

森林火災は、そこに生息する植物や動物の命を奪うのはもちろん、大気汚染による地球規模の環境破壊にもつながる。したがって、事前に森林火災がどのように拡大するかを知ることは、森林火災拡大を抑える方策を練る上で非常に重要となる。

近年、セルオートマトンを元にした燃焼拡散のモデルが報告されている[1,2,3]。中でも、Karafyllidisらは風向きや標高などを取り入れたモデルを提案した[1]。このモデルに対して、Encinasらは対角への燃え広がりをより現実合うように修正を施した[2]。本研究では、Encinasらのモデルを用いて、複雑な地形で森林火災がどのように拡大するかを数値シミュレーションによって研究した。

2 既存研究

Karafyllidisらは、時刻 t でのセル $\langle i, j \rangle$ の状態を

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

と定義して、燃焼率 $a_{ij}^{(t)}$ は次の式に従って時間発展するとした。

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

式(2)の右辺第2項は上下左右の隣接セル、右辺第3項は対角セルからの火災の燃え広がりを表す。ただし $a_{ij}^{(t)}$ は1より大きな値を取らないとする。場所依存する係数 $\mu_{\alpha\beta}$ は

$$\mu_{\alpha\beta} = w_{i+\alpha, j+\beta} h_{i+\alpha, j+\beta} \quad (3)$$

で、 w_{ij} は風の影響、 h_{ij} は標高を表す。

図1(a)のようにKarafyllidisらは対角セルからの燃え広がりを線形と仮定して係数 λ を

$$\lambda = \frac{L^2 - (\sqrt{2} - 1)^2 L^2}{L^2} \approx 0.83 \quad (4)$$

とした。ここで、 L はセルサイズである。一方でEncinasらは対角セルから円形に燃え広がる(図1(b))として、係数 λ を次のように見積もった[2]。

$$\lambda = \frac{\pi L^2}{4L^2} \approx 0.785 \quad (5)$$

本研究では、Encinasらの係数(5)を用いて、式(2)による森林火災の数値計算を行った。

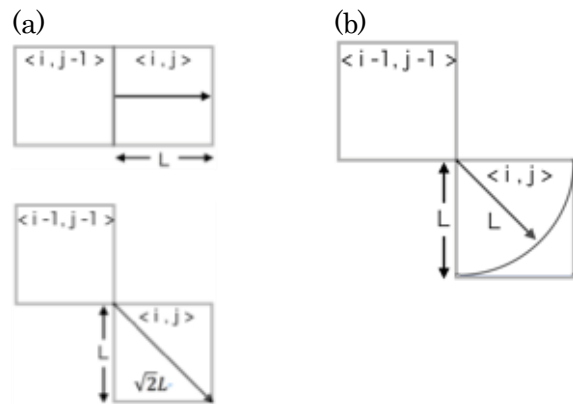


図1：対角セルからの燃え広がり

3 数値計算結果

ここではいくつかの数値計算結果について紹介する。数値計算には上述のモデルを用いている。システムサイズは $250 L \times 250 L$ とした。

まずは、一番単純な場合として、無風の平地での数値計算結果を図2に示す。緑の部分が燃烧していない森林で、赤の部分が燃烧した森林を表している。始め中心部分のみが燃えていた状態からスタートし、徐々に燃え広がっている様子がわかる。対角セルの燃烧率は隣接セルと比べて悪いいため、角が丸まるように燃烧する。

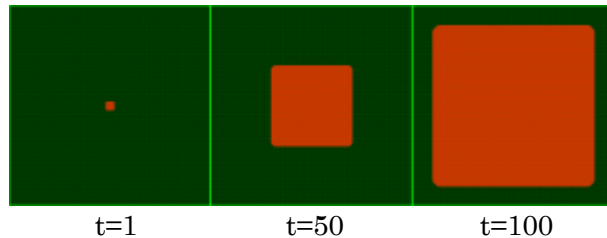


図2：平地での燃烧の広がり

次に、山での火災の様子を図3と図4と図5に示す。燃え始めの位置は全て中心から少しずらして $i = 175L$ 、 $j = 175L$ とした。ここでは、中心からの距離 r の関数 $H(r)$ を用いて、山の形を表した。図3と図4は無風状態の場合で、図5は風を考慮した場合の結果である。図3と図5は $H(r) = 1 - r/(125\sqrt{2})$ 、図4は $H(r) = 1/(r + 1)$ とした。図3と図4を比較すると、同じ無風の場合でも山の形状によって燃え広がり方が異なることがわかる。特に図4の $t=200$ を見ると、急激な斜面を登るように火災が飛び火しているのがわかる。

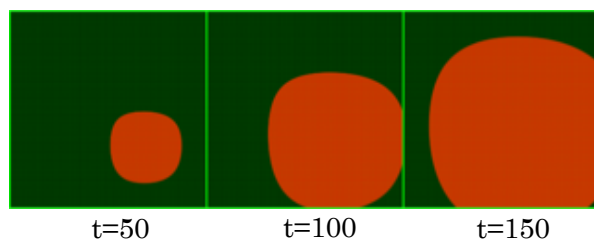


図3： $H(r) = 1 - r/(125\sqrt{2})$ の場合

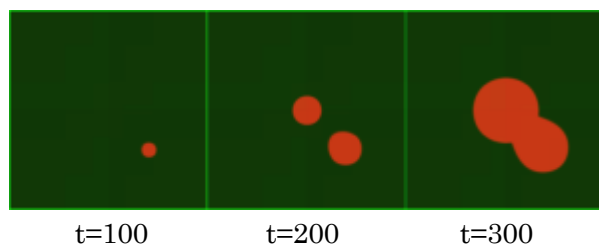


図4： $H(r) = 1/(r + 1)$ の場合

図5は図3と同じ山で、風向きを変えた場合の結果である。風向きによって燃える速さ

が異なることがわかる。

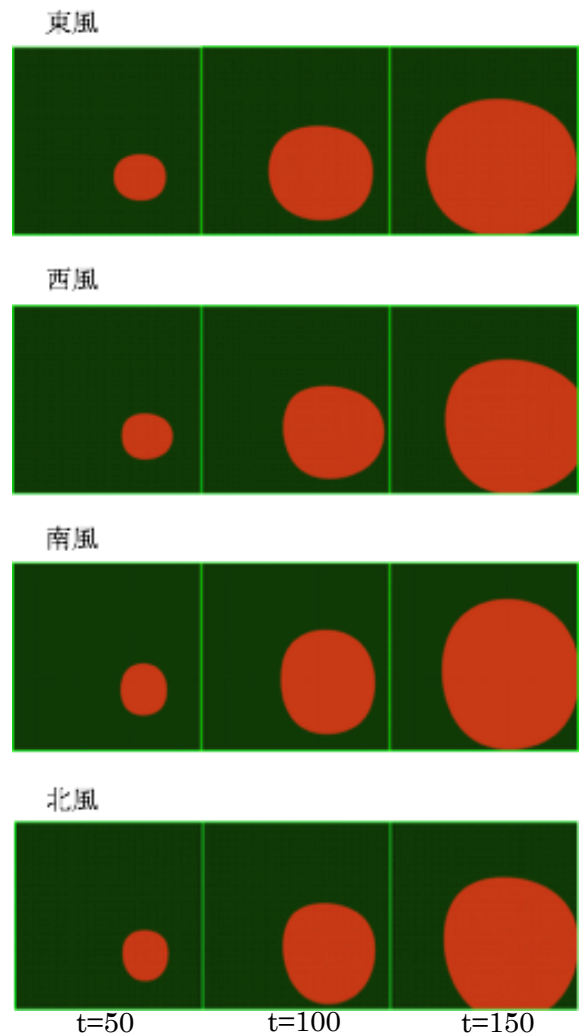


図5：風の影響

4 まとめ

風と傾斜の状態を変化させて数値シミュレーションを行った。ポスターでは、複雑な地形での森林火災の広がりの数値計算を紹介する。

「参考文献」

- [1] I. Karafyllidis, A. Thanailakis, “A model for predicting forest fire spreading using cellular automata”, Ecological Modelling 99:87-97 (1997).
- [2] A. H. Encinas, L. H. Encinas, S. H. White, A. M. del Rey, G. R. Sanchez, “Simulation of forest fire fronts using cellular automata”, Advance in Engineering Software 38:372-378 (2007).
- [3] 吉田龍ノ介, “2次元セルオートマトンを用いた森林火災の研究”, 平成28年度卒業論文.