

## 二次元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

日本大学生産工学部    ○吉田 龍ノ介    野々村 真規子

### 1 まえがき

日本を始め、森林火災は世界中で発生している。近年の例を挙げると2016年8月3日、スペイン領カナリア諸島で3日、大規模な森林火災が発生し、住民約700人が避難した。こうした森林火災の被害を最小限にとどめるためには、シミュレーションによる火災拡散の予測をし、樹木の種類や傾斜といった森林の状態に応じた対策が必要となる。

これまで、森林火災の拡散のシミュレーションに関する研究はいくつか報告されている。中でも、文献[1]と[2]の研究では、セルオートマトンを用いられている。これらの文献では波動の伝播を森林火災の拡散に応用し、火災がどのように拡散するかに焦点を絞っていた。本研究では、これらの文献のセルオートマトンのルールを参考にして、樹木の種類と湿度の効果が入った数理モデルを考案し、シミュレーションを行った。

### 2 数理モデル

2次元空間（以下マップと呼ぶ）を四角格子状のセルに区切り、その状態を変化させることで森林火災を表現する。セルの状態は表1に示すように状態0から状態4の5つを考える。

各セルは、今の状態と、周りの4セルの状態によって、次の時間ステップでの状態を変えていく。ただし、初期に状態0と設定されたセルは状態変化をしないとした。状態0ではないセルには樹木の燃えやすさを表す変数（以降変数 $v$ とする）が与えられている。変数 $v$ の値が小さいと燃えにくく、大きいと燃えやすいことを表す。状態1の各セルは、その周りのセルが一つでも状態3であると、セルは燃えている状態（状態2か3）に変化する。そのとき重要となるのが、 $v$ の値である。10以下のときは次のステップでセルの状態は2になり、その次のステップからは $v$ の値が10になるまで $v$ の値を1増やしていく。 $v$ の値が10よりも大きくなると状態3となって、周りのセルに燃え移る。 $v$ の値が

はじめから10よりも大きい場合は状態2を経由しないで状態3となるとした。状態3となったセルは、次のステップでは燃え尽きて状態4になる。このルールを、マップ上のセルすべてが状態0と状態4だけになるまで続ける。

初期状態で設定する $v$ の値は、 $v_1$ から $v_2$ の間の値をランダムに配置させる。 $v_1$ と $v_2$ の値は考える状況によって設定する。例えば、森林の湿度は $v_1$ と $v_2$ の平均 $w=(v_1+v_2)/2$ で表される。湿度が高い時は $v_1$ と $v_2$ を小さく、低い時は $v_1$ と $v_2$ ともに大きい値を設定する。また、 $v_1$ と $v_2$ の間隔 $d=v_2-v_1$ は、森林を構成する樹木の種類の多様性と関係している。森林を構成する樹木の種類が少なく場所による環境の変化が少ない場合は $d$ を小さく、多種多様な樹木の空間分布を考える場合は $d$ を大きくとるようにする。

表1 セルの状態

|     |    |             |
|-----|----|-------------|
| 状態0 | 白  | 樹木の生えていない更地 |
| 状態1 | 緑  | 燃えていない状態    |
| 状態2 | 黄色 | 燃えている途中の状態  |
| 状態3 | 赤  | 最も燃えている状態   |
| 状態4 | 黒  | 燃え尽きて鎮火した状態 |

### 3 シミュレーション結果

図1にマップの中心の一つのセルを状態3として、そのセルから森林火災が広がる様子を再現した数値計算結果を示す。図1の左は $w=2.5$ 、右は $w=8.5$ とした結果である。その他のパラメータの値は全て同じにしている。上から順に20ステップ、40ステップ、60ステップと時間発展している。両方とも更地をさけるようにして状態4の領域が広がっていつていることがわかる。 $w=2.5$ と $w=8.5$ の結果を比較すると、明らかに $w=8.5$ の方が広がるスピードが速いことがわかる。更地以外のすべてのセルが状態4となるまでにかかったステップ数を比較すると、 $w=2.5$ のときは188ステップ、 $w=8.5$ のときはその約1/2の70ステップとなっている。

Simulation of forest fires using two-dimensional cellular automata

Ryunosuke YOSHIDA and Makiko NONOMURA

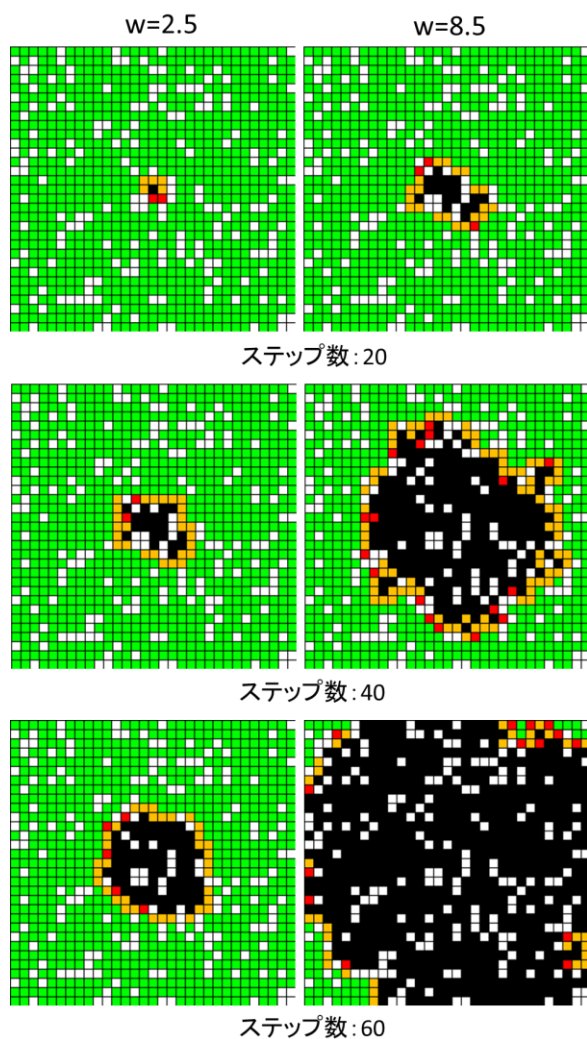


図1 森林火災のモデルの実行画面

図2は、“森林の湿度”を高い( $w=2.5$ )、普通( $w=5.5$ )、低い( $w=8.5$ )とし、それぞれの湿度で“樹木の種類の多様性”を少ない( $d=1$ )、普通( $d=3$ )、多い( $d=5$ )として、各条件で20回シミュレーションを行った平均値をグラフにしたものである。横軸は“樹木の多様性  $d$ ”、縦軸は“火災の拡散にかかった時間（計算ステップ数）”である。この図の3つのグラフはいずれも単調減少の傾向が見られるが、湿度が高い上2つのグラフはその傾きが小さく、あまり  $d$  の依存性が見られない。それに対し、最も湿度が低い  $w=8.5$  ではグラフの傾きが大きく、多様性が拡散時間を減少させている傾向がはっきり見える。

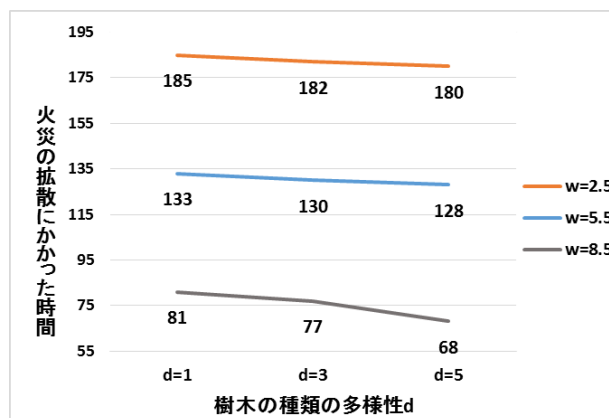


図2 湿度と樹木の種類の多様性との関係

#### 4 まとめ

今回、樹木の燃えやすさ  $v$  という変数を導入した新しい森林火災の数値モデルを提案した。数値計算により、 $v$  の平均値と分布によって、湿度と樹木の種類の多様性を表現することができる。このモデルを用いて、樹木の種類の多様性と湿度がどのように森林火災の広がりに影響を与えるのかを調べた。

#### 参考文献

- [1] A. Hernández, Encinas, L. Hernández, Encinas, S. Hoya, White, A. Martín, del, Rey, G. Rodríguez, Sánchez : Simulation of forest fire fronts using cellular automata, Advances in Engineering Software 38 (2007) 372–378.
- [2] L. Hernández Encinas a, S. Hoya White b, A. Martín del Rey c, G. Rodríguez Sánchez d : Modelling forest fire spread using hexagonal cellular automata, Applied Mathematical Modelling 31 (2007) 1213–1227.