

G-17

CA 都市火災シミュレーションにおける消火効果の検討

A Discussion of the Extinguishment Effect in the CA City Fire Simulation

謝 孟春[†]坂本 尚嗣[‡]藤田 克志^{‡§}小倉 久和[‡]

Mengchun Xie

Naotsugu Sakamoto

Katsushi Fujita

Hisakazu Ogura

1. はじめに

セルオートマトン(Cellular Automaton:CA)は局所的な相互作用を定義することで、複雑な現象を再現することができる¹⁾。複雑な挙動を示す現象の一つに震災時の都市火災がある。著者らは、CA都市火災シミュレーションにおいて、複数のパラメータが結果に大きな影響を与えることを示した²⁾。特に、消火が火災の延焼を防止する重要な要素の一つであることを示した。本研究は、消火を導入したCA火災シミュレーションにおいて、消火の方式や消火の位置など多方面から消火効果を検討する。消火モデルの有効性を検証するために、阪神・淡路大震災の被害地区を対象として、シミュレーションを行う。

2. CA火災シミュレーション

CA火災シミュレーションでは市街地を格子マップで表す。格子マップとは市街地を二次元の正方格子で区切ったものであり、一つの正方格子が一つのセルを表す。それぞれのセルは以下に示す6つの状態のいずれかに対応する²⁾。

- ①木造セル：木造建築（燃えやすい）。
- ②防火セル：防火建築（燃えにくい）。
- ③耐火セル：耐火構造建築（燃えない）。
- ④道路セル：道路や空き地（燃えない）。
- ⑤燃焼セル：燃えている建物。
- ⑥鎮火セル：燃え尽きた建物（燃えない）。

このうち、燃える可能性があるという共通の性質から、木造セルと防火セルを可燃セルと呼ぶ。

CA火災シミュレーションにおけるセルの状態変化は、可燃セルの燃焼および他の可燃セルへの延焼の2つがある。つまり、可燃セルは近傍に燃焼セルがあると燃焼セルとなる場合がある。さらにこの燃焼セルには近傍に火災を広げる延焼能力がある。そして定められた時間まで燃焼セルの状態が続き、一定時間後に鎮火セルとなる。延焼可能セルが燃焼セルへと変化する確率 p は以下の式で求める。

$$p = \frac{W_e \cdot C_b \cdot C_f}{C_d} \quad (1)$$

C_f は燃焼セルの火の勢いを表し、時間によって変化する。また、セルが最も激しく燃えている時に $C_f=1$ となる ($0 \leq C_f \leq 1$)。 C_a は燃焼セルと延焼可能セルとの間の距離により変化するパラメータで、隣り合っているときに $C_a=1$ となり、距離が大きいくほど C_a の値は大きくなる ($C_a \geq 1$)。 W_e は風の影響を表すパラメータであり、風速 0 m/s の時に $W_e=1$ である。 C_b は無風状態でのセルの燃えやすさを表し、木造セルの C_b は 0.22 、防火セルの C_b は木造セルの半分である 0.11 とする。

p を求めた後、次の条件を満足するときに延焼可能セルは燃焼セルに変化する。

$$p \geq r_f \quad (2)$$

ここで r_f は一様乱数であり、 $0 \leq r_f \leq 1$ である。

[†] 和歌山工業高等専門学校

[‡] 福井大学

^{‡§} 福井工業高等専門学校

3. 消火を導入したCA火災シミュレーション

実際の火災時における消火活動には主に

(a) 燃えている建物を鎮火させる

(b) 放水している方向への延焼の防止

という2つの目的が考えられる。ここでは(b)の延焼を防止する目的で、消火モデルをCA火災シミュレーションに導入する。つまり、消火がある方向には一切延焼しないようにする。

従って、消火を導入したモデルでは、可燃セルが延焼可能セルと判定される条件は以下の3つになる。

- (1) 燃焼セルの上下左右に隣接している可燃セル
- (2) 燃焼セルとの間に2セル以下の道路セルをはさんでいる可燃セル
- (3) 放水されていない可燃セル

消火を加えた時の延焼可能セルの調査の一例を図1に示す。

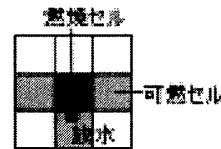


図1. 消火を導入した一例

図の中央に燃焼セルがあり、燃焼セルに隣接する左、右、下のセルは可燃セルである。図のように燃焼セルと下の可燃セルとの間で放水を考える。消火を考えない場合、左と右と下の可燃セルが延焼可能セルとなる。しかし、この例では燃焼セルの下からの放水があるので、燃焼セルの下にある可燃セルは延焼可能セルとならない。

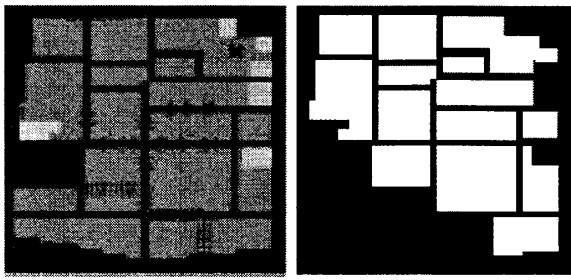
消火の方式を分散消火と集中消火に分ける。分散消火とは、放水点を一列に並べ、等間隔に放水をしない隙間を設けるという方式である。集中消火とは、防火セルの付近を一切消火を行わず、燃え広がりやすい木造セルのある場所を集中的に放水点を設ける方式である。この方式は、周囲のセルの状況を効率よく利用する方法である。

消火を導入したCA火災シミュレーションは格子マップを入力し、出火場所や消火の方式や消火の位置などを指定するという初期化を行ったあと燃焼セルの状態変化と延焼可能セルの調査、燃焼判定の3つを終了条件が満たされるまで繰り返す。

4. 実験

本研究で提案した消火を導入したCA火災シミュレーションの有用性を検証するために、阪神・淡路大震災で火災による被害が大きかった菅原変電所前の地区を対象としてシミュレーションを行った。

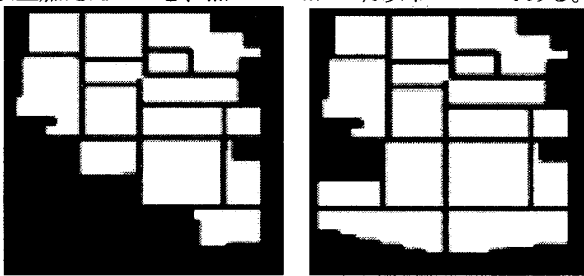
この地区には防火セルは少ないが、現実には消火が多く入っていることが特徴である^{3,4)}。地区の格子マップを図2(a)、現実で燃えた範囲を図2(b)に示す。



(a)格子マップ (b) 現実に焼失した範囲
図2 菅原変電所付近

実験条件として、風速は図の右下から左上に1m/s、出火場所、消火の位置と消火開始時間は現実と同じにした。

図3(a)及び(b)に、消火モデルと消火なしモデルによるセルの燃えた確率分布を示す。図は200回の試行実験でのそれぞれのセルが燃えた確率を表している。白いセルが75%以上燃えたセルを、黒いセルが25%以下のセルである。



(a)消火モデル (b)消火なしモデル
図3 異なるモデルによるセルの燃えた確率分布

図3より、消火なしモデルでは現実(図2(b))と比べて延焼範囲が広すぎるのがわかる。それに対して、消火を導入したモデルでは、現実に近い結果となることが分かる。

さらに消火の位置、および消火の方式を変えて実験を行った。現実の消火の行われた位置を図4に、変更を加えた消火位置を図5と図6に示す。図5は分散消火方式で、図6は集中消火方式である。

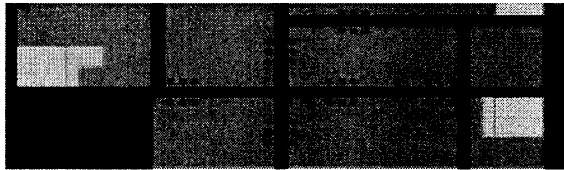


図4 現実での消火



図5 分散消火



図6 集中消火

それらに対して、焼失セル(燃焼セルと鎮火セルの和)の時間変化の様子を図7に示す。これらの結果より、消火モデルをシミュレーションに導入することによって、延焼が抑えられることが分かる。さらに、消火の方式を変更することにより延焼が抑えられる程度が異なることも分かる。

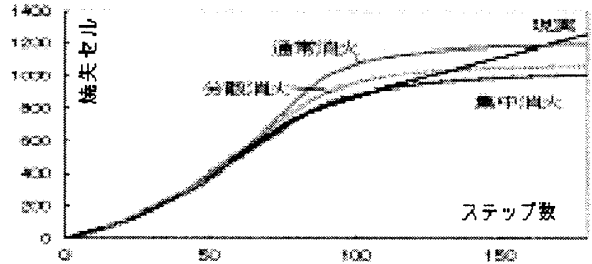


図7 異なる消火による焼失セルの時間変化

最も焼失セル数が少なかった集中消火方式に対して、セルの燃えた確率分布を図8に示す。図3の(a)と比較すると、集中消火の場合には、現実の場合より延焼範囲が小さくなるのがわかる。また、消火の数を増やすことにより延焼範囲が小さくなることもわかる。従って、消火の数や消火の方式を変更しながら実験を繰り返すことで、効果的な消火などが予測できることが考えられる。

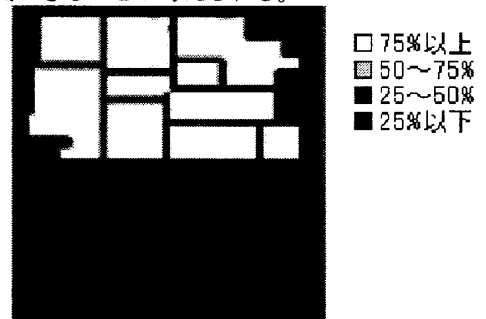


図8 集中消火によるセルの燃えた確率分布

5. まとめ

本研究はCA都市火災シミュレーションに消火を導入し、消火方式を分散方式と集中方式に分け、消火モデルを構築した。その結果、きわめて単純なモデルで現実の火災をより正確にシミュレーションできることを実験から明らかにした。特に阪神・淡路大震災で火災による被害が大きかった菅原変電所の地区を対象にして調べ、消火モデルを導入することで延焼範囲と焼失セル数の時間変化が現実に近づいたことから本モデルの正確性を確かめた。また、消火の方式を変更しながらシミュレーションを繰り返すことにより効果的な消火方法を求める可能性があることも確認できた。

今後の課題として、発生した火災に対する住民の初期消火と消防による消火活動をどのように消火モデルに取りこむか、消化力の評価などについて検討する予定である。

参考文献

- 1) 加藤恭義、光成友孝、築山洋：セルオートマトン法—複雑系の自己組織化と超並列処理、オーム社(1998)
- 2) 謝孟春、坂本尚嗣、藤田克志、小倉久和：都市火災シミュレーションへのセルオートマトンの適用、福井工業高等専門学校 研究紀要 自然科学・工学、No.35、p19-24 (2001)
- 3) 日本火災学会 『1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書』(1996)
- 4) 神戸市消防局 『阪神・淡路大震災神戸地域における消防活動の記録』(1995)