

セルオートマトンを用いた都市火災のシミュレーションにおける

3M-1

中間セルの提案*

謝 孟春 坂本 尚嗣 藤田 克志† 小倉 久和‡
 福井工業高等専門学校§ 福井大学¶

1. はじめに

阪神大震災時などのような大規模震災において、最も被害の大きいものが火災である。震災時の火災では家屋倒壊や震災直後という混乱により非常に消火が困難になり、火災が非常に広範囲にわたって広がり、大きな被害となるのである。都市防災計画において市街地での火災の延焼のシミュレーションを行うことは非常に重要な要素である。

都市火災のシミュレーションの方法としてセルオートマトン (Cellular Automaton: CA) がある。防火機能を考慮した現代建築の増加とともに、木造建築と鉄筋構造をセルとする従来の CA モデルは正確なシミュレーションが困難になる。そこで、本研究では防火建築を中間セルとして導入する。中間セルモデルの有用性を検討するために阪神大震災の一地域でのシミュレーションを行い、従来の方法との比較をする。

2. CA による火災シミュレーション

CA とはセルと呼ばれるものがある規則に従って並んでおり、それぞれのセルはある有限の状態をとる。そして、セルは自分の近傍にあるセルの状態により次の状態が決まる。このように全てのセルの状態を変化させていく方法が CA である。

CA を用いた火災シミュレーションでは市街地空間を 2次元の格子で区切り、その格子一つ一つを一つのセルとする。

2. 1セルの状態

本研究において、セルは次の6つの状態のいずれかをとる。①木造セル②中間セル③耐火セル④道路セル⑤燃焼セル⑥鎮火セルである。

木造セルは燃えやすい建物を表している。このセルは非常に燃えやすく周辺セルへの延焼も起

こしやすいが、短時間で燃え尽きる。一方、耐火セルは燃えない建物を表すセルである。中間セルは燃えることがあり、燃焼状態も長く続くが、木造セルと比べて燃えにくく、かつ延焼も引き起こしにくいという特徴を持つ。木造セルと中間セルを燃焼状態に遷移するセルという共通の性質から可燃セルと呼ぶことにする。

道路セルは道路と空き地を表している。燃焼セルとは可燃セルに火が燃え移り燃焼している状態を表すセルである。鎮火セルとは燃焼セルが燃え尽きた状態のことである。本研究では鎮火セルは建物がないので道路セルと同様に扱う。

2. 2セルの状態変化

火災シミュレーション CA におけるセルの状態変化とは可燃セルが燃焼セルとなり鎮火セルへと向かう変化、及び燃焼セルの周辺にある可燃セルに火が広がっていく延焼の二つである。

・可燃セルの状態変化

可燃セルはその周辺に燃焼セルがあると一定の確率で燃焼セルへと変化する。燃焼セルは周辺に火を広げる能力があり、一定時間が経過した後、燃焼が終わり鎮火セルとなる。

・延焼

延焼を次の二つのプロセスに分ける。一つは火が燃え移る可能性がある燃焼可能セルの調査である。もう一つはその延焼可能セルに火が燃え移るかどうかを確率で判定する燃焼判定である。

2. 3燃焼可能セルの調査

延焼可能セルとは次のステップに遷移するときに、燃焼セルに遷移する可能性がある可燃セルのことである。延焼可能セルは(1)燃焼セルの上下左右に隣接している可燃セル(2)燃焼セルとの間に道路を1セルはさんでいる可燃セルである。

図1は延焼可能セルの一例である。図の中央に燃焼セル、そのセルの下に耐火セル、右に道路セルがあり、その他は可燃セルである。このとき、条件(1)より、燃焼セルの上と左にある可燃セルが延焼可能セルとなる。下と右は可燃セルではないので火が燃え移ることはない。また条件(2)より、

*Proposal of the Middle Cell in the Simulation of Spreads of Fire on a City Site Using Cellular Automaton

†Mengchun Xie, Naotsugu Sakamoto, Katsushi Fujita

‡Hisakazu Ogura

§Fukui National College of Technology

¶Fukui University

燃焼セルから二つ右にあるセルは可燃セルであり、さらに燃焼セルとの間に道路セルがあるのでこの可燃セルも延焼可能セルとなる。

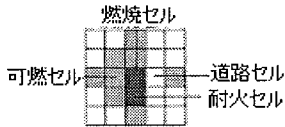


図1 延焼可能セルの一例

2. 4 燃焼判定

燃焼判定には確率を用いる。この確率 p は次に示す式で求める。

$$p = (C_w \cdot W + C_r \cdot C_a) / D^2$$

ここで C_w は風速係数、 W は風速、 C_r は燃焼セルの延焼しやすさである。 C_a は可燃セルの燃えやすさを表すパラメータである。 C_a と C_r は木造セルと中間セルに対して異なる値をとる。 D は延焼可能セルから燃焼セルまでのセル数（市街地距離）である。このようにして p を求めたあと、乱数を用いて燃えるかどうかを判定する。

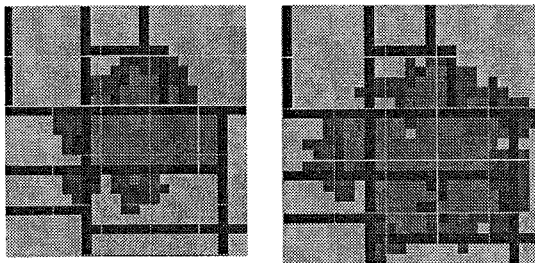
シミュレーションは可燃セルの状態変化と延焼の二つのプロセスを設定した終了条件（例えば燃焼セルがなくなるまで）を満たすまで繰り返す。

3. 実験

本研究では従来の CA と中間セルを考慮した CA を阪神大震災で被害が大きかった神戸デパート前の地区でシミュレーションを行った。実験条件は、セルの大きさを一辺 4 m、風速を 0 m、木造セル燃焼時の C_r を 0.8、 C_a を 0.22、中間セル燃焼時の C_r を 0.6、 C_a を 0.14 として実験した。

延焼は風速 0 m で 1 時間に 20 m 広がるというデータから、現実での 1 時間は 30 サイクルに相当する。

図2に出火後40サイクルの状態を示す。



(a)中間セル CA (b)従来の CA

図2 異なるモデルの結果

結果より、中間セルを用いた方法は従来の方法に比べて、防火建築が固まっている出火場所の下方向の火の広がりが遅いことが分かる。これは実際の神戸デパート前の火災の延焼と同じである。

図3に焼失セル数の時間変化を示す。図の横軸がステップ数、縦軸が焼失セル数である。

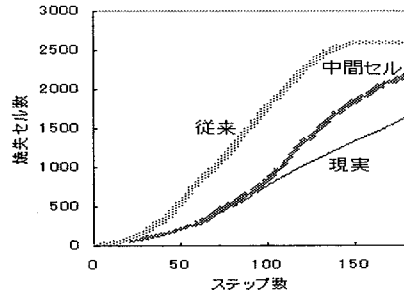


図3 焼失セルの時間変化

中間セルを用いたモデルの方が実際の火災のデータに焼失セル数、及びグラフの傾きが近く、延焼を正確にシミュレーションできていることを示している。しかし、100ステップ目から現実の火災は傾きが一定のまま焼失セル数が増えているのに対し、中間セルモデルは傾きがさらに増え、より広い範囲に火が燃え広がってしまう。これは現実の火災では100ステップ目あたりから消防車による消火が始まり延焼速度が低下したためと考えられる。

4. まとめ

本研究では従来の CA による火災のシミュレーションに防火建築に対応する中間セルを加え、神戸デパート前を対象地区としてシミュレーションを行い従来の方法と比較した。その結果、中間セルを考慮することにより、現実の火災により近くなることが分かった。しかし、消火を考慮していないため火が燃え広がりすぎることも分かった。

今後の課題として、消火の導入による延焼の防止をモデル化することがあげられる。

参考文献

- [1] 山田、瀧澤、河村、谷：「セルオートマトンを用いた都市火災のシミュレーション」日本建築学会近畿支部研究報告集 pp. 657-660 (1999)
- [2] 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)