

セルオートマトン法を用いた震災直後の市町村火災延焼危険マップの作成

謝 孟春† 野口 英之‡
和歌山工業高等専門学校 † 大日本印刷 ‡

地震直後の火災の広がりをシミュレーションで予測すれば迅速な消火活動や住民の避難経路の選定に役立ち、被害の拡大を抑え、多くの人命を救うことができると考えられる。我々はこれまでセルオートマトン(CA)を用いて震災直後の火災予測システムを作成した。CAにより火災予測を行うためには、格子マップと呼ばれるシミュレーション対象となる地域のマップデータが必要である。本研究では、震災時の火災予測システムに電子住宅地図を導入し、格子マップ作成方法を検討する。作成した格子マップは、作成時間の大幅な短縮が可能となり、正確な建物形状を表現することができた。また、市町村の市街地の構成を考慮したセルの設定方法を提案し、特定の地域で火災予測を行った、火災延焼危険マップを作成した。

Making Risk Map of Fire in the Aftermath of an Earthquake for Towns and Villages by Cell Automata

Mengchun XIE †, Hideyuki NOGUCHI ‡
Wakayama National College of Technology †, Dai Nippon Printing Co., Ltd. ‡

If the spread of fire in the aftermath of an earthquake is forecast by simulation, it is useful for prompt fire fighting and the selection of residents' evacuation routes. We have been making a simulation system by using the cellular automata. The map data of the simulated region is necessary to forecast a fire by CA. This research introduces a digital map into the fire simulation system, examining a lattice-map-making process. This process has greatly shortened the time to draw out the lattice map, simulating the accurate shapes of buildings. Moreover, a method has been proposed to arrange cells suitable for the urban districts of Gobo-Hidaka area, and make some risk maps, by which a fire was simulated in a specific region.

1. はじめに

近い将来に高い確率で発生すると予測されている東南海・南海大規模地震において、その直後の火災被害は大きなものになる可能性がある。また、日本は木造住宅の割合が高いため、地震発生時の火災被害は他国に比べ拡大しやすい傾向がある。阪神・淡路大震災は、地震発生から3日間に計256件の火災があり、神戸の火災被害は多大なものであった。1923年の関東大地震、1948年の福井地震と1997年の阪神・淡路大震災などの経験から、大地震と火災の結びつきが大規模な災害拡大を招くことは再三警告されておる⁽¹⁾。

和歌山県をはじめとする紀伊半島内陸部は急峻な山地がある地域であり、地震などに伴って地すべりが起こりやすい。また、内陸部のわずかな平野や盆地に集落が密集しており、火災や建物倒壊

の危険性も高い。

地震が発生した際には、建物の倒壊や火災、道路の崩落等で避難ルートが限られるため、危険地域の選定を感覚的に判断することは難しい。東南海・南海大規模地震による火災被害を事前に予測し、災害の際にとるべき初期行動と危険地域を把握することは重要である。

火災予測シミュレーションを行う手法の一つにセルオートマトン(CA: Cellular Automaton)法がある。CAはいくつかの状態を持つセルと呼ばれる格子が特定の規則にしたがって並んでおり、セルの状態は自己と隣接しているセルの状態により、ある一定の規則に従い変化し、それぞれのセルが相互に影響し合うことで複雑な動きを表現できるという手法である⁽²⁻⁴⁾。

CAによる火災予測シミュレーションは、地図

のセル化とセルの状態遷移から成り立っている。本研究では、震災直後の火災予測システムを構築し、市町村火災延焼危険マップの作成を試みる。地図のセル化を行うために、電子住宅地図を利用し、セルの状態の遷移にはセルオートマトン法を用いる。

本論文の構成は次のようである。2章ではCAによる火災予測シミュレーションについて述べる。3章では火災予測モデルを用いたシミュレーションの実験を示し、危険マップを作成する。4章はまとめである。

2. CAによる火災予測シミュレーション

2.1 CAによる火災予測の概略

CAによる火災予測シミュレーションは地図のセル化とセルの状態遷移から成り立っている⁽⁵⁻⁸⁾。CAによる火災予測システムの概略を以下に示す。

- ① 地図のセル化：シミュレーション対象となる地域のマップを作成する。
- ② 火災の発生：出火点を任意に指定し、火災が発生する。
- ③ 燃焼セルの変化：セルの燃焼時間により燃焼セルの延焼能力を変化させる。または、燃焼セルが一定の時間が経過した後鎮火セルとなる。
- ④ セルの状態遷移：延焼判定を行い、可燃セルが燃焼セルに変化する可能性がある。
- ⑤ 終了条件：定められた回数まで繰り返す。

2.2 地図のセル化

CAにおける地図のセル化とは、地図を一定長の二次元正方格子で区切ることで、一つの正方格子を一つのセルとするというものである。地図のセル化より作成された地図を格子マップと呼ぶ。それぞれのセルは以下に示す6つの状態のいずれかを対応させる。木造セルと防火セルは、延焼が起る可能性があるため、可燃セルと呼ぶ。また、本研究において木造、防火、耐火の建築様式を建物構造と表現している。

- ① 木造セル：木造建築を表し、燃えることがある。
- ② 防火セル：防火建築を表し、木造セルに比べ燃える可能性が低い。
- ③ 耐火セル：耐火建築を表し、燃えない。
- ④ 道路・空地セル：道路等建物でない場所を表す。

- ⑤ 燃焼セル：燃えている建物を表す。
- ⑥ 鎮火セル：燃え尽きた建物を表す。

2.3 セルの状態遷移

2.3.1 延焼条件

可燃セルが燃焼セルに変化する条件は以下の2つとする。

条件1：近傍の8セルに燃焼セルがある場合

条件2：8m以内の道路・空地セルを挟んで燃焼セルがある場合

図1のような場合、中心の燃焼セルに対して、可燃セル①、②、③は条件1を満たすので、延焼する可能性がある。また、可燃セル④、⑤は条件2を満たしているため延焼する可能性がある。しかし、可燃セル⑥はどちらの条件も満たさないため延焼しない。

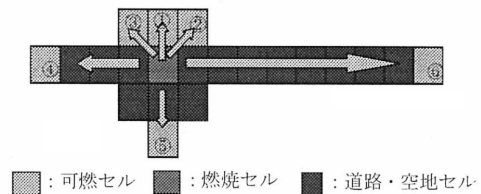


図1 セルの延焼条件

2.3.2 延焼確率計算式

延焼可能な可燃セルが燃焼セルに変化する確率 p を

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

と定義する。式中の各パラメータは以下のように設定する。

W_e ：風の影響を表すパラメータで、その計算式は

$$W_e = \begin{cases} \frac{W^2}{8} + 1 & (W \geq 0) \\ 1 & (W < 0) \end{cases} \quad (2)$$

で表される。

C_f ($0 \leq C_f \leq 1$)：燃焼セルの火の勢いを表すパラメータであり、消防の経験則より

$$C_f = \begin{cases} 1 - \left(\frac{t - 7.0}{13.0} \right)^2 & (\text{木造}) \\ 0.7 \cdot \left[1 - \left(\frac{t - 12.0}{18.0} \right)^2 \right] & (\text{防火}) \end{cases} \quad (3)$$

と設定する。

C_a ($C_a \geq 1$): 建物間距離をあらわすパラメータであり、建物間距離が大きくなるとその値は大きい。
 C_b ($0 \leq C_b \leq 1$): 無風状態でのセルの燃えやすさを表すパラメータで、セルの種類によって変化する。

C_b として、東京消防庁の東京消防式 2001 を適用している。東京消防式 2001 は建物内と建物間で式が区別されており、木造住宅での建物内と建物間の延焼速度はそれぞれ

- ・ 建物内延焼速度 (木造住宅)

$$V = 52.1[\text{m/h}] \quad (4)$$

- ・ 建物間延焼速度 (木造住宅)

$$V = (1.676 \times e^{0.576L}) \times (0.048U + 0.822) \quad (5)$$

(L : 建物間距離[m], U : 風速[m/sec])

となる。

2.4 建物構造の決定

格子マップの作成対象地域における建物構造はこれまでの調査より、木造、防火、耐火の比率の違いによって、以下の3種類に分類する。格子マップ作成の際、地域の市街地構成の特徴に応じて、その中から1種類を選択する。また、面積が極端に大きい建物は耐火建物としている。

- ・ 木造住宅多数(木造住宅が多数を占める地域)
 - 木造：防火：耐火 = 75：20：5
- ・ 新築住宅多数(新築家屋が多い地域)
 - 木造：防火：耐火 = 60：33：7
- ・ 集合住宅多数(集合住宅等が密集する地域)
 - 木造：防火：耐火 = 45：45：10

3. 実験と考察

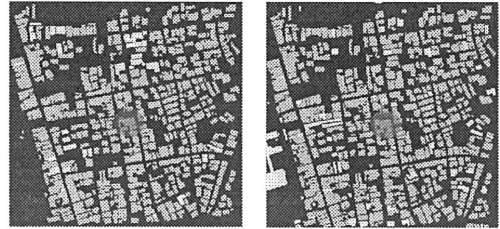
3.1 市街地の特性・構造についての実験

本研究で作成した格子マップは、建物構造を比率によりランダムで設定しているため、火災予測シミュレーションの結果が変化する可能性がある。そこで、実地調査を経て作成したマップ図 2(a)と本研究で作成したマップ図 2(b)とを用いて、比較実験を行った。実験において、ランダムで設定したマップの建物構成はすべて『木造住宅多数』とし、3パターンのマップで結果を比較する。

それぞれのマップでの焼失面積の時間変化を図 3 示す。これは 200 回シミュレーションの平均値である。

図 3 からランダムで設定したマップでの火災予測結果は、グラフの勾配や最終的な延焼面積は実

地調査のマップの結果とほぼ同等の結果となることがわかった。全体的には出火 2~5 時間の間に誤差が大きくなっている。これは、主に耐火建物の分布状況によって、火災の延焼拡大ルートが変化することが原因であると考えられる。実地調査と比べ、延焼面積の差が最大となるときの誤差は -22.4%~15.5%となった。また、平均誤差の絶対値は最大でもマップ 1 の 12.3%であり、火災予測結果に大きな影響を及ぼすほどの誤差ではないと言える。



(a)実地調査 (b)ランダム設定

● 出火点

図 2 セルの状態設定法の検証

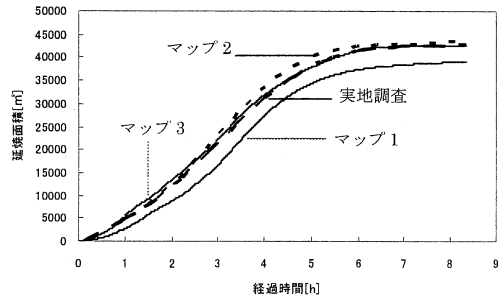


図 3 延焼面積の時間変化

3.2 危険マップの作成

本研究では、御坊市名田地区を対象に火災予測シミュレーションを行い、時間ごとの各建物の延焼確率を示す危険マップを作成した。名田地区の特徴としては、木造建物が多く、建物が比較的密集していることである。また、実験条件は無風、木造住宅多数で、出火点は任意に指定した。作成した危険マップは図 4 である。

図 4 より、火災の延焼は出火直後から拡大していき、この地域の半数を超える建物が 7 時間後には全焼し、出火 10 時間後に鎮火に至った。しか

し、この地域は、道路を挟み建物の密集地帯が東西に分断しており、その道路を越えて延焼が起る確率は50%前後である。したがって、火災が発生した際には、道路を基準に出火点と反対側の建物の密集地帯を通して避難すれば比較的安全なルートを確認できると考えられる。

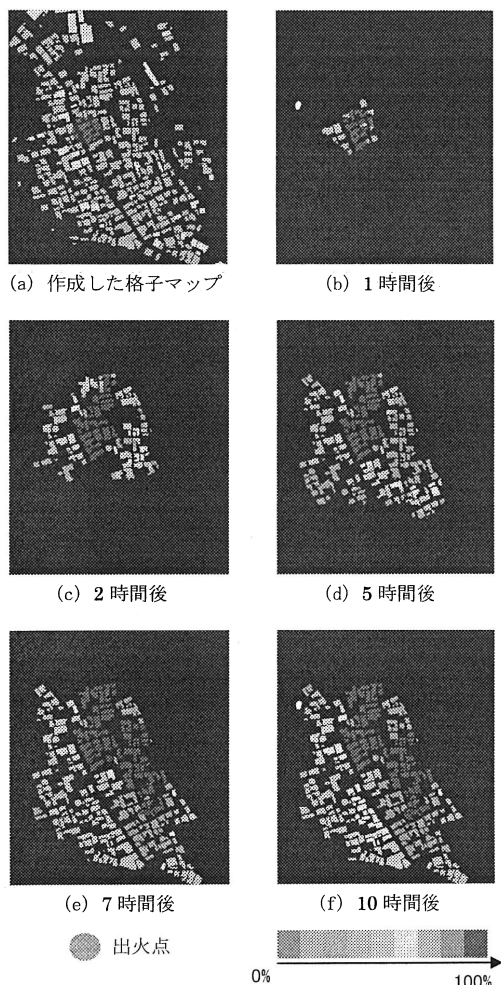


図4 対象地域の危険マップ

6. まとめと今後の課題

本研究は、CA 火災予測システムに電子住宅地図を導入することで、格子マップ作成の効率化を図った。建物構造について、本研究で行ったものと、実地調査のものとの比較実験を行った。ランダムに設定したマップは、耐火建物の分布状況に

よって、火災の延焼拡大ルートが変化するため、出火 2~5 時間では誤差が発生した。しかし、その誤差も最大で 20%程度であり、最終的な延焼面積にはそれほど大きな差はなく、許容範囲内であることを確認した。最後に、ある地域の危険マップを作成することで、延焼拡大の様子を示し、避難ルートの考察を行った。

今後の課題として、より現実の火災状況に近づけるため、建物の高さなどを考慮し、立体セルを用いた 3 次元マップの導入を検討するとともに、シミュレーションの結果を電子住宅地図上に表示できるよう検討していく必要がある。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 加藤, 光成, 築山：「セルオートマトン法—複雑系の自己組織化と超並列処理—」, 森北出版 (1998)
- [3] 森下：「セルオートマトン 複雑系の具象化」, 養賢堂 (2003)
- [4] Hiroki Sayama “A New Structurally Dissolvable Self-Reproducing Loop Evolving in a Simple Cellular Automata Space” Artificial Life 5, pp.343-365 (1999)
- [5] Mengchun XIE, Naotsugu SAKAMOTO, Hisakazu OGURA “Application of Cellular Automata to Simulation of the Spread of a Fire on a City Site” Artificial Intelligence and Applications, pp.343-347 (2003)
- [6] 野口, 謝：「御坊・日高地区における震災直後の火災予測システムに電子住宅地図の導入」, 平成 17 年度電気関係学会関西支部連合大会論集, p304 (2005)
- [7] 野口, 謝：「御坊・日高地方の震災直後の火災予測システムにおける電子住宅地図セル化の改善」, 平成 18 年度電気関係学会関西支部連合大会論集, G313 (2006)
- [8] 野口, 謝：「御坊・日高地方の震災直後の火災予測システムにおける格子マップ作成の効率化」, 平成 17 年度電気関係学会関西支部連合大会論集, G256 (2007)

謝辞

本研究は平成 19-20 年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)19510179) によるものである。