

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業

住民参加型防災まちづくり支援GISの開発と
歴史的市街地まちづくり協議会での運用実験
に関する報告書

平成15年9月

1. はじめに

一般に、木造密集市街地の防災性能向上のためには、既存の道路の一部拡幅や小公園の設置、個別の建物の共同建て替えなど、修復型の整備が求められる。この修復型整備を進めるためには、住民参加型防災まちづくりの推進が不可欠であり、住民と行政、専門家を含めた協議の場では、様々な条件のもとで地区の火災危険度の評価、整備効果として延焼の低減など、その結果をビジュアルに分かりやすく表示できるツールが、合意形成に有効であり、また住民の防災意識の向上にも役立つことから、GISを用いた防災まちづくり支援技術の開発が緊急課題となっている。

本研究は、住民参加型防災まちづくりに有効な小空間単位の災害危険度評価手法の検討とセルラーオートマタを用いた延焼シミュレーションモデルの開発を試み、これらをGIS上で統合させ、どこを、どのような方法で整備すれば、どのくらい延焼を防ぐことができるのか、また地区の危険度はどのくらい低減するのかをデジタルマップ上で評価、シミュレーションでき、かつ結果をビジュアルに表示することのできるシステムの開発を進め、歴史的密集市街地のまちづくり協議会の現場での運用実験を行い、開発したシステムの合意形成支援ツールとしての有効性及び住民の防災意識向上への効果を検討することを目的としている。

本報告では、これらまでに検討を重ねてきた街区単位の災害危険度測定手法とセルラーオートマタ(CA)を用いた延焼シミュレーションモデルの試験的開発について述べ、それらを組み込んだ防災まちづくり支援GISの基本的考え方と開発の方向性について検討した結果を示す。

2. 街区単位の災害危険度測定手法

2-1. 目的と方法

本節ではまず、防災まちづくりの現場で地域住民が、自分たちのまちの災害危険性を正しく認識し、また市街地整備効果の測定にも活用するため、街区単位の災害危険度測定手法の開発を試みる。研究の手順としては、まずこれまでに実施されてきた各自治体における都市レベルと地区レベルの測定手法をいくつかの調査事例をもとに検討し、これらを踏まえてよりミクロな空間レベルとしてGIS機能を活用した街区単位での測定手法を提案する。そしてこれらを歴史的市街地へ適用し、その結果について考察する。

適用対象地区は、東海地方の代表的な観光地であり、古い町並みの残る岐阜県高山市の三町伝建地区及びその周辺地区(以下、高山地区)と、近年、住民参加型でまちづくり活動が進んでいる愛知県豊橋市の二川・大岩地区(以下、二川地区)である。

2-2. 災害危険度評価の現状

国土交通省の災害危険度評価方法²⁾(以下、国の手法)は、都市レベルと地区レベルに大別される。都市レベルは、都市の骨格的な施設の整備状況を対象とし、地区レベルはそれらによって囲まれた範囲を対象としている。都市レベルと地区レベルそれぞれに、延焼危険度と避難危険度があり、都市レベルでの延焼危険度は、都市防火区画の整備率により、また避難危険度は広域避難地の整備状況によって評価される。地区レベルの延焼危険度は、不燃領域率及び木防建蔽率と、消防活動困難区域の相加平均によって評価し、避難危険度は、道路閉塞確率と一次避難困難区域率の相加平均によって評価されている。

次に地方自治体の中から、調査可能であった東京都³⁾、北海道³⁾、長野県松本市⁴⁾、石川県金沢市⁵⁾、山口県防府市⁶⁾の災害危険度を調査した。その結果を表2-1に示す。これらの自治体では、いず

れも国の手法をベースに、各都市の実状に応じた評価項目が加味されている。当然ながら、街区単位での評価を行い、それを防災まちづくりを活用している自治体はなかった。

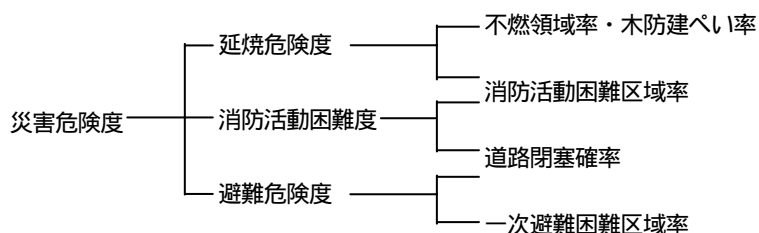
本研究では、これら国や地方自治体の地区レベルの評価手法を参考にしながら、街区単位での評価が可能な手法の開発を試みる。

2-3. 街区単位での災害危険度測定手法

本研究では、以下のように、国の手法にある延焼危険度と避難危険度に加え、消防活動困難度を新たに加えた3項目で構成することとした。消防活動困難度は、消防活動困難区域率と道路閉塞確率の二つの評価指標から求められるもので、消防活動の困難性を明示的に表すために加えたものである。

表2-1 地方自治体の災害危険度測定手法

| 対象地域 | 評価指標 | 評価方法 |
|--------------------------|--|---|
| 東京都 ³⁾ | 建物倒壊危険度 火災危険度 人的危険度 避難危険度 | これらの4つの危険度を統合した建物倒壊・火災危険度および総合危険度によって町丁目を単位として評価。 |
| 北海道 ³⁾ | 1次 地盤・斜面崩壊 住宅崩壊 ライフライン破壊 危険物破壊 | 地震被害の時系列的な拡大を1次から3次の8つに区分し、それぞれに地域特性を割り当てて評価。 |
| | 2次 火災被害 死傷事故 | |
| | 3次 地域活動低下 広域化災害 | |
| 長野県 松本市 ⁴⁾ | 建物倒壊危険度 都市防火区画整備率 不燃領域率・木防建蔽率 道路閉塞確率 | これらの4つの指標に対する個別評価と人口密度を考慮した総合評価。 |
| 石川県 金沢市 ⁵⁾ | 町単位 延焼危険性 広域避難地到達の困難性 | 町丁ごとの評価と、都市全体の評価があり、それぞれ相対的な評価がなされる。 |
| | 地区単位 延焼危険性 広域避難地到達の困難性 避難路確保の困難性 | |
| 山口県 防府市 ⁶⁾ | 延焼の危険性 避難の危険性 震災時の主要な危険要因 (消防活動の困難性・道路閉塞確率・避難場所までの距離) | 震度7程度の地震が発生した場合の危険性について評価したものである。 |



(1) 延焼危険度

不燃領域率、木防建蔽率

不燃領域率(%)及び木防建べい率(%)の基本的考え方と算定手法は国の手法と同じであり、これを街区に当てはめたものである。式で示せば、それぞれ以下ようになる。

$$\text{不燃領域率} = 100 \times (Va + (Pa - Va) \times Fp) / Pa \quad (1)$$

$$\text{木防建蔽率} = 100 \times Wd / Pa \quad (2)$$

ここで、 Va は空地面積[m²]で、街区内に存在する、短辺または直径40m以上、かつ面積1500m²以上の水面、公園、運動場、学校、団地など。 Pa は街区面積[m²]で、水面、河川、及び大規模空地(おおむね1ha以上)は含めないものとする。 Fp は耐火率で街区内全建築面積に対する耐火造の建築面積比。 Wd は木造(裸木造、防火木造)建築物の建築面積[m²]である。

危険度ランクは国の設定に倣い、表2-2のように定めた。なお、街区単位での評価であるため、街区面積に道路面積は含まれていない。

| 不燃領域率 | 木防建蔽率 | 危険度 |
|--------|---------|-----|
| 70% 未満 | 40%以上 | 5 |
| 70% 未満 | 30%~40% | 4 |
| 70% 未満 | 20%~30% | 3 |
| 70% 未満 | 10%~20% | 2 |
| 70% 以上 | - | 1 |

表2-2 不燃領域率と木防建べい率による危険度ランク

消防活動困難区域率

国の手法の地区レベルの測定では、消防車が通行可能な道路に面する震災時有効水利を中心に、ホースの届く範囲を同心円上に求め、それ以遠の領域の割合で求めている。しかし、街区単位での評価を行う場合はよりミクロな空間レベルでの評価が可能である。そこでここでは、震災時有効水利から道路に沿ってホースが届く範囲を消防活動可能領域として、消防車が幹線道路からアクセスできる震災時有効水利から道路に沿ってホースが届く範囲を図2-1に示すようにGIS上で求め、この領域に含まれない面積の街区面積に対する割合を用いることとした。危険度ランクの設定は国と同様に求めている（表2-3）。なお、消防車が通行できる道路幅員は6.5m（液状化の危険性がある場合は7.5m）、ホース最大長は400mとしている。

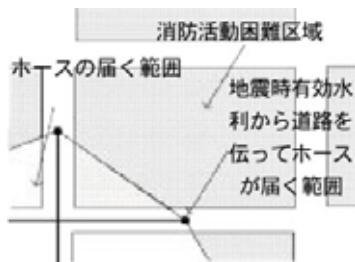


図 2-1 街区単位の消防活動困難区域率の求め方

| 消防活動困難区域率 | 危険度 |
|-----------|-----|
| 20%未満 | 1 |
| 20%～40% | 2 |
| 40%～60% | 3 |
| 60%～80% | 4 |
| 80%以上 | 5 |

表 2-3 消防活動困難区域率による危険度ランク

以上のようにして求めた不燃領域率と木防建ぺい率による危険度ランクと消防活動困難区域率による危険度ランクを基に、国の手法と同様、それらの相加平均により延焼危険度を求めている。

(2) 避難危険度

道路閉塞確率

道路閉塞確率は、建物倒壊により道路が閉塞する確率で、国の手法では、幅員4m未満の道路と、地盤の液状化の危険性が高い地区の幅員4～8mの道路は、道路閉塞確率=1.0（全て閉塞）、幅員8m以上の道路は、道路閉塞確率=0.0（全て閉塞しない）、そして、これ以外の地盤液状化の危険性が低い幅員4～8mの道路の場合に、以下の式で道路閉塞確率を求めている。

$$\text{幅員 4 ～ 8 m 道路の道路閉塞確率} = 1 - (1 - r^n)^n \quad (3)$$

ここで、 n は道路に面する建物数、 r は建物老朽化割合である。建物老朽化割合は、道路に面した全建物数に対する、道路に面した昭和46(1971)年以前の木造建築物数の割合である。

以上のように道路閉塞確率は道路ごとに計算される。しかし、ここでは評価の単位が街区であるため、街区を取り囲む道路の道路閉塞確率から代表値を1つ計算する必要がある。そこで、「災害時に街区内の人間は、最も近い道路を利用して避難する」という考えから、道路閉塞確率を、災害時にその道路を利用する人数で、重みつき平均し、代表値を決めることにした。しかしデータの制約から、具体的には、道路に面する全建物面積をそれとみなした。すなわち、式(4)となる。

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{road_num} (P_i \times Num_i)}{Num} \quad (4)$$

ここで、 i は道路、 P は街区の道路閉塞確率、 P_i は道路 i の道路閉塞確率、 $road_num$ は街区を取り囲む道路数、 Num_i は道路 i に接する建物面積[m²]、 Num は街区の道路に面する全建物面積[m²]である。この街区ごとの道路閉塞確率より、危険度ランクは国の手法に従い表2-4のように設定した。

| 街区ごとの道路閉塞確率 | 危険度 |
|-------------|-----|
| 40%未満 | 1 |
| 40%～50% | 2 |
| 50%～60% | 3 |
| 60%～70% | 4 |
| 70%以上 | 5 |

表 2-4 街区単位の道路閉塞確率による危険度ランク

一次避難困難区域率

国の地区レベルの評価方法では、一次避難地の代表点を中心に描いた半径500mの同心円に含まれない、それ以遠の領域が占める割合で評価している。しかし、その方法を街区レベルの評価にそのまま当てはめることも可能であるが、街区単位のきめ細かい評価を行う趣旨から、ここでは、一次避難地の出入口までの道路距離を用い、対象街区の道路に面する建物のうち、一次避難地までの距離が500m以上である建物の割合を、その街区の一次避難困難区域率とした(図2-2)。また危険度ランクは、他の評価項目と同様に国の手法に倣い、表2-5のように設定した。



図 2-2 街区単位の一次避難困難区域率の求め方

| 一次避難困難区域率 | 危険度 |
|-----------|-----|
| 20%未満 | 5 |
| 20%～40% | 4 |
| 40%～60% | 3 |
| 60%～80% | 2 |
| 80%以上 | 1 |

表 2-5 街区単位の一次避難困難区域率による危険度ランク

以上のようにして求めた道路閉塞確率と一次避難困難区域率による危険度ランクを基に、国の手法と同様、それらの相加平均により避難危険度を求めている。

(3) 消防活動困難度

地震時火災での初期消火活動の遅れとしては、消防水利そのものの問題や消防水利へのアクセスに関する問題等があげられる⁷⁾。そのことから、道路が閉塞してしまうと地震時有効水利が近くにあっても、消防活動は難しくなり、そうでなくても、近くに地震時有効水利がなければ、消防活動は難しくなる⁷⁾。

よって、消防活動困難区域率による危険度と道路閉塞確率による危険度を相加平均したものを、消防活動困難度とした。

2-4. 適用結果

図2-3に二川地区の、図2-4に高山地区の危険度評価結果を表す。

(1) 延焼危険度の評価

二川地区の不燃領域率・木防建ぺい率による危険度は、ランク4と5の街区が全体の48%、消防活動困難区域率による危険度は、ランク5の街区が全体の75%であった。これより、図2-3の に示す延焼危険度は、消防活動困難区域率による危険度が強く効いている。高山地区の不燃領域率・木防建ぺい率による危険度は、全街区でランク4又は5であり、消防活動困難区域率のそれは、全街区でランク1であった。その結果、延焼危険度は、ほぼすべての街区で延焼に危険性は中程度の評価となっている。

高山地区は、歴史的価値の高い木造建造物が密集している市街地である。個々の建物の不燃化，耐震化を図ることには限界があり，その分有効水利の適切な配置により消防活動の困難な区域の解消に努めており，また幅員が狭い道路も少ないことから，結果的に延焼危険度はランク3となっている。一方の二川地区は，道路整備や建物の不燃化等の市街地整備がほとんどなされておらず，とくに旧東海道沿いに延焼危険性のかなり高い街区が多く存在していることが，客観的に示された。

(2) 避難危険度の評価

図2-3の 二川地区の避難危険度をみると，ランク4と5の街区が全体の41%を占め，その街区は東側と西側に偏在している。これは一次避難地が地区の中心部に集中していることによりもので，避難危険性の偏在を解消するには一次避難地の分散配置の必要性がうかがえる。

高山地区（図2-4）では，ランク3の街区が最も多い。これは，道路閉塞確率による危険度がランク5の街区が全体の82%，一次避難困難区域率による危険度が全街区でランク1であったことによる。高山地区では，道路に面する建物が古いため道路閉塞確率が高くなっているものの，一次避難地は充足しており，その結果として避難危険度がランク3に低減されている。

(3) 消防活動困難度の評価

二川地区の消防活動困難度（図2-3）は，ランク4と5の街区が全体の72%を占める。道路閉塞確率による危険度がランク4と5の街区が全体の53%，消防活動困難区域率による危険度がランク5の街区が全体の75%を占めているためである。二川地区で2003年4月2日に発生した火災⁸⁾でも，消防活動のしにくさが原因となり，被害を増大させた。よって，地震時有効水利の充実や幹線道路につながる道路を拡幅することで，消防活動困難度を低減させることが必要である。

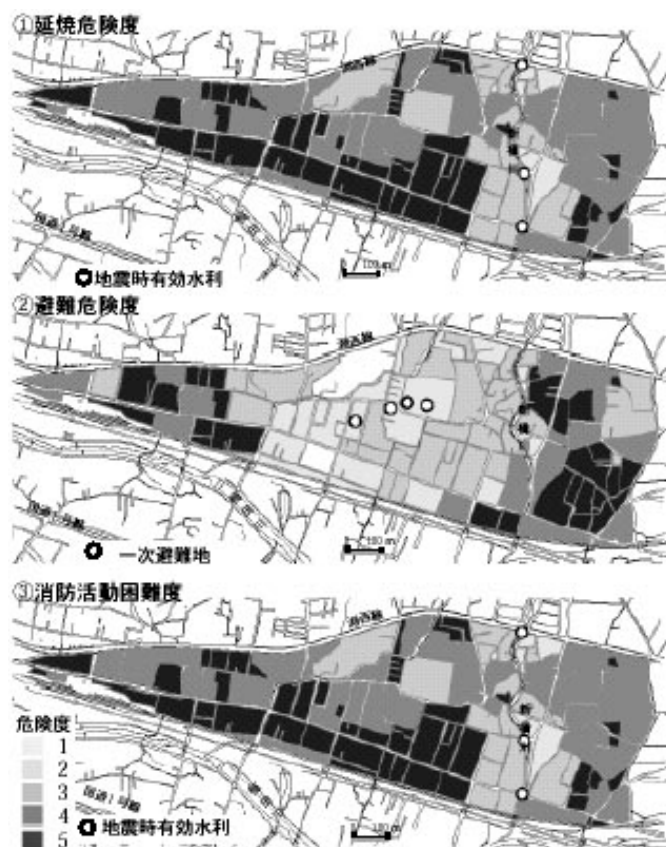


図 2-3 二川地区の災害危険度測定結果

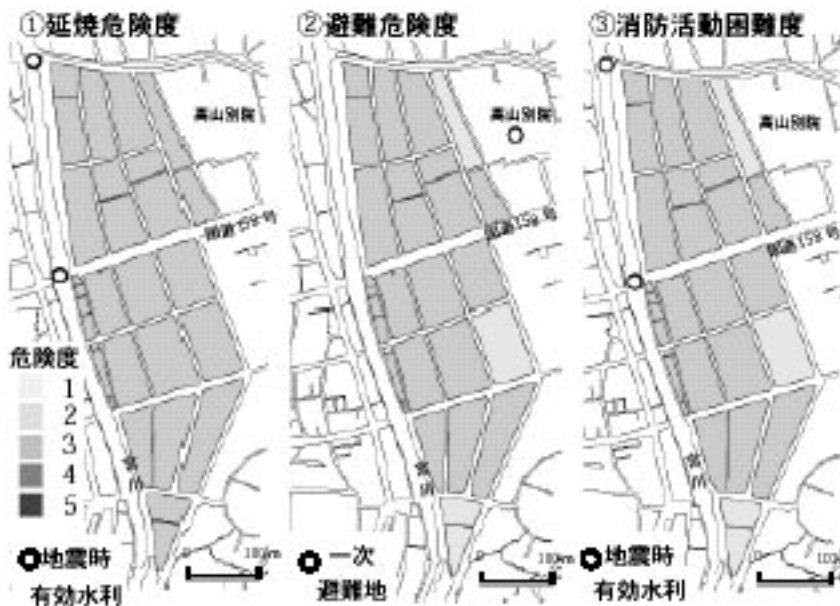


図 2-4 高山地区の災害危険度測定結果

図2-4の に示す高山地区の消防活動困難度をみると、ランク3の街区が全体の86%を占めている。これは、道路閉塞確率による危険度がランク5の街区が全体の82%、消防活動困難区域率による危険度が全街区でランク1であることによる。高山地区では、道路に面する建物が古いため道路閉塞確率が大きくなっているものの、地震時有効水利は充足しており、結果として消防活動困難度がランク3に低減されている。

2-5. 「二川・大岩地区まちづくり計画」の防災性能評価

ここでは、住民参加型で作成された地区整備計画「二川・大岩地区まちづくり計画⁹⁾」に記載された個々の事業が将来実施されたと想定した場合の危険度評価を試みる。この計画書は、人にやさしいまちづくりモデル整備地区の計画として、地元住民と行政、NPO等が参加し、協働で策定した素案をもとに作られた当地区の総合的なまちづくり整備計画であり、素案作成段階で防災の視点を特に意識して作成されたものではない。この中に記載された防災性能向上に寄与すると判断できる事業を取り上げ、それらが実施された場合に、街区毎の危険度がどの程度改善されるのかをみることにした。つまり総合的なまちづくり計画が、その地区の防災性能向上にどれだけ寄与する可能性があるかをみることで、提案した手法の整備効果の測定およびまちづくり計画評価のツールとしての有効性を検討する。

(1) 延焼危険度の評価

現在は、3つしかない地震時有効水利に対して、計画書に記載された道路整備事業による道路拡幅により消防車のアクセス経路を確保し、6つの有効水利が利用できると仮定し、消防活動困難区域率の改善を図った場合の延焼危険度を再計算した(図2-5)。その結果、ランク5の街区が29%減少するという整備効果を確認できた。

(2) 避難危険度の評価

道路整備事業による道路拡幅と 現存する空地を一次避難地として活用するという仮定のもとで、道路閉塞確率と一次避難困難区域率の改善を図った場合の避難危険度を求めた(図2-5)。一次避難地は、既存の4ヶ所に加えて、新しく計画されている公園、既存の寺社の活用を追加して合計8ヶ所を想定した。その結果、ランク4と5の街区はなくなり、避難危険度の大幅な低減がみられた。公園緑地の整備と一次避難地指定が防災性を向上させることが確認できた。

(3) 消防活動困難度の評価

地震時有効水利の増加と道路の拡幅により，消防活動困難区域率と道路閉塞確率の改善を図った場合の消防活動困難度を評価した（図2-5）。その結果，ランク5の街区が23%減少した。

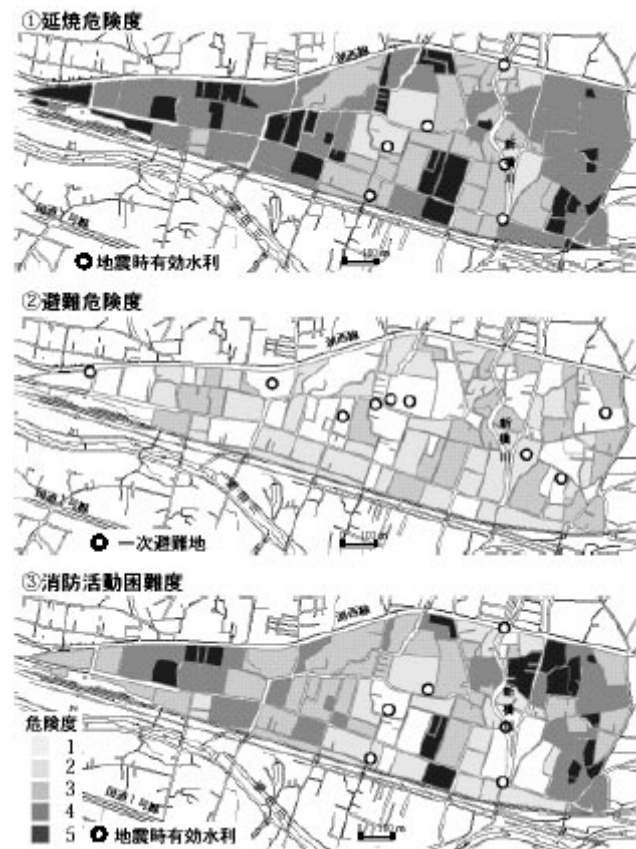


図2-5 「二川・大岩まちづくり計画」にある整備事業が実施された場合の災害危険度測定結果

2-6.まとめ

本節では，国の手法を踏まえつつ，独自の視点から，歴史的市街地における防災まちづくり支援GIS開発に向けた，街区単位の災害危険度測定手法を開発し，高山地区，二川地区に適用させた。

高山地区，二川地区ともに木造が密集する歴史的市街地であるが，高山地区では，観光資源である三町伝建地区を中心に文化財保護の視点にたった防災計画¹⁰⁾が策定されており，それにより防災関連の市街地整備も進んでいる。二川地区ではそういった整備が不十分であり，それが両地区の災害危険度の測定結果にも現れていた。また二川地区のまちづくり整備計画の記載された事業が実施された場合を想定した測定結果から，市街地整備の効果を街区単位で評価できること及びまちづくり計画の防災の視点からの評価ツールとして有効性と可能性も示すことができた。

参考文献

- 1)加藤孝明：「GISによる防災評価・対策技術の開発」，新都市，vol.55，No.656，pp.37-43，2001年
- 2)建設省都市局都市防災対策室：「都市防災実務ハンドブック地震防災編」，ぎょうせい，1997年
- 3)児玉桂子，小出治：「新時代の都市計画5 安心・安全のまちづくり」，ぎょうせい，1999年
- 4)松本市役所ホームページ
- 5)金沢市役所ホームページ
- 6)防府市役所ホームページ
- 7)村上正浩・鯉心治・日高圭一郎：「耐震性貯水槽の最適配置に基づいたアクセス経路の評価手法に関する研究」，都市計画 論文集No.33，pp.823-828，1998年

- 8) 東愛知新聞(2003年4月3日), 中日新聞東三河版(2003年4月2日)
 9) 豊橋市:「二川・大岩地区まちづくり計画 人にやさしいまちづくりモデル整備地区(二川・大岩地区)整備計画」, 2002年
 10) 高山市三町防災計画策定委員会:「高山市三町防災計画策定書」, 1996年

3. セルラーオートマタを用いた延焼シミュレーションモデルの試験的開発

3-1. 研究の目的と方法

木造建築物の多い歴史的市街地では、火災に対する危険性が高いため、如何にして延焼を抑制し、地区の防火性能を高めるかが重要な検討項目である。まちづくりの協議の場面で、火災時に延焼がどこに、どのくらいの時間で、どのように広がるのか、といったことを、視覚的に分かりやすく伝えることができれば、具体的な対策の効果をみるだけでなく、住民に自分たちの住むまちの火災に対する危険性を、直接的に知らしめるための情報として有効であろう。そのためには延焼をダイナミックにシミュレーションできるモデルが必要である。

本研究では、セルラーオートマタ(CA)を利用した延焼シミュレーションモデルの試験的開発を目的とする。

CAとは、格子状の空間にルールを設定することで、複雑な挙動を再現する複雑系の手法である¹⁾。これまでも山田ら²⁾、謝ら³⁾がCAを利用した延焼シミュレーションモデルを提案している。また、都市部における延焼シミュレーションについては浜田らを始め膨大な研究成果⁴⁾が蓄積されている。本研究は、これら既往研究を踏まえながら、歴史的市街地における防災まちづくり支援ツールとして有効な延焼シミュレーションモデルの開発を目指している。

3-2. モデルの基本的考え方

(1) セルサイズ

延焼予測の基本単位となるセルのサイズは、当然ながら小さいほどミクロな予測が可能となる。しかし、セルサイズが小さすぎると、計算時間やデータ量が膨大になるなど弊害が生じる。延焼の変化を空間的に捉えるためには、ある程度の大きさであれば問題ない。そこで本研究では、以下に示す浜田の延焼速度式⁴⁾を参考にしてセルサイズを3mとした。

$$\text{風下 } D = 1.15(5 + 0.5v), D_i = \alpha_i D \quad (1)$$

ここで v は風速[m/sec], D, D_i は延焼限界距離[m]を表す。 α_i は出火後の時間によって与えられる係数であり、出火から10分までは $\alpha_i = 1.0$, 出火後10分から30分までは $\alpha_i = 1.5$, 出火後30分から60分までは $\alpha_i = 3.0$, 出火後60分以降は $\alpha_i = 5.0$ としている。

(2) 延焼の要因とセルが持つ属性

既往研究⁵⁾等を参考に、延焼の要因を建物条件、気象条件、市街地条件の3つに大別した。建物構造、床面積、開口部面積、階数からなる建物条件は建物の燃えやすさに、風向、風速、湿度からなる気象条件は、延焼方向と延焼範囲、延焼しやすさに、空地、道路、隣棟間隔からなる市街地条件は延焼抑制に関係する要因として用いている。以上の延焼の要因を踏まえ、セルが持つ属性を表3-1のように設定した。

表 3-1 属性の種類と属性情報

| 属性の種類 | 属性情報 |
|-------|---------------------------------|
| 建物条件 | 建物構造(木造, 防火木造, 耐火造), 床面積, 開口部面積 |
| 気象条件 | 湿度, 風向, 風速 |
| 市街地条件 | 空地, 道路, 隣棟間隔 |

(3) モデルの近傍型

既往研究による延焼限界距離の考え方を踏まえ、モデルの近傍型は、図3-1のように風速によって変化させることとした。セル kl は延焼の基になる基準セル、セル ij は延焼される近傍セルである。

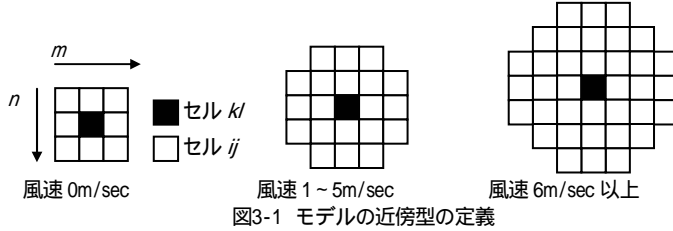


図3-1 モデルの近傍型の定義

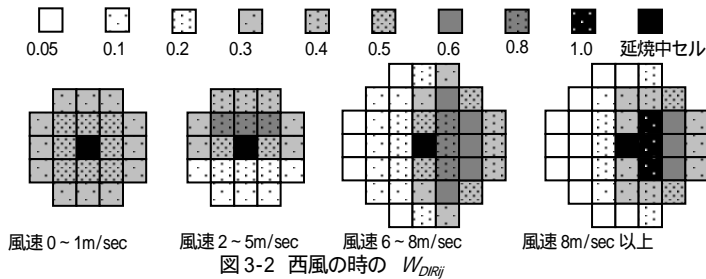


図 3-2 西風の時の W_{DIRij}

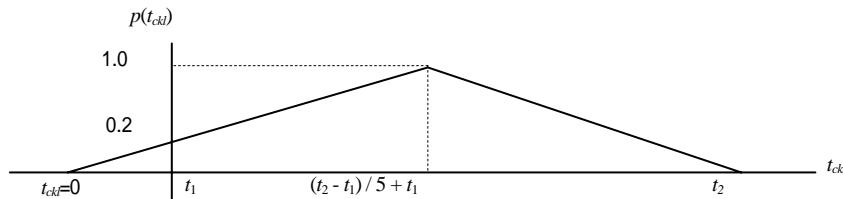


図3-3 燃焼中セル kl が持つ延焼加害能力 $p(t_{cik})$

(4) セルの状態変化

セルの状態変化は、表3-2のように設定した。セル mn の状態 n_{mn} は、状態[1]のセルは燃えていないセルで、それが着火すると状態[2]に変化し、その後は時間の経過とともに状態[2]から[4]に遷移していく。また状態[0]のセルは燃えないセルであり、シミュレーション期間中は変化しない。

表 3-2 セルの状態変化

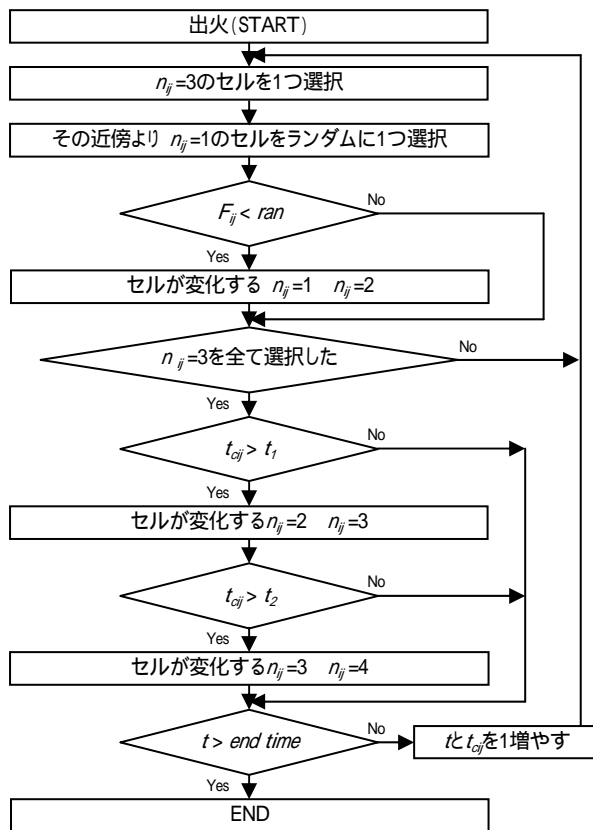
| | |
|-------|---------------------------------------|
| 状態[0] | $n_{mn}=0$ 燃えない (=燃えない又は燃えるものがない状態) |
| 状態[1] | $n_{mn}=1$ 燃えていないセル (=火がつく可能性がある状態) |
| 状態[2] | $n_{mn}=2$ 着火セル (=火がついたばかりで延焼に至らない状態) |
| 状態[3] | $n_{mn}=3$ 燃焼中セル (=延焼する能力を持っている状態) |
| 状態[4] | $n_{mn}=4$ 鎮火セル (=鎮火した状態) |

(5) 延焼可能性と隣家に延焼するまでの時間

セル ij の延焼判定(状態[1]のセル ij が状態[2]に変化するかどうか)では、延焼判定指標 F_{ij} と燃焼中のセル kl の着火から延焼加害能力を有するまでの時間 t_1 [min]、着火から鎮火するまでの時間 t_2 [min]を用いる。 F_{ij} は、式(2)で表わされる。

$$F_{ij} = (S_{ij} \cdot P_{wij} + H_{ij}) \cdot W_{DIRij} \cdot p(t_{cik}) \quad (2)$$

ここで、 S_{ij} は構造別パラメータで、木造が1.0、防火木造が0.6、耐火造が0とした。 P_{wij} は、セル ij 内における木造建物と防火木造建物の面積比率である。 H_{ij} は、湿度パラメータで、火災警報が発令される条件(実効湿度50%以下かつ最小湿度25%以下、または実効湿度60%以下かつ最小湿度



t: モデル全体時間
t_{cij}: セルの着火後経過時間
end time: シミュレーション終了時間
F: セルの延焼判定指数
ran: Fの最大値から最小値までをとる乱数
図3-4 モデルの流れ

30% 以下かつ風速10m/sec以上、または風速14m/sec以上)の時に1.0, それ以外を0に設定した。W_{DIRij} は、風向と風速で決まるパラメータであり、風速が大きくなれば、近傍の範囲を広くとり(図3-1)、風下側の値を高く、風上側のそれを低くして、風下側へ延焼が進みやすいように設定した(図3-2)。p(t_{ckl}) は、燃焼中セルklが持つ延焼加害能力で、木造家屋火災時の室内温度基準曲線⁴⁾を参考にして、図3-3のように設定した。S_{ij}, P_{wij}, H_{ij} は延焼受害性, W_{DIRij} は延焼する方向, p(t_{ckl}) は延焼加害性を示すパラメータである。

t₁ [min], t₂ [min]は以下の式(3), (4)で計算される。

$$t_1 = (3+3a/8 + 8d/D_i) / (1 + 0.1v) \quad (3)$$

ここで、a は建物平均一辺長[m], d は隣棟間隔[m]を表す。式(3)は、浜田が火元の着火から隣家に着火するまでの時間として提案した式である⁴⁾。この式を用いた理由は、隣家に着火することは、着火から延焼能力を有する状態となったことと同位であると考えたためである。

$$t_2 = (w/5.5) / (A_w \sqrt{H} / A_f)$$

(4)

ここで、w は火災荷重[kg/m²], A_w は開口部面積[m²], A_f は床面積[m²], Hは高さ[m]を表す。式(4)は、堀内が提案した火災継続時間の式⁴⁾であり、木造家屋であること、燃焼速度がほぼ一定であることを前提として、近似的に火災継続時間を表したものである。本研究では、この式が着火から鎮火に至るまでの時間を表すと考え、モデルで用いている。

3-3. モデルの流れ

以上の考え方を基にモデルの流れを組み立てた(図3-4)。

Step-1. セルの選択

まず n_{kl}=3 のセル kl を 1 つ選択し、その近傍の中から風向を考慮して、n_{ij}=1 のセル ij をランダムに 1 つ選択する。

Step-2. 延焼判定

選ばれたセル ij の延焼判定指標 F_{ij} を計算する。F_{ij} が以下の条件を満たせば n_{ij}=2 (着火セル)となる。

$$\text{If } n_{ij}(t)=1 \text{ and } F_{ij} < \text{ran} \text{ then } n_{ij}(t+1)=2 \quad (5)$$

ここで、n_{ij}(t) はシミュレーション時間 t におけるセル ij の状態、ran は F_{ij} の最大値から最小値までをとる乱数である。なお、t_{cij} は、式(5)を満足したセル ij が個々にもつ着火後の経過時間[min]であり、状態[1]から状態[2]になった時点でカウントされ始める。

Step-3. 状態[2]から状態[3], 状態[3]から状態[4]への変化

着火後のセル ij は、それ自身もつ着火後経過時間 t_{cij} により状態変化を行う。つまり、t_{cij} が t₁

よりも大きくなれば、そのセル ij は状態[2]から[3]へ変化する。すなわち $n_{ij}=3$ となる。さらに、 t_{cij} が t_2 よりも大きくなれば、状態[3]から[4]へ変化する。すなわち $n_{ij}=4$ となる。

Step-4. 終了判定

シミュレーション開始時より終了時までカウントされる時間 $t[\text{min}]$ が終了時間 $end\ time$ に達すると、シミュレーションは終了する。 $end\ time$ に達していない場合は、 t を 1 増やし、また状態[2]、[3]、[4]のセルは t_{cij} を 1 増やし、Step-1 の処理に戻る。

3-4. シミュレーション

ここでは、構築したモデルを実際の市街地に適用した結果を述べる。

(1) 対象区域

本研究では、愛知県豊橋市二川地区内にある二川本陣資料館周辺、東西約500m、南北約300mを対象区域とした（図3-5）。この区域は、旧東海道二川本陣（復元）や、西駒屋、東駒屋、紅林醤油といった老舗が存在し、二川地区の中でもとりわけ木造家屋が密集している区域である。また、旧東海道が対象区域を東西に貫いているが、道路の幅員は4～5mとあまり広くなく、火災・地震発生時には、被害が拡大する可能性がある。よって、この地区を対象地区とした。

(2) データの作成

延焼シミュレーションで用いたデータを表3-3に示す。建物データは各建物ごとに整備し、気象データはシミュレーション時に一括して与える。時間 t_1 と t_2 は、建物ごとに事前に計算しておく。

本研究で開発したモデルは、CAであるため、これらのデータをセルに同定する必要がある。その方法としては、建物データにセル（3m×3m）を被せ、そのセル内に最も多く含まれる建物データを、そのセルのデータとした。そのため、建物が全く含まれないセルには、建物データは割り振られない。

(3) モデルの適用

以上のようにして開発したモデルを、対象地区に適用させた。出火地点は西駒屋、シミュレーション時間は300分とし、気象条件を変えてシミュレーションを行った。想定したケースとケース毎のシミュレーション結果の延焼範囲を表3-4に示す。

表 3-3 シミュレーションで利用したデータ

| 項目 | | 作成方法 |
|----|--------|-----------------------------|
| 建物 | 構造 | 木造, 防火木造, 耐火造に分類 |
| | 建物一辺長 | (建物の外周) / (辺の数) 単位: m |
| | 隣棟間隔 | GIS 上で計測 (耐火造は対象外) |
| | 建物高さ | (建物の階数) × 3 (m) |
| | 床面積 | |
| | 開口部面積 | (建物外周) × (高さ) × 0.1 と仮定して算出 |
| 気象 | 風速, 風向 | |
| | 湿度 | |



図3-5 シミュレーション対象区域

表3-4 今回のシミュレーションで使用した諸条件と結果

| 風速 [m/s] | 風向 | 湿度 | | 延焼範囲 (300分後) | | 風速 [m/s] | 風向 | 湿度 | | 延焼範囲 (300分後) | |
|-------------|----|-------------|-------------|--------------|-----------|-------------|----|-------------|-------------|--------------|-----------|
| | | 実効湿度 [%] | 最低湿度 [%] | 東西 [m] | 南北 [m] | | | 実効湿度 [%] | 最低湿度 [%] | 東西 [m] | 南北 [m] |
| 0 | | 60 | 50 | 140 | 90 | 7 | 東 | 60 | 50 | 250 以上 | 230 以上 |
| 0 | | 45 | 30 | 150 | 100 | 7 | 西 | 60 | 50 | 250 | 230 以上 |
| 0 | | 40 | 20 | 160 | 115 | 7 | 南 | 60 | 50 | 230 | 230 以上 |
| 5 | 東 | 60 | 50 | 180 | 200 | 7 | 北 | 60 | 50 | 250 | 190 |
| 5 | 西 | 60 | 50 | 180 | 200 | 9 | 東 | 60 | 50 | 250 以上 | 200 |
| 5 | 南 | 60 | 50 | 190 | 190 | 9 | 西 | 60 | 50 | 270 | 200 |
| 5 | 北 | 60 | 50 | 190 | 180 | 9 | 南 | 60 | 50 | 200 | 200 以上 |
| | | | | | | 9 | 北 | 60 | 50 | 170 | 230 |

風速7m/s、西風のシミュレーション結果の延焼範囲の広がりを図3-6に示す。これによると、火元を中心に風下側に延焼が広がる傾向にあり、300分後の延焼範囲も、風上側が100m、風下側が210mであった。

表3-4で想定した各ケースの延焼範囲を比較してみると、まず風速0m/sにおいて、湿度を変化させて3ケースのシミュレーションを行ったところ、湿度が低いほど延焼範囲が広がることが確認できた。しかし、風速0m/sであるため延焼範囲に大きな変化は見られなかった。次に風速を5m/s、7m/s、9m/sとして、それぞれに東西南北からの風向きを与えてシミュレーションを行った。その結果、風速が上がるほど延焼範囲も広がる傾向にあることが確認された。南北方向からの風の時にも、東西方向に延焼する傾向が見られるが、これは対象区域が東西に長いためである。

出火から300分後の、受火されたセル数（着火セル、燃焼中セル、鎮火セル）を集計した結果を表3-5に示す。表3-5より、対象区域では風向が南北方向よりも東西方向の方が延焼に及ぼす影響が大きく、大規模火災に発展する可能性があることが予想される。

表3-5 出火から300分後の受火されたセル数

| 風速と風向 | 7m/s, 北 | 7m/s, 南 | 7m/s, 西 | 9m/s, 北 | 9m/s, 南 | 9m/s, 西 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 受火セル数 | 3,452 | 3,937 | 4,412 | 2,597 | 2,878 | 4,451 |

3-5. まとめ

本研究では、歴史的市街地における防災まちづくり支援のための、CAを利用した延焼シミュレーションモデルの開発を試みた。シミュレーションでは、条件を変えることで延焼過程が条件相応の挙動をみせ、さらにCAを用いたことで、延焼が部分的に広がっていく現象を視覚的に捉えることができた。

今後の課題として、延焼判定指標式に明確な根拠を与えること、またそのパラメータ設定に客観性を持たせること、さらにはまちづくりの現場で活用することを考えると是非とも消防活動による延焼抑止効果を考慮することなどが挙げられる。パラメータ設定については過去の火災記録等を参考に、また延焼判定式は、既往研究成果の精査により理論的根拠を与え、改善を図っていく必要がある。さらにはCAを用いることによるメリットを活かしたモデリングとシミュレーション技法へ発展改良を進めていく。最終的には、これらの課題を解決し、延焼のアニメーション表示などを工夫し、GISに組み込むことで、防災まちづくり支援ツールを開発する予定である。

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, 森北出版, 1998年
- 2) 山田篤, 瀧澤重志, 河村廣, 谷明勲: 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, 平成11年度日本建築学会近畿支部報告集, pp. 657-660, 1999年
- 3) 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 第35号, pp. 19-24, 2001年
- 4) 日本火災学会: 火災便覧 第3版, 共立出版株式会社, 1997年
- 5) 室崎益輝, 大西一嘉, 松本憲一: 市街地拡大火災の延焼要因に関する研究, 昭和59年度日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 373-378, 1984年

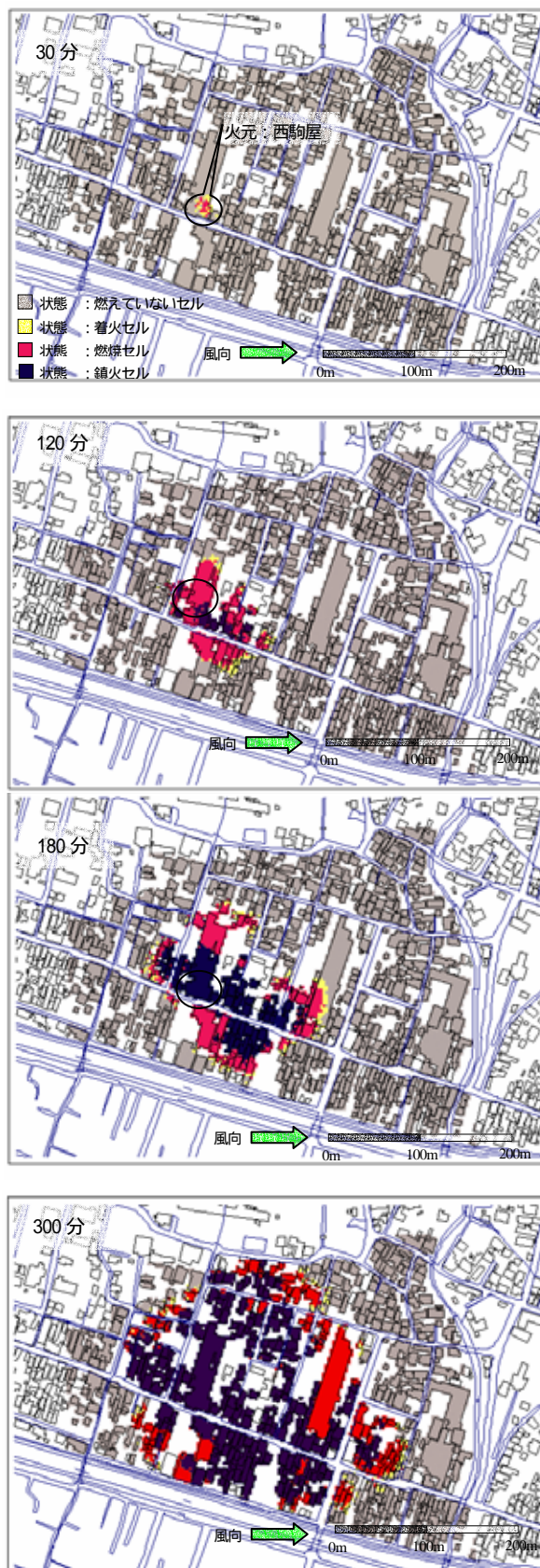


図 3-6 風速 7m/sec, 西風のときのシミュレーション結果 (上から, 出火後 30 分, 120 分, 180 分, 300 分)

4 . 防災まちづくり支援 GIS 開発の基本的考え方

4-1. 開発の目的と基本方向

わが国には、木造の建物が密集した市街地が多く存在する。先の阪神大震災では、このような市街地に被害が集中したことは、いまだに記憶に新しい。こういった市街地で災害が発生した場合、その被害は甚大なものになると考えられ、東海・東南海地震同時発生が危惧されている今日、各地でその対策が急がれている。

このような市街地を、災害に強いまちにするためには二つの方法があると考えられる。一つは、区画整理等による全面的な市街地更新を行うことによって、地区の防災性能を向上させる方法。もう一つは、既存道路一部の拡幅、水利増設、ブロック塀の生垣への変更、地区の空地の有効活用等といったように、災害への備えを出来るところから部分的に、徐々に市街地の防災性能向上を図る修復型のまちづくり整備である。景観に対する配慮が求められる歴史的市街地等においては、この修復型のまちづくりにより、地区の防災性能を向上させていくことになると考えられる。

この修復型整備を進めるためには、地元住民の「防災意識向上」と、地元住民、行政、専門家の「合意形成」が不可欠である。この「合意形成」を図っていくための一つの手法として防災まちづくりワークショップ（以下、防災まちづくりWS）がある。

一般的に、防災まちづくりWSは下記のような手順で行われる。

Step1：住民らが自分たちのまちの現状把握を行う。

Step2：住民らが自分たちのまちの防災上の課題を整理する。

Step3：住民らが自分たちのまちの防災上の課題を解決するための具体的防災対策案を決める。

本研究では、このような手順で進められる防災まちづくりWSの実際の現場において、よりスムーズな話し合いと合意形成、そしてそれによるより充実した防災対策案づくりを、GISを用いて支援するツール（以下、防災まちづくり支援GIS）の開発を目指すものである。そのため、本節では、前節までに示してきた街区単位の災害危険度測定手法およびCAによる延焼シミュレーションモデルの研究成果を踏まえ、これらの手法を積極的に取り込んだGIS支援ツール開発に関わる基本的考え方を整理している。

4-2. システム開発の基本姿勢

防災まちづくり支援システムに関しては、現在、国土交通省の「総合技術開発プロジェクト」で研究が進められているところであり、全国の一般的市街地に適用し得る標準的な防災まちづくり支援システム¹⁾が公表される予定である。また、鶴らは、「GISを用いた木造密集市街地の防災まちづくり計画支援システムの開発」²⁾を進め、その計画支援システムとしての有効性を示し、全国の木造密集市街地への適用可能性を示してきた。しかし、実際のまちづくり協議の現場での運用はこれからである。

防災まちづくり支援ツールは、まちづくりの現場で実験を通してはじめて有効なツール開発の方向性が見地が得られると考えられる。しかし、既往研究開発の中には、まちづくりの現場での運用実験を行った研究は、見受けられなかった。本研究開発では、まちづくり協議の現場でリアルタイムで役立つツール開発を念頭に置き、住民の防災意識向上と合意形成支援に役立つという視点から防災まちづくりに関わる様々な情報を効果的に可視化できるようなシステム開発を目指す。

開発に際しては、一般的市街地とは異なり景観への配慮が求められる歴史的市街地の防災まちづくりWSの現場で、開発の各段階における試作システムの運用実験を行い、合意形成支援と防災意識向上の効果という視点から試作システムの検証を行い、その結果をシステム開発にフィードバックさせるという方法をとる。これにより、そういった地域での合意形成支援と住民の防災意識啓発

ツールとしての防災まちづくり支援 GIS 開発の方向性の示唆が得られると共に、今後のまちづくり活動を展開する地域住民・行政・専門家にとって有益な知見が得られると考えられる。

4-3. 防災まちづくり支援 GIS の役割と利用局面の検討

以下では、上記に述べたシステム開発の基本姿勢にたつて、実際の防災まちづくり WS の現場の観察と、既往の防災まちづくり支援システムの内容を検討した結果から、防災まちづくり WS を支援する GIS ツールの役割と利用局面の検討を試みた。

防災まちづくり WS の各 step でどのようなことが行われ、その各 step において、各種情報と GIS のどのような機能を、どのように使えば、どんなことが可能になると考えられるかについて、現時点での検討結果を示す。

(1) step1：現状把握

step1 の場面において、住民らは、まちの現状を把握するため、実際にまちを歩き、防災上の問題点・よい点・欲しいものを発見、地図にまとめる。このような方法による現状把握は、あくまで地域住民による地域住民の視点からの把握であり、それによってしか得られない貴重な情報もあるが、地域の土地利用や建物の現況、消防施設の整備状況等をまち歩きで得ることはできないし、そもそもそのような情報の獲得をまち歩きは目的としていない。したがって、このような防災対策を考える対象区域の基礎的情報を正確かつ的確に、住民に提供する必要がある。

例えば、GIS の地図表示、オーパレイ、空間データ検索、空間解析機能を用いて、デジタルマップ上で、災害時有効水利、避難所、公共施設、河川、道路幅員、隣棟間隔等の情報や、さらには土壌、地質、地形、土地利用、建物構造、建物建築年、防火・準防火地域等といった情報を、住民らが可能になることが出来れば、見落とししていた情報を補完でき、より詳細に地区の現状を把握することが可能になると考えられる。

また、上記で述べた地理情報に加工・処理を施し、その結果をデジタルマップ上でビジュアルに表示させる機能を用いて、2 節で構築した災害危険度測定のための評価指標（不燃領域率、木防建ぺい率、道路閉塞確率、一次避難困難率）や、緑・空地による被害軽減率、建物倒壊確率といった地区の危険性を測定した情報と、3 節で開発を試みた延焼シミュレーション（=様々な条件の下で、火災時に延焼がどこに、どの位の時間で、どのように広がるかを視覚的に表示する機能）等の情報を、住民らが可能になることが出来れば、より踏み込んだ地区の現状把握をすることが可能になると考えられる。

(2) step2：課題整理

step2 の場面においては、住民らは、step1 で得られた情報を基に、そこで明らかになったまちの防災上の課題を整理・まとめるため、ブレインストーミング等により意見を出し合う。そして、それらの意見を KJ 法等を用いて整理し、まとめる。この際、住民らは、step1 の情報を参照しながら話し合い作業をすることで、スムーズな課題整理作業と、より明確で、具体的なまちの課題整理をすることが可能になると考えられる。

(3) step3：対策案作成

この step において、住民らは、step2 で整理・まとめられたまちの防災上の課題を解決するための具体的方法・方針・方策について、ブレインストーミング等により意見を出し合う。そしてそれらの意見を、KJ 法等を用いてまとめていく作業を行う。

この際に、前述した災害危険度測定の情報、延焼シミュレーションの情報および地理情報と、防災まちづくりの具体的対策や整備手法に関する専門的知識のデータベースを組み合わせ、防災まちづくりの工夫・取り組み例・仕掛けと、それらが実際に実施された場合の地域や街区の防災性能向上の効果をビジュアルに分かりやすく提供するツールが存在するならば、住民らは、より具体的で

より効果的な対策案をより効率的に導くことが可能になり、対策案づくりの合意形成と意志決定も図りやすくなると考えられる。

4-4. システム構成案

前項の防災まちづくり支援 GIS の役割と利用局面の検討結果から、現段階で、本研究で開発を試みる防災まちづくり支援 GIS は、1)地理情報表示サブシステム、2)危険性測定サブシステム、3)延焼シミュレーションシステム、4)防災対策メニューサブシステム、5)市街地条件変更サブシステムの計5つのサブシステムにより構成することになると考えている。これらサブシステムと、その利用が想定される防災まちづくり WS の各場面の関係を図 4-1 に示す。

以下、上述のサブシステムについて説明する。

1) 地理情報表示サブシステム：

デジタルマップ上で、災害時有効水利、避難所、公共施設、河川、道路幅員、隣棟間隔等の情報、さらには、土壌、地質、地形、土地利用、建物構造、建物建築年、防火・準防火地域等といった地理情報を表示する機能。

2) 災害危険度測定サブシステム：

様々な条件変更（公園整備、道路拡幅、生け垣緑化、建物不燃化など）に基づく市街地整備等による災害危険度の低減、防災性能の向上を客観的に提示するために、2節で示した災害危険度測定手法の研究成果をベースに、街区単位に不燃領域率、木防建べい率、道路閉塞確率、一次避難困難率、緑・空地による被害軽減率、建物倒壊確率をできるだけリアルタイムで算定する機能、および事前・事後の測定結果を分かりやすくビジュアルに表示する機能。

3) 延焼シミュレーションサブシステム：

3節で開発を試みた CA を用いた延焼シミュレーションモデルをシステムに組み込み、上述の市街地整備に加え自主防災組織の活動や消防活動等のソフト対策をも加味した様々な条件変更の下で、できるだけリアルタイムに近いシミュレーションが行える機能、およびそのアウトプット（火災時に延焼がどこに、どの位の時間で、どのように広がるか）をアニメーション表示等で住民により効果的・視覚的に表示する機能。

4) 防災対策メニューサブシステム：

景観に配慮しながらも、地区の防災性能向上につながるような防災まちづくりの工夫・取り組み例・仕掛け（公園整備、道路拡幅、生け垣緑化、建物不燃化、消防水利整備などのハード整備と自主防災組織の取り組みなどのソフト対策）と、それらが与える防災性能向上に繋がる効果に関わる知識データベース機能と、それらをビジュアルに分かりやすく提供する機能。

5) 市街地条件変更サブシステム：

4)防災対策メニューサブシステムを利用して、ユーザーによって代替案として選択された市街地整備対策に基づいて市街地条件の変更を行う機能。ディスプレイ上のマウス操作等により市街地データの変更、再作成を行い、それによって変更された各種の情報を 2)災害危険度測定サブシステムや 3)延焼シミュレーションサブシステムに受け渡す役割を担う。

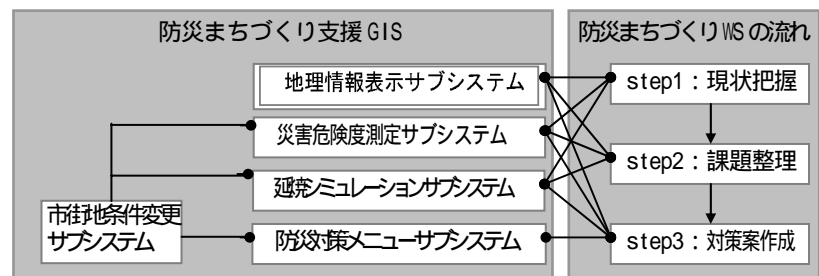


図4-1. 防災まちづくり支援GIS：サブシステムと想定される利用局面の関係

4-5. まとめ

以上、本節では住民参加型で進められる防災対策づくりを支援するため GIS ツール開発の基本姿勢を明らかにし、実際の防災まちづくりワークショップの各プロセスを想定しながら、支援ツールの役割と利用局面の検討を行い、それをもとにシステム構成案を提示した。今後は、2節、3節で示した災害危険度測定手法と延焼シミュレーションモデルの改良を図る一方で、具体的な各サブシステムの構築を進め、これらを統合した支援ツールのプロトタイプを開発する予定である。その開発段階の適切な時点で、実際のまちづくり協議会の現場での運用実験を行い、ツールの使い勝手や効果等を検証しながら、開発を進めていく。

参考文献

- 1) 加藤孝明, 小出治, 利満俊一, 杉浦正美, 下村博之: 防災まちづくり支援システムの役割と機能, 日本建築学会技術報告集, 第 16 号, pp313-318, 2002 年
- 2) 村上正浩, 鶴心治, 多賀直恒 (2001) GIS を用いた木造密集市街地の防災まちづくり計画支援システムの開発, 日本建築学会計画系論文集, 第 547 号, pp185-192
- 3) 郷内吉瑞, 大貝彰, 渡辺公次郎, 中西功, 山本剛大: 歴史的市街地における住民参加型防災まちづくりのための災害危険度測定手法の検討, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 41 号, pp777-780, 2003 年
- 4) 山本剛大, 大貝彰, 渡辺公次郎, 郷内吉瑞, 中西功: 歴史的市街地における防災まちづくりのための CA を用いた延焼シミュレーションモデルの開発, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 41 号

助成研究者紹介

おおがい あきら

大 貝 彰

現職：豊橋技術科学大学建設工学系助教授（工学博士）

主な著書：建築工学入門（共著，朝倉書店 平成14年），
都市計画（共著，朝倉書店 平成11年）