

住民による防火・消火活動を考慮した延焼リスク評価モデルの開発*

Development of the Evaluation Model for the Risk of the Spread of a Fire Considered the Inhabitants' Fireproofing Activity*

渡邊 寛**・及川 康***・片田 敏孝****

By Hiroshi WATANABE**・Yasushi OIKAWA***・Toshitaka KATADA****

1. はじめに

家屋の火災リスクは、主として「自宅の出火による被災（自宅出火リスク）」と「他の家屋の出火からの延焼被災（延焼リスク）」とに大別することができる。前者の自宅出火リスクの低減のためには自身の心がけが根源的に重要となるが、一方、後者の延焼リスクの低減は、本人の心がけによって達成される部分はむしろ限定的であり、周辺世帯の十分な心がけが伴ってはじめて達成されるものである。

このような火災リスクの特徴は、主として火災延焼の外部性によるものと捉えることができる。したがって、このような外部性について十分に意識している個人であるならば、火災リスクに対する自身の心がけを高めることのみならず、周辺世帯の心がけを喚起するような働きかけを行う動機付けを持つはずである。このような個人が地域内に多数存在するならば、それはすなわち火災リスクに対する心がけの地域的な広がりにつながる。このような心がけの連鎖的広がりは、「火災リスク低減のための地域防災力の内発的向上」と換言することもできよう。しかしながら現状では、必ずしもこのような状況にある地域は多くない。その理由として考えられることには、前述のような火災延焼の外部性について十分に意識されにくい現状が挙げられる。すなわち、現在においては、大規模震災発生直後などではない限り、消防隊および消防団による通常の消火活動によって火災は短時間で消し止められ、多数の周辺家屋に延焼するような事態は希であることから、火災延焼の外部性が直感的に意識される機会が少なくなっていると考えられるのである。このように捉えるならば、自宅出火リスクについてはもとより、延焼リスクの低減の重要性、すなわち火

災延焼の外部性についての理解を広く普及していくことには一定の意義があるものと考えられる。

本研究ではこのような問題意識のもと、住民による防火・消火対策などの努力が地域の延焼リスク低減に如何に影響を及ぼし得るのかを評価可能なシミュレーションモデルの開発を試みる。第2章ではそのシミュレーションモデルの基本構造について概説し、続く第3章では実際の地域でのモデル適応を試み、最後の第4章では本モデルの適用方法に関する今後の展望をとりまとめる。

2. シミュレーションの概要

本研究で開発するシミュレーションモデルは、主として「延焼モデル」と「消火活動（放水）モデル」から構成される。以下では、それぞれのモデルの基本構造について概説する。なお、シミュレーションのベースシステムには、片田ら¹⁾による災害総合シナリオ・シミュレータを用いることとする。したがって、延焼および放水による火災状況の動的変化はビジュアルに表現されるため、一般住民に向けたシミュレーション結果の提示も容易に可能となることに加え、住民間情報伝達や防災行政無線などの情報伝達メディアとの連携や住民個人の意思決定ルールへの反映といった機能拡張も可能となる利点を含んでいる。

(1) 延焼モデルの概要

本研究では、国土交通省総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」²⁾で開発されたモデルを延焼モデルとして採用する。このモデルは、実験により解明されている延焼の物理的メカニズムを詳細に反映するものであり、シミュレーションは「区画」という空間を単位として進行されることとなる。区画とは、建物内の耐火壁により区切られた様に燃焼する領域のことであり、この区画ごとの火災性状と区画間での熱移動の計算により、隣接区画への延焼可能性を予測することとなる。

区画はその火災性状の違いにより「裸木造」、「防火造」、「耐火造」の3種類に分類され、それぞれでの火災の進行シナリオは異なるよう設定される（表-1参照）。具体的

* キーワード: 防災計画

** 正員、(株)IDA 社会技術研究所(群馬県高崎市片岡町 3-1-6、watanabe_h@ce.gunma-u.ac.jp)

*** 正員、博(工)、群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻(群馬県桐生市天神町 1-5-1、oikawa@gunma-u.ac.jp)

**** 正員、工博、群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻(群馬県桐生市天神町 1-5-1、t-katada@ce.gunma-u.ac.jp)

表 - 1 構造別火災進行シナリオ

| 構造区分 | 火災進行のシナリオ |
|------|--|
| 裸木造 | 外部からの加熱により露出した木部に着火する。屋根や外壁は内部の燃焼とともにすぐに燃え抜け、全体が火災となりやがて燃え落ちる。 |
| 防火造 | 外部からの加熱は開口部を通して内部の可燃物が発火する。その後開口部のみから火炎が噴出し、屋根や外壁は内部の燃焼が進むにつれて順次に崩壊し、最終的には区画全体が火災となり燃え落ちる。 |
| 耐火造 | 外部からの加熱は開口部を通して内部の可燃物が発火する。その後開口部から火炎を噴出するが、区画の内部が燃えつきるものとし区画の崩壊は起きない。 |

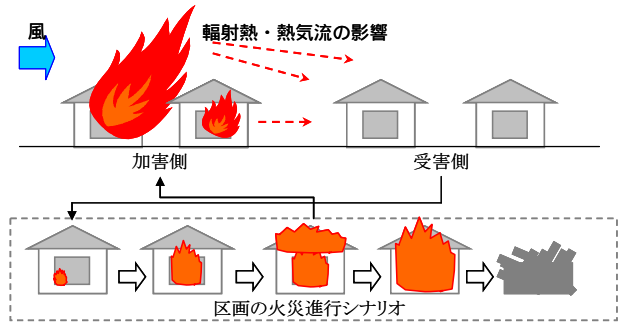


図 - 2 火災延焼シナリオのイメージ

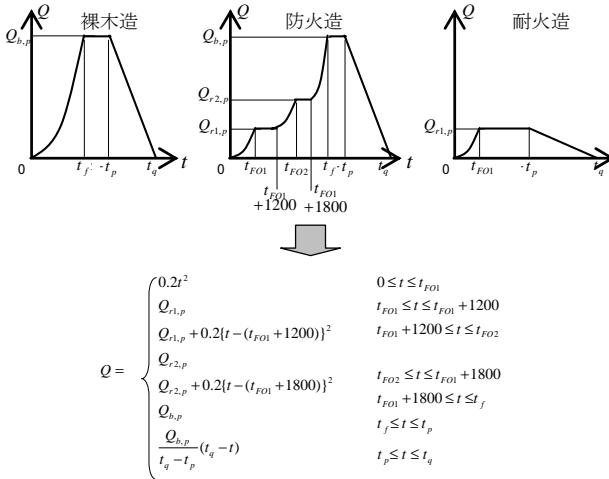


図 - 1 各構造別の発熱速度曲線

には、図 - 1に示すように、発熱速度Q（単位：kW）の時間的推移の違いにより表される。紙幅の都合上、図 - 1では防火造における発熱速度曲線の式のみを示しているが、裸木造や耐火造に関してもこのような式によって表現される。ここにおいて、 t_{FO1} は開口部からの火炎噴出、 t_{FO2} は開口部と屋根からの火炎噴出、 t_f は区画全体の火災、 t_p は減衰期、 t_q は鎮火を表す時刻である。式中の1200と1800はフラッシュオーバーと燃え抜けの時間を表している。式から求められる区画の火災性状は、他区画への延焼可能性の予測に用いられ、周囲へ伝達される輻射熱と熱気流で温度上昇を計算する。一連の火災延焼の進行イメージを模式的に表すならば図 - 2のようになる。

(2) 消火活動（放水）モデル

前述の延焼モデルは、あくまで延焼予測を計算するのみであることから、そこで表現されるのは放任火災に限定されてしまう。本研究の主旨に基づくなら、消防隊や消防団のポンプ車および住民による初期消火（可搬ポンプや簡易式屋外消火栓）による放水効果を表現することが求められることから、ここでは、焼損床面積と放水量の統計データに基づき消火活動を表現する消火活動モデル³⁾を用いることで、上記の消火活動を表現すること

表 - 2 消防隊および消防団のパラメータ

| | 出動準備 | 出動 水利 | 水利確保 ホース延長 | 放水 |
|-----|------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 消防隊 | 2分 | 時速40km で移動 | 水利確保 = 40秒 ホース延長 = 7秒 (1本当たり) | 筒先1口 = 500ℓ/分 (1台当たり2口放水) |
| 消防団 | 5分 | | | |

とする。このモデルでは、延焼モデルの計算内で既知となる焼失可燃物重量から擬似的に焼損床面積を算出し消火の判定を行い、同時に放水による火災抑制効果をも考慮するものとなっている。以下では、消防隊・消防団による消火活動および地域住民による消火活動の表現方法について概説する。

a) 消防隊・消防団による消火活動

消防隊および消防団のポンプ車による消火活動は、出動要請を受けてから放水開始までの手順を、出動準備、出動・火災現場の最寄りの水利へ移動、水利確保およびホース延長、放水、の4段階としている。これらの各段階に関する各種パラメータは、桐生市消防本部でのヒアリングに基づき表 - 2のように設定した。なお、常備している消防隊と地域住民などにより組織される消防団との違いは、通報を受けてから出動準備に要する時間である に関して表現されることとなる。の出動から水利へ向かう移動速度、水利確保およびホース延長、の放水については、両者ともにパラメータを同一としている。ホースの接続本数は10本(20m x 10本 = 200m)としている。

b) 地域住民による消火活動

地域住民が初期消火活動で使用する器具として、ここでは簡易型屋外消火栓を想定した。簡易型屋外消火栓とは、1人での操作が可能で初期の火災に対し十分な放水が行える消火栓である。初期消火活動の手順としては、火災覚知、通報、最寄りの簡易型屋外消火栓に移動、簡易型屋外消火栓操作、ホース延長、放水、の4段階を想定することで表現した。ここで、に要する時間の和を出火から放水開始に至る時間とする⁴⁾。

ここで、の火災の覚知時間は、出火点の住民によ

る覚知と周辺住民による覚知とに分けられる。シミュレーションでは、出火点に住民が存在する場合の覚知時間は計算条件として外生的に与えるが、周辺住民による覚知のタイミングは、前述の延焼モデルの火災性状シナリオを基準として決定することとした。具体的には、フラッシュオーバーが発生し、外部に火炎を噴出するタイミングを覚知時間とした。また、周辺住民の定義として出火点から半径20mの範囲に在る建物に居住する住民とした。火災覚知が行われた時点で119番通報を行い、その後初期消火活動へと移行する。移動時間 $t^{(4)}$ は、火災を覚知した場所から、出火点に最も近い簡易型屋外消火栓へと移動する際の移動時間であり、以下のような式で与えられる。

$$t = \frac{\sqrt{2D}}{v} \quad (1)$$

ここで、覚知場所から簡易型屋外消火栓までの直線距離、 $\sqrt{2}$ は屈曲を考慮した係数、 v は移動速度で2m/sとした。

の消火栓操作は、30秒⁽⁴⁾とし、ホース延長時間はと同様に設定した。の放水は、毎分60Lで行われる。

(3) 延焼リスクの評価

延焼リスクの評価は、対象地域内のすべての「区画」を順次出火点に設定したシミュレーションを実行し、そこでの延焼確率によって把握することで行う。延焼確率は、火災区画からの伝熱の影響範囲として設定した20mの範囲内に存在する建物は延焼可能性があることとみなすことにより、その範囲の中に入ったシミュレーション回数に対して実際に延焼したシミュレーション回数の割合をとることで定義できる。

3. シミュレーションの適用

(1) シミュレーション対象地域

本研究では群馬県桐生市本町地区をシミュレーション適用対象の事例地域としてとり挙げた(図-3参照)。ここには歴史的建造物や古い木造建築が多く現存し、2009年現在、伝統的建造物群保存地区の指定に向けた取り組みが行われている地域である。図-3を見ると裸木造家屋が多く、家屋が密集していることから延焼しやすい地域であると言える。

シミュレーションの適用に際して、たとえば当該地域の建物構造区分、消防水利の分布、簡易型屋外消火栓の分布、地域住民の居住状況および昼夜の在宅状況などの条件の違いは、そのまま延焼リスクの違いとなってシミュレーションで表現されることから、住民の消火活動による影響を実情に併せて反映するためには、これらの情報を収集しシミュレーションに反映することが必要となる。そこで本研究では、著者が当該地区において住

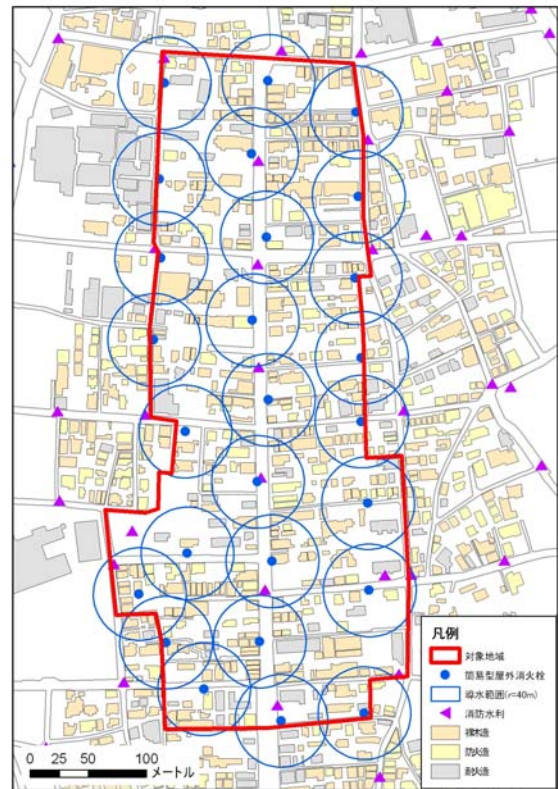


図-3 シミュレーションの対象地域

表-3 消防署・消防団出動ポンプ車台数(一次出動)

| | | 出動ポンプ車台数 |
|------|-------|-----------|
| 消防本部 | 桐生消防署 | 2台 |
| | 東分署 | 2台 |
| | 南分署 | 1台 |
| 消防団 | 5分団 | 5台(各分団1台) |

民対象の防災懇談会を実施した際に、町会の協力によってこれらの情報を収集した。消防水利と簡易型屋外消火栓の配置は図-3のようであったが、簡易型屋外消火栓については現在のところ未設置であり今後の整備予定であることから、ここでは埼玉県川越市の事例⁽⁵⁾を参考にしつつ、防災懇談会の参加者とともに話し合い、図-3のように仮想的に配置することとした。青い円は簡易型屋外消火栓の導水範囲($r=40m$)を表し、放水能力は毎分60Lである。対象地域での火災に対応する消防署および消防団と、そこから出動するポンプ車の台数は表-3のとおりである。

なお、本適用対象地域における建物数は422棟であり、区画数は609区画である。すなわち、1つの状況設定のもとでの延焼リスク評価のためには、609回のシミュレーションの実施を要することとなる。

(2) 防火・消火行動が延焼リスクに及ぼす影響

ここでは、住民による防火・消火行動の例として「初期消火活動」と「住宅用火災警報器の設置」をとり挙げ、

これらの実施が延焼リスクに及ぼす影響について示す。
 なお、出火点に住民が在宅している状態での火災覚知時間は2分に設定するが、出火点に住宅用火災警報器を設置することによって覚知時間が1分短縮されるとともに、周辺世帯（出火点から20mの範囲内）も同時に覚知できるものと想定した。

まず、初期消火活動の有無による周囲への延焼リスクの影響を図-4においてみる。横軸は出火点からの距離を示しており、縦軸は延焼確率を示している。これによると、初期消火活動により最大で10%程度の延焼確率の低減効果が確認されるものの、全体としては大きな低減効果は見受けられない結果となった。その理由としては、シミュレーションの設定条件として、住民が初期消火を行わずとも、通常通りの消防隊と消防団による迅速な消火活動によって短時間のうちに鎮火に至る状況となっていることから、このような消防隊と消防団による消火活動によって延焼リスクは既にある程度まで縮小化されていることが考えられる。すなわち、冒頭で述べたように、既に高い水準の消防力のもとにある現在の平常時においては、火災延焼の外部性が直感的に意識される機会が少なくなっていることを暗に示す結果とも解釈できよう。

次に、出火点における住宅用火災警報器の設置により、周辺世帯への延焼リスクがどの程度変化するのかについて図-5において見てみる。これによると、出火点から20m以内の範囲において延焼リスクが大幅に下がっている様子を確認することができる。すなわち、住宅用火災警報器の設置は、一般には自宅からの出火の際の逃げ遅れ回避などの効果が第一義的に強調されるところではあるが、それと同時に自身や周辺住民の火災覚知時間の短縮化によって、結果として周辺家屋の延焼リスクの低減にも繋がる可能性を示唆する結果と解釈できる。これは、自身の立場を出火点世帯に置いた場合の解釈であるが、一方で立場を出火点の周辺世帯に置いて解釈し直すならば、それはすなわち、いつでもどこで出火するかもしれない近隣世帯に対して住宅用火災警報器の設置を働きかけることの動機付けを与えるものとしても解釈可能であると考えられる。

4. おわりに

本稿では、住民の防火・消火活動による延焼リスクの低減に対する影響について、2種類の防火・消火活動の例のみを取り上げて検討を行ったが、この他にも多様な検討が可能である。たとえば、延焼リスクの効率的な低減に向けた計画的・戦略的な耐火造・防火造の改築計画の検証にも用いることは可能である。ここにおいて、単独での耐火造化に対して、ある程度の集団として耐火造化を行った場合の延焼リスクの変化などの検証も可能

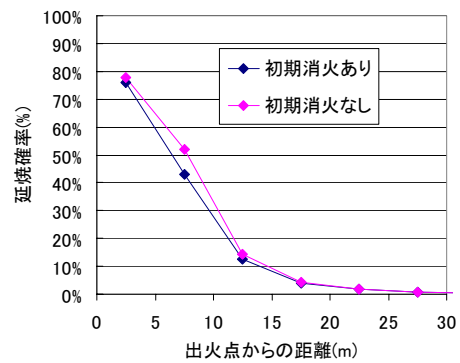


図-4 初期消火活動の効果

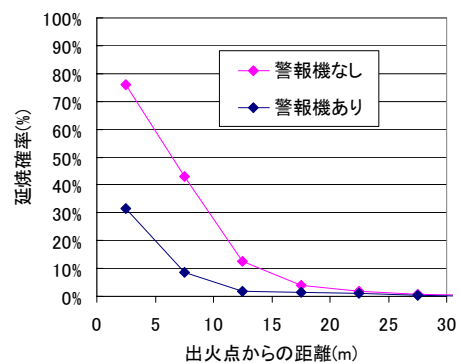


図-5 早い覚知の効果(住宅用火災警報機)

であると考えられる。また、大規模震災時における大幅な消防力の低下と家屋倒壊などの諸条件を考慮した場合の延焼リスクの変化などもシミュレーション可能となっている。今後の検討課題としては、このようなシミュレーション結果の提示が、人々の火災延焼リスクの外部性の理解にどれほどの効果をもたらす可能性があるのかを具体的に検証することなどが挙げられる。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、桐生市、桐生市消防本部、本町1・2丁目町会の皆様のご協力を得た、なお本稿は、平成20年度科学研究費補助金・基盤研究(A)【課題名: 災害に強い地域社会の形成技術に関する総合的研究、課題番号: 19206055、研究代表: 片田敏孝】の助成を頂いている。ここに謝意を表す。

参考文献:

- 1) 片田敏孝, 桑沢敬行: 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.250-261, 2006
- 2) 国土交通省総合技術開発プロジェクト まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発 報告書, 2003
- 3) 大都市大震災軽減化特別プロジェクト 平成18年度成果報告書, 震災総合シミュレーションシステムの開発, pp.453-482
- 4) 樋本圭祐, 幾代健司, 秋元康男他: 放水の物理的防火抑制効果に着目した地域住民の消火活動モデル, 日本火災学会論文集, Vol.56, No.3, pp.53-63, 2006
- 5) 川越市川越伝統的建造物群保存地区防災計画, 川越市教育委員会, 2002