

防災緑地網による都市の不燃化計画支援のための シミュレーション・システムに関する基礎的研究

A Study about Simulation System for Fire Prevention Planning on Buffer Green

二神 透*, 木俣 昇**

1. まえがき

科学技術の発達に伴い、地震時の都市火災に対する防災技術の発達は目覚ましい。しかし、我が国の都市では、都市中心部や幹線道路における都市の耐火・不燃化は進んでいるが、都市周辺の市街地では依然として密集市街地が形成されており、そのような地域での火災危険性は高い。さらに、都市機能の多様化や複雑化によって、地震火災の危険性はむしろ増大しているといっても過言ではない。これに対して、防災緑地網による防災計画は、魅力ある都市づくりなど地域特性を考慮した地域防災計画を具体的に推進するための有効な手段の一つとなろう。

著者らは、過去の災害事例より地震時火災時の抑制要因として防災緑地に着目し、火災延焼シミュレーション・システムを拡張化することにより、防災緑地網整備計画のための支援システムに関する研究を行っている^{1),2)}。従来のシステムは、緑地を都市構造成因として取り上げ、それらの防火効果を輻射熱の卓越する風下方向に対してモデル化し、システムの論理的整合性および、適用事例による計画支援の可能性について一応の成果を得ることができた³⁾。しかし、課題の一つである風横方向での緑地の焼け止まり効果のシステムへの拡張化といった問題が残されている。

そこで、本研究では、文献[3]による、風横側での焼け止まり要因と条件式をもとに、風横緑地の

防火効果のモデル化を試み、システムへの取り組みを考える。このとき、文献[3]で平均値的に取扱っている、同時炎上奥行き、同時炎上幅などのデータは、シミュレーション・システムのダイナミックなアウトプットより内生的に取り扱うことができる。

対象緑地は、風下・風横（両方向）の最大3方向の火災領域からの延焼危険性があり、緑地の状態を確定するには、それらの状態を時間軸とともにアルゴリズム化する必要がある。最後に、アルゴリズムの整合性を検証するために、仮想的なメッシュ・マップを用いて緑地メッシュの動態パターン⁴⁾のシミュレーション実験を行い、システムの適用性と今後の課題を整理する。

2. 既開発システムの拡張化

既開発システムは、1.で述べたように風下方向の緑地のみを対象とし、風横方向に緑地がある場合は、その緑地への延焼はないとしている。ここで、風横緑地防火効果のシステムへの拡張化のための諸条件を整理する。図-1に示すように風下方向の緑地の防火効果判定のためには、気象条件である風向・風速 $W(m/sec)$ 、同時炎上幅 $B(m)$ 、同時炎上奥行き $D(m)$ 、炎上領域の従属パラメータより算定される火炎長さ $L(m)$ 、火炎高さ $H(m)$ 、風速により傾く火炎面 $(B \times L)$ の火炎傾き α （度）の算定が基礎となる。そして、火炎面と $Z(m)$ 離れた樹木位置との物理的關係や、輻射受熱量 $E(Z): (kcal/m^2h)$ 量との関係より樹木の防火効果をモデル化している^{1),2)}。

風横方向についても、図-2に示す風横側における輻射熱計算モデル⁵⁾をシミュレーション・システムに組み入れることを考える。このとき、図-3に示す波線の矩形面が輻射熱算定の対象となる⁶⁾。

*正会員 学博 愛媛大学講師 教養部情報科学

(〒790 松山市文京町 3)

Tel 0899-24-7111 Fax 0899-34-4555

**正会員 工博 金沢大学教授 工学部基礎工学教室

(〒920 金沢市小立野2-40-20)

Tel 0762-61-2531 Fax 0762-64-1047

以上を整理すると拡張システムは、図-4に示すような判別フローが基礎となる。図-4では、延焼計算対象となる緑地に対して、風下か風横かを判定し、従来の風下側での防火効果判別に加えて、輻射熱モデルによる風横防火効果判別モデルを追加すればよいことになる。ただし、このとき風横では両方向からの延焼が想定されるため、緑地についても風下を含めて3方向の防火効果の判別を取り扱わなくてはならない。

3. シミュレーション・システムへの組み込み

前章で述べたように、風横側での緑地防火をシミュレーション・システムに組み入れるためには以下の問題を考えなければならない。

- 1) 風横緑地防火効果モデルの組み込み
- 2) 風下・風横3方向での状態確定アルゴリズム
- 3) アルゴリズムの整合性の検討

1) に関しては、図-3の矩形面を用いた風横側への緑地防火効果のモデル化を考える。従来のシステムでは、風下緑地メッシュは、発火するか、立ち消えるか、非燃かのいずれかの状態に推移するとして取り扱っている²⁾。このモデル化の前提には、火炎と樹木の物理的位置関係、輻射受熱量 $E(Z)$ (kcal/m²h)の大きさが関係する。例えば、緑地メッシュが火炎面から輻射熱を受熱する場合、全面緑地は、樹木の発火限界輻射受熱量 E_o (kcal/m²h)、後方緑地は、引火限界輻射受熱量 E_p (kcal/m²h)との大小を比較して発火の可否を判別している。限界輻射受熱量の違いは、樹木が輻射熱のみを受ける場合と、同時に口火を受ける場合の受熱量の違いによる。それらの関係を簡単に示せば、 $E_o > E_p$ となる。

ここで、風横の緑地メッシュを対象とした場合、風下では飛び火などによる口火を受けるが、風横ではその影響が小さいと仮定し、発火限界輻射受熱量 E_o (kcal/m²h)を限界輻射受熱量として用いることにする。また、風横側では、図-3より、火炎面は風下側には傾くが、風横では垂直であるため、既システムのような風下側での火炎面と緑地の物理的關係による防火効果の判別は行わないとしてモデル化する。

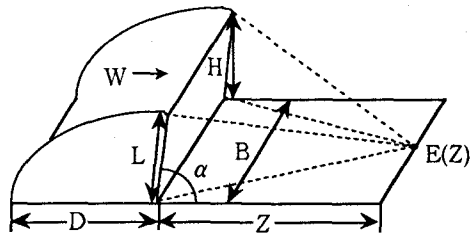


図-1 風下側の輻射熱計算モデル

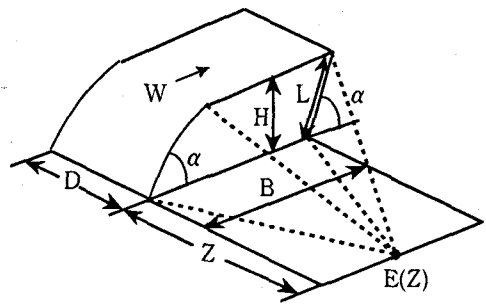


図-2 風横側の輻射熱計算モデル

$$H = L' = \frac{2}{3} \sin \alpha L$$

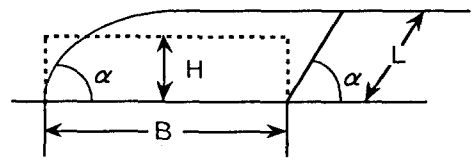


図-3 火炎面の矩形モデル化

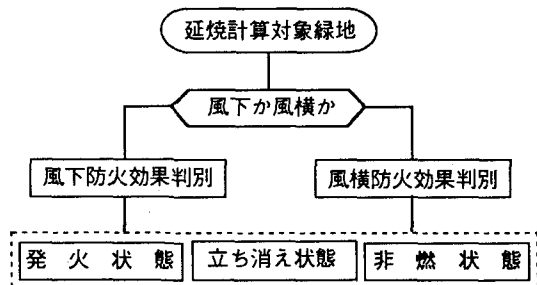


図-4 緑地防火効果の判別フロー

2) については、図-5に示すような風下・風横の両方向（風横で2方向）の3方向からの延焼を受ける緑地メッシュの状態を考えなければならない。いずれかの方向で発火状態に推移する場合は、時間の早い順が優先する。それ以外の場合、基本的にはすべての方向の状態が確定するまで、単位時間を進めて計算を行う。ここで、シミュレーションによる緑地メッシュの延焼パターン例を図-6に示す。図中の座標、 $M[I,J]=5,5]=\text{G}$ が緑地メッシュを表す。緑地メッシュの構成は、高さ7(m)、緑地建ぺい率70%の防火樹木の配置を想定している。そして、この図では、単位メッシュ長(13m)、風速10(m/sec)、風向(WW)、出火点 $M[I,J]=2,2],[2,5]$ の2箇所、単位時間(2min)、出火後36分後の仮想延焼マップである。図中、緑地メッシュ風下方向の延焼に着目すると、風下側で出火点を含む $M[I,J]=2,5],[3,5],[4,5]$ は既に鎮火している。一方、この例では、風横（北側同：13m、南側同：52m）の炎上領域から輻射熱を受熱している。

つぎに、この緑地メッシュの状態の確定アルゴリズムを考える。まず、時間の進行に伴い対象緑地

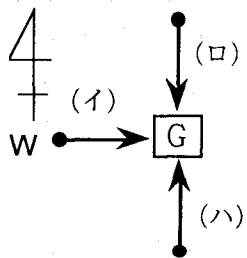


図-5 緑地メッシュ3方向での延焼計算

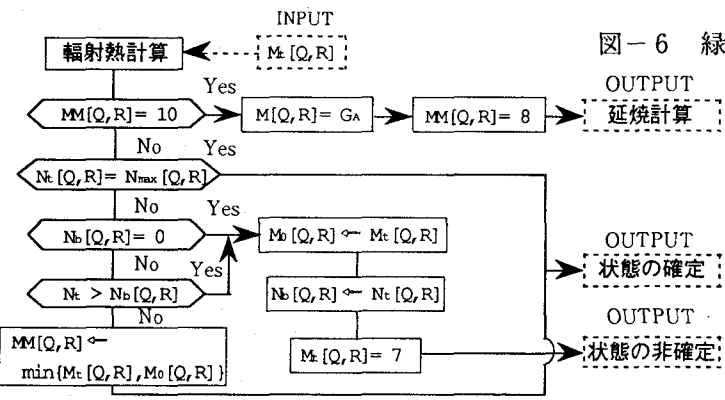


図-7 緑地メッシュ状態確定アルゴリズム

メッシュが、風下・風横の一次近傍（ないしは、空地を挟んで二次近傍）に入るかを判定し、図-7に示すアルゴリズムに従い、メッシュの状態をそれぞれの方で計算する。当該緑地メッシュの状態が確定するには、前述したように、いずれかが発火するか、すべての方向で状態が確定すればよい。最後に、3) に関しては次章で検討する。

4. 適用事例によるシミュレーションの整合性

図-6のメッシュ・マップを用いてシミュレーション実験を実行し、3. のアルゴリズムの整合性を図-7とともに検討する。まず、出火後8分には、当該メッシュは風下計算対象緑地となり、同方

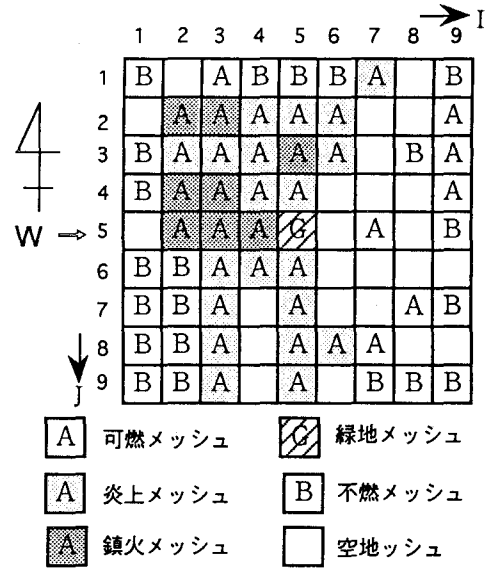


図-6 緑地メッシュの延焼パターン例

表-1 パラメータ一覧

パラメータ	内 容
$M_t [Q, R]$	時刻tの状態値
$M_0 [Q, R]$	仮状態変数
$N_t [Q, R]$	t-Δtの同時炎上奥行き
$N_t [Q, R]$	時刻tの同時炎上奥行き
$N_{max} [Q, R]$	最大可燃奥行き
$MM [Q, R]$	状態変数

向の同時炎上奥行き $N_{[Q,R]}$ ($[Q,R]$ は、 $[I,J]$ の近傍座標)が、3メッシュ (39m)となる。この値は、最大可燃奥行き $N_{max}[Q,R]$ と一致しており、この時点で風下方向での同時炎上奥行きが確定した。そして、輻射熱計算の結果、風下方向では立ち消えと判定された。これに対して、風横方向に着目すると、図-8に示すように、出火後16分には、対象緑地メッシュが、両横方向からの輻射熱 $E(Z)$ を受けていることがわかる。そして、風横北側では、最大同時炎上奥行きが確定し、その値は発火受熱量 E_0 より小さく、立ち消えとなる。一方、風横南側では、時間の経過に伴い同時炎上奥行きが拡大し、輻射受熱量 $E(Z)$ が増加し、出火後36分の値は発火受熱量 E_0 より大きく発火状態になり延焼する結果となった。

つぎに、延焼した風横南側の都市構造 (具体的には、 $M[I,J]=[5,6],[5,7],[5,8],[5,9]$ の可燃メッシュ)の構成を変更し (平均建ぺい率74%を50%へと変更)、シミュレーション実験を行った。その結果を、図-8に合わせて示す。この例では、前例と同様に、出火後36分に輻射受熱量 $E(Z)$ がピークとなるが、その値は発火受熱量 E_0 より小さく、40分後には、炎上メッシュ $M[I,J]=[5,3]$ ="A"の鎮火に伴い、同時炎上奥行きが減少し、すべての方向で立ち消えとなり緑地メッシュの状態が立ち消えとなった。

以上より、本事例では、仮想的なメッシュ・マップではあるが、想定される緑地の延焼パターンに対するアルゴリズムの妥当性を示すことができた。

5. おわりに

本研究は、緑地の防火効果に着目し、風横側の緑地防火効果をモデル化し、シミュレーション・システムに組み込むとともに、そのアルゴリズムの整合性についての検討を行った。

そのためにまず、風横緑地の防火効果判別の方法として、風横の輻射熱計算モデルを採用し、それらをメッシュ化することによりシステムの拡張を試みた。つぎに、輻射熱計算を含む状態推移の確定アルゴリズムを基に、風下・両風横の3方向における緑地防火効果を総合的に判別可能なアルゴリズムを構成した。

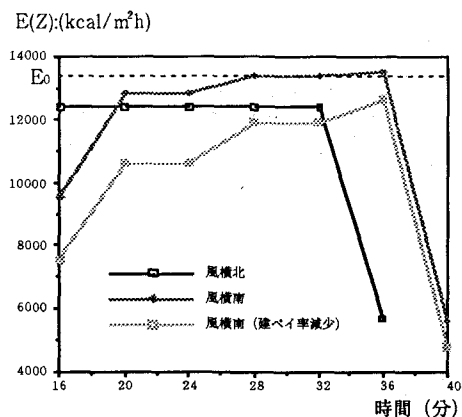


図-8 適用事例による風横状態の推移

最後に、仮想的なメッシュ・マップによる適用事例を通して、アルゴリズムの論理的整合性を確認することができた。また、建ぺい率等の都市構造を変えることにより、風横方向の緑地の防火効果を視覚的に提示することができた。

今後、本システムを具体的な緑地網整備計画へと活用するためには、モデルの信頼性、情報システムとしての活用方法の検討などの問題が残されている。前者については、資料の収集および、現地調査を含むデータ採取と分析によるシステムの検証が必要となろう。後者については、マルチメディア・コンピュータをツールとし、よりインタラクティブなシステムを構成することにより対処可能であると考えている。

なお、本研究の研究費には、平成6年度科学研究費補助金 (課題番号06750573) を使用した。

参考文献

- 1) 木俣 昇, 二神 透: 避難場所の火災リスク評価に関するシステム論的研究, 土木学会論文集, No.413, IV-12, pp.49-55, 1990.
- 2) 木俣 昇, 二神 透: 防災緑地網整備計画支援のための火災延焼シミュレーション・システムの開発, 土木学会論文集, IV-17, pp.193-202, 1992.
- 3) 日本火災学会編: 火災便覧, 共立出版, 1984.