

(47) 3-D 表示機能を持つ

簡便な地震時市街地火災延焼シミュレーションシステムの開発

Development of Easy-to-use Simulation System of Urban Spreading Fire in Earthquake with 3-D Function

辻原治¹・河波秀美²・林博文³

Osamu Tsujihara, Hidemi Gawa and Hirofumi Hayashi

抄録：地震時の市街地火災延焼シミュレーションにおいては、解析モデルの作成、延焼解析、解析結果の出力が必要となる。今後このようなシミュレーションシステムを普及させるためには、操作方法を簡便にすることと、延焼解析の結果の表示に臨場感を持たせることが重要である。本研究では、解析モデルの作成からシミュレーションおよびその結果の 3D アニメーション表示までが、簡単な操作で利用できる地震時市街地火災延焼シミュレーションシステムを開発した。

キーワード：地震、火災延焼、シミュレーション、3-D、アニメーション

Keywords : earthquake, spreading fire, simulation, 3-D, animation

1. はじめに

地震火災は、同時多発的な出火や消防水利の欠如、交通渋滞や道路閉塞等の特徴を持ち、通常の火災時のような効率的な消火活動が行われることは期待できない。地震発生直後の混乱の中で、既存の消防機能を活かし効率的な消火活動を行うためには、延焼予測が重要な役割を担う。また、このような延焼予測システムの構築は、地域防災計画の策定や地域住民の地震防災に対する意識の向上にも役立つと考えられる。

延焼解析についてはさまざまな研究がなされている。地震時火災による延焼解析の研究は、延焼モデル構築の研究と、その市街地への適用法に関する研究に分けられる。

延焼モデルの構築については、棟内及び棟間の延焼速度式を、物理的な根拠や市街地火災の被害調査に基づいて展開する研究等が行われている。延焼速度式として従来、浜田式¹⁾がよく用いられてきた。この式はもともと純木造家屋への適応を基本としたものであるが、その後、防火木造や耐火造の延焼速度式も提案されている。また、1995 年の阪神・淡路大震災の後、東京消防庁より新たな延焼速度式(東消式 97)²⁾が提案された。この式は、阪神・淡路大震災で同時多発した市街地火災の調査・検討より、建物の全半壊等による影響を考慮した延焼速度式である。

さらに、地震被害を受けた準耐火・耐火造建物の延焼性に関する検討が加えられ、新たな延焼速度式(東消式 2001)³⁾が構築されており、これが現状では最も信頼性の高い式の一つといえる。

一方、延焼モデルの市街地への適用については、従来より市街地のマクロ的な情報(建ぺい率、建物構造比率等)から、メッシュ単位で延焼拡大をシミュレートすることはなされてきた。近年の GIS の発展や延焼速度式の提案等によって、1棟ごとの延焼拡大の状況のミクロ的なシミュレーションも行われるようになった。矢野ら⁴⁾は、火災の延焼過程を、建物の延焼過程、隣接建物等の関係で定まる伝播過程、および着火過程に分けて捉え、独自の式を用いて神戸市の地震火災の動態をシミュレートした。東京消防庁でも、同庁が提案した延焼速度式を用いた 1995 年兵庫県南部地震における神戸市の延焼シミュレーションを行い、実際の延焼動態が推定できることを示している⁵⁾。関沢らは、解析モデルのデータ作成に電子住宅地図を用いて予め延焼経路データを作成し、地震発生後に得られる風向、風速、出火情報などの条件を入力して延焼シミュレーションを行うシステムを構築している⁶⁾。また、辻原らは電子住宅地図を用いた簡便なデータ作成サブシステムを組み込んだ延焼シミュレーションシステムを提案し、延焼解析に最短経路探索を導入することで、延焼経路も含めて延焼動態をシステムの中で計算することを実現している^{6,7)}。さ

1 : 正会員 博士(工学) 和歌山高専 教授 環境都市工学科
(〒644-0023 県和歌山御坊市名田町野島 77, Tel 0738-29-8455, E-mail :tsujihara@wakayama-nct.ac.jp)

2 : 非会員 研究当時 和歌山高専 学生 環境都市工学科

3 : 非会員 理修 応用技術(株) エンジニアリング本部空間情報部

らに、辻原らは離散事象のモデル化の方法の一つであるペトリネット⁸⁾で市街地をモデル化し、地震時火災の延焼を簡便にかつ、同時多発火災にも対応できるシステムを構築した⁹⁾。

今後、このような延焼シミュレーションシステムを発展普及させるためには、一連の操作が利用者にとって簡便であり、また延焼解析の結果を分かり易く表示することが重要となる。

本研究では、解析モデルの作成からシミュレーションおよびその結果の3-Dアニメーション表示までが、簡単な操作で利用できる地震時市街地火災延焼シミュレーションシステムを開発した。

2. 延焼シミュレーション手法の概要

本研究では、ペトリネットを適用した延焼解析法⁹⁾を用いることとした。以下に、その概要を述べる。

建物の平面は、図-1に示すような家枠の頂点と内部の一点に位置するプレースと呼ばれる円で構成される。プレース間は、図-2に示すように、トランジションと呼ばれる棒とアークと呼ばれる矢印によって結ばれる。アークはトランジションに向かう入力アークとトランジションからプレースに向かう出力アークがある。トークンと呼ばれる黒丸がプレース内に存在すると、そのプレースが着火していることを表す。アークはネットワークにおける流れの方向を示しており、トークンがアークに沿って移動する。アークには重みを付けることができ、その入力側のプレースに貯まっているトークンの数と重みが一致すると、トランジションが発火してト

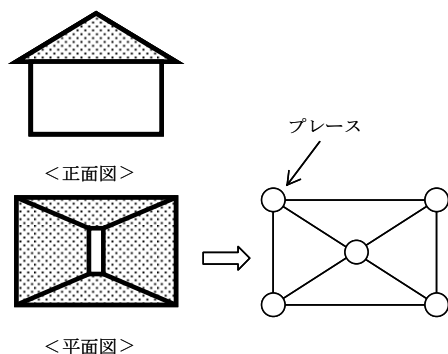


図-1 建物のモデル

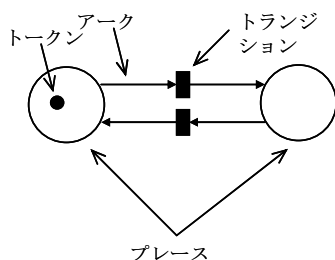


図-2 ペトリネットの基本要素

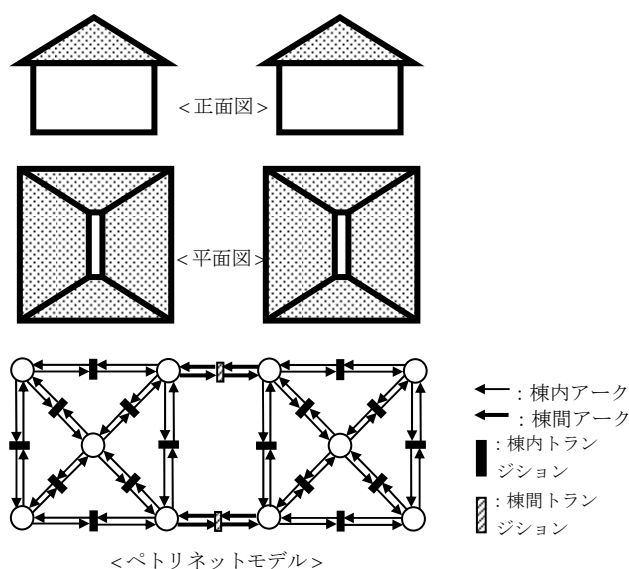


図-3 ペトリネットモデルによる延焼解析のモデル

ークンを出力側のプレースに指定された数だけ移動させる。延焼解析のモデルにおいては、入力アークの重みとして、これを挟む2つのプレース間を延焼するために要する時間が割り当てられる。建物間についても、プレース間にアークとトランジションを配置することで、延焼シミュレーションの対象とする区域全体のネットワークモデルを作成することができる。図-3にペトリネットモデルによる延焼解析のモデルを示す。アークに付与する重みの算出においては、東京消防庁の提案式(東消式 2001)³⁾を用いる。なお、ペトリネットによる延焼解析手法の詳細については文献 9)を参照されたい。

3. システム

(1) 解析モデルの自動作成

図-4の住宅地図の画面上で、図-5に示すように、解析対象領域をマウスクリックで選択することで、家枠ポリゴン抽出し、住宅地図のデータベースから家枠の頂点座標の経緯度を自動的に取得する。さらに、ペトリネットモデルにおいて、図-6に示すように、建物内と建物間において可能な延焼経路を自動作成する。このとき、設定された地震の震度、風向、風速に従って、延焼速度式からそれぞれのアークの重みが計算される。図-6において、アークの向きを示す矢印およびトランジションは省略されている。

建物属性の初期設定は裸木造 2 階建てとしている。対象とする領域において、建物種別(裸木造、防火木造、準耐火造、耐火造の別)や階数などが判明している場合は、コンピュータ画面上の各建物をマウスでクリックし、建物属性を選択して入力できるようになっている。また、解析対象の領域を上記のようにマウスで選択した際に、建物属性のデータがマイクロソフトエクセルのデータファイルとして出



図-4 電子住宅地図の表示画面



図-7 初期出火建物の設定(赤色の塗り潰し)



図-5 解析対象領域の選択

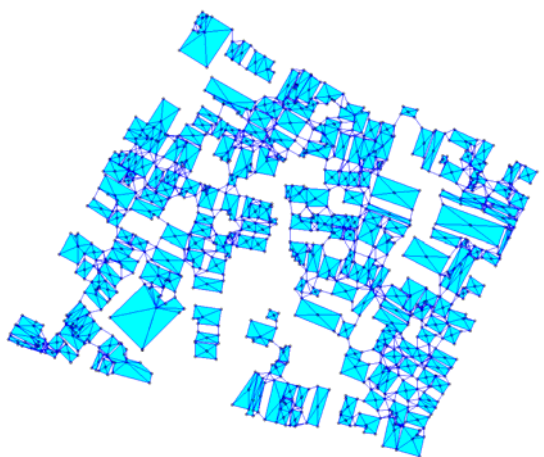


図-6 自動作成されたペトリネット延焼解析モデル

力されているので、このファイルに直接書き込むことも可能である。

最後に、図-7 に示すように初期出火建物をマウスで選択して、解析モデルが完成する。火元となる建物の出火のタイミングがずれる場合であっても対応は可能である。

(2) 延焼解析および解析結果の自動表示

作成されたペトリネットモデルをもとに延焼解析が実行される。各ブレースにトークンが移動したときの計算時間ステップがファイル出力され、建物を構成するブレース郡との照合から、それぞれの建物の延焼開始時間がわかる。延焼の動態を、図-4 の住宅地図の画面上で表示することも可能である。しかし、2次元の住宅地図ではリアリティーを表現するのに限界があり、特に地域住民の地震防災に対する意識向上を目的としたシステムの利用を想定すると、2次元より3次元、さらには静止画より動画で延焼解析の結果を表現するのが効果的である。本システムでは、延焼解析の結果を KML¹⁰⁾ファイルとして出力することで、Google Earth¹¹⁾により3次元のアニメーションで表示できるようにした。図-8 に Google Earth で表示した解析対象領域およびその周辺を示す。操作としては、作成された KML ファイルをマウスでダブルクリックし、再生のボタンをクリックするだけでよい。そうすることで、延焼動態の時刻歴を示すアニメーションがスタートする。図-9 は、火災発生直後、火災発生から1時間後、2時間後および3時間後のシーンを示す。

動画の再生中であっても、Google Earth の機能は使えるので、視点位置の移動等が自由に行える。

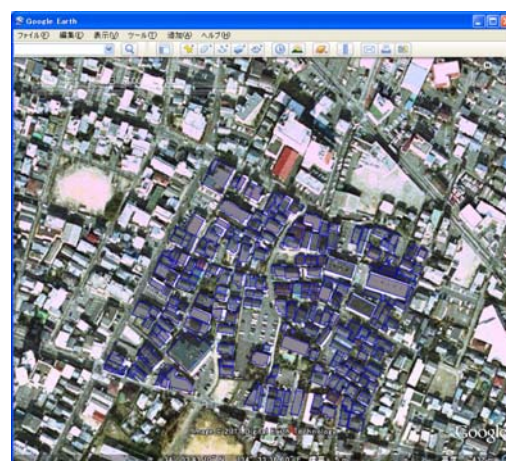
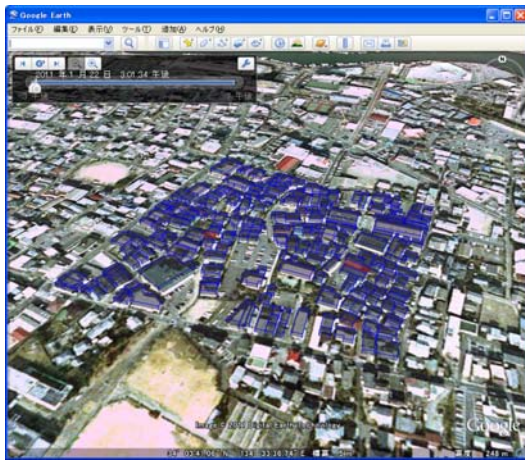
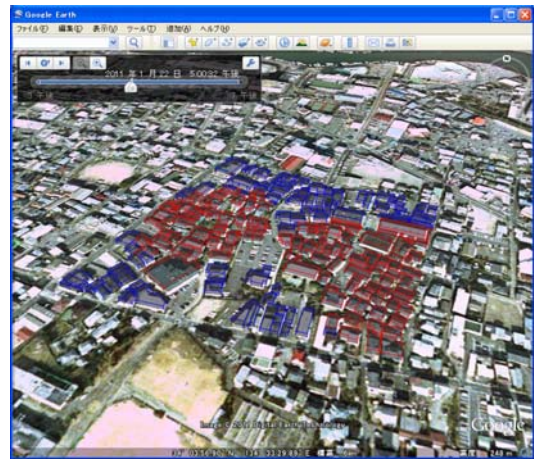


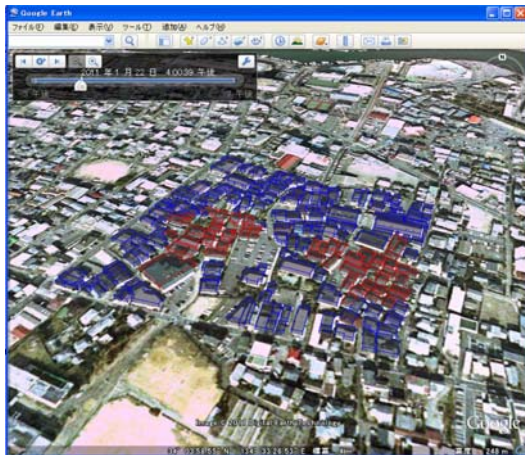
図-8 Google Earth に表示された解析対象領域



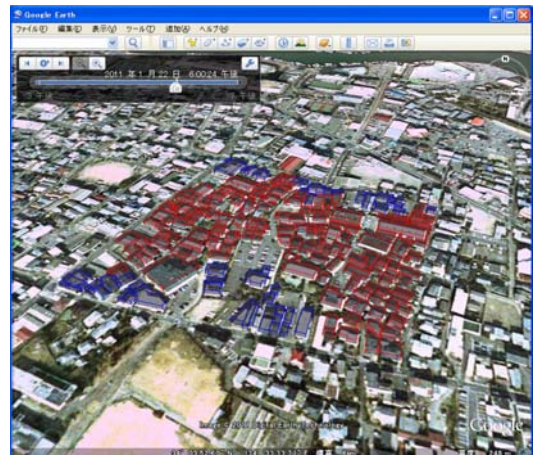
(a) 火災発生直後



(c) 火災発生から2時間後



(b) 火災発生から1時間後



(d) 火災発生から3時間後

図-9 Google Earth で再生される延焼動態の3-Dアニメーション表示

4. まとめ

大地震時には火災発生の可能性が高く、特に都市域の住宅密集地では火災延焼による被害が大きくなる。このような被害を予測し軽減させるのみならず、地域住民の防災意識を高めるための手段として、地震時延焼解析の必要性はますます高まっている。

本研究では、解析モデルの作成からシミュレーションおよびその結果の3-Dアニメーション表示までが、簡単な操作で利用できる地震時市街地火災延焼シミュレーションシステムを開発した。

参考文献

- 1) 日本火災学会:火災便覧, 共立出版, 第3版, 1997.
- 2) 火災予防審議会:直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策, 1997.
- 3) 火災予防審議会:地震火災に関する地域の防災性能計画手法の開発と活用方策, 2001.
- 4) 矢野公一, 松井武史, 高井広行, 坊池道昭, 上村雄二:大規模地震火災の延焼シミュレーションに関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.19(2), pp.39-42, 1996.
- 5) 関沢愛, 高梨健一, 遠藤真, 座間信作, 山瀬敏郎, 篠原秀明, 佐々木克憲:リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム, 地域安全学会梗概集, No.11, 2001.
- 6) 辻原治, 伏見悠生, 久堀貴史, 澤田勉:電子住宅地図を用いた簡便な地震時火災延焼シミュレーションシステムの構築, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.237-244, 2003.
- 7) 久堀貴史, 伏見悠生, 辻原治:電子住宅地図を用いたネットワーク理論に基づく地震火災延焼シミュレーションシステムの開発, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, I-55, 2003.
- 8) 例えば, 森下信:セルオートマトン, 養賢堂, 2003.
- 9) 辻原治, 寺田和啓, 澤田勉:ペトリネットを導入した地震時同時多発火災に対する延焼シミュレーションシステムの構築, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.129-136, 2005.
- 10) Google: KML リファレンス, <<http://code.google.com/intl/ja/apis/kml/documentation/>>, (入手 2011.3.1).
- 11) Google:Google earth, <<http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>>, (入手 2011.3.1).