

文化財周辺地域の延焼危険性評価手法の開発

Development of Evaluation Methods of Fire Spreading Potential for Surrounding Areas of Cultural Assets

及川 清昭

Kiyoaki OIKAWA

1. はじめに

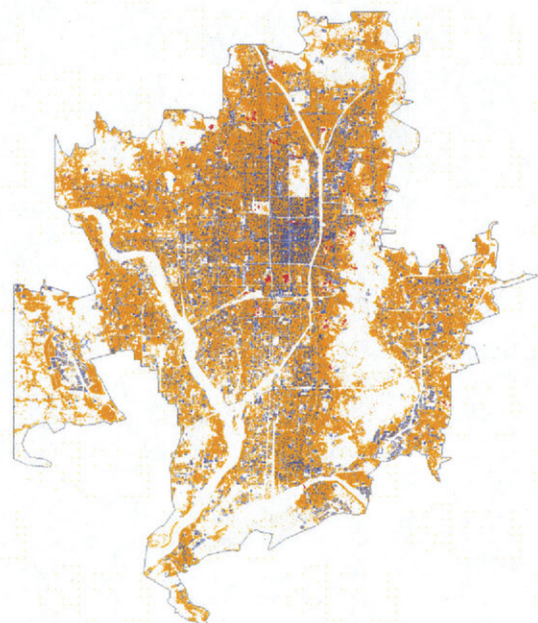
歴史都市京都における文化財を火災から守るためには、文化財自体の防災対策に加えて、その周辺からの延焼対策を講ずる必要がある。そのためには、防災上危険な文化財周辺地域を見極め、当該地域の防災性能を向上させていく必要がある。本研究は地域および文化財の延焼危険性を簡便に評価する手法を開発し、その手法を京都における文化財とその周辺地域に適用することを目的としている。

昨年度は、京都市内に分布する文化財と耐火・非耐火建築物のデータベースをもとに、非耐火建築物間の狭小な隙間を加味したみなし非耐火率と、非耐火建築物間の隣棟距離と延焼限界距離に基づく延焼グラフを提案し、文化財への延焼危険度の定量化を行った。本年度は文化財周辺の延焼危険性をさらに精緻に評価するために、文化財周辺建物の現地調査を行い、建物構造別のデータ整備を図るとともに、建築面積と風向・風速を考慮した延焼限界距離によって延焼危険性を評価する手法を開発したので、その概要を報告する。

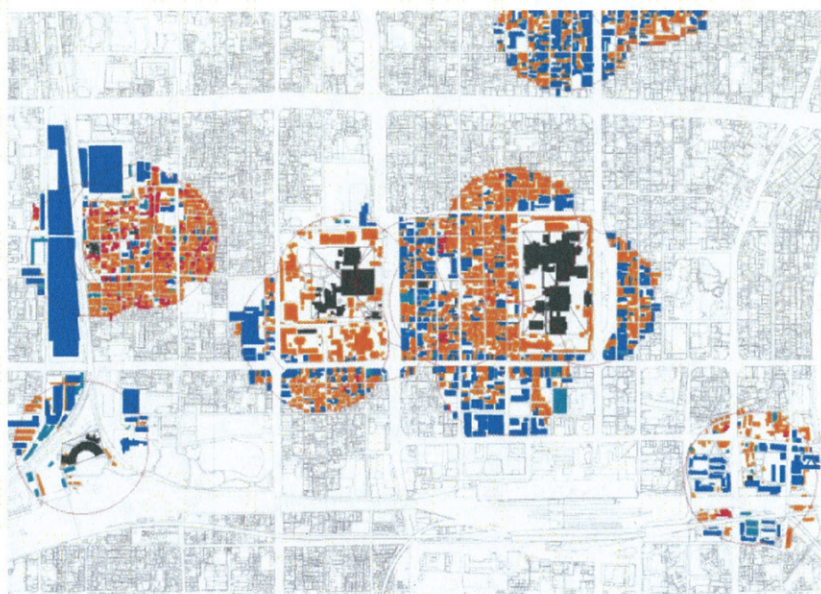
2. 京都市における文化財と建物の構造別データベースの再構築

昨年度までに、京都市内の有形文化財のうち、建造物に分類されている565件の文化財リストを作成し(名称別では243箇所)、建物ポリゴンとして数値情報化した(ポリゴン数は772)¹⁾。一方、京都市の1/2500都市計画図をもとに、京都市全域の耐火・非耐火別の建物ポリゴンデータ(約48万棟)を独自に作成した(図1)。

文化財周辺地域における延焼危険性を精確に把握するためには、単に耐火・非耐火別ではなく、詳細な構造別のポリゴンデータが必要である。そこで、本年度は文化財周辺の建物の現地調査を行い(約10万棟)、その結果をもとに裸木造・防火木造・準耐火造・耐火造という構造別データを新たに作成し²⁾、データベースの再構築を行った。

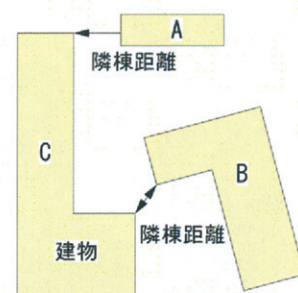


■文化財 ■非耐火建築物 ■耐火建築物
図1 文化財と非耐火建築物



■文化財 ■裸木造 ■防火造 ■準耐火造 ■耐火造

図2 建物構造種別の現地調査結果(本願寺周辺の例)



建物 A の隣棟距離は建物 C までの距離であるが、建物 C の隣棟距離は建物 B までの距離である。数学上の距離空間の条件のうち、三角不等式は満たさないが、延焼解析に際しての不合理性はない。

図3 隣棟距離の定義

調査範囲は文化財ポリゴンの中心から半径200mと設定した。過去の市街地大火における延焼速度は約200m/hといわれているので、この値は大火の際に1時間以内に文化財に延焼する可能性のある範囲に相当する。ちなみに、阪神・淡路大震災における延焼速度は約20～40m/hであったことから、半径200mという範囲設定は、文化財への初期消火を1時間以内とした場合、安全側の数値設定といえる。

図2は現地調査の結果をもとに整備した建物構造別ポリゴンデータの一例である。

3. 隣棟距離と延焼限界距離による延焼過程モデル

隣棟距離とはひとつの建物ポリゴンからみた周辺の建物ポリゴンとの最小距離と定義する(図3)。また、延焼限界距離とは隣棟間で延焼する最大距離をいい、建物構造別によって異なる値を示す。本研究においては、延焼危険性を評価する際の延焼過程モデルとして、国土交通省総合技術開発プロジェクト(以下、防災まちづくり総プロと略す)⁽¹⁾の中で、延焼危険性のマクロ評価手法として提案されているCVF(Covering Volume Fraction)を基本としている。この考え方は、隣棟間の延焼限界距離を定義し、隣棟距離が延焼限界距離を超えると延焼しないとみなすもので、隣棟距離が延焼限界距離以下で連担する建物群、すなわちクラスターの量(面積・棟数)によって延焼危険性を評価するというものである。これはクラスター内の建物の中で1件でも出火すれば、クラスター内のすべての建物が焼失するということを意味している。つまり、クラスターを構成する建物の焼失確率は、クラスター内で出火する確率に等しい。

4. 建物構造別による延焼限界距離の設定

市街地延焼に関する代表的な延焼速度式としては、浜田式・堀内式・室崎式がよく知られている。延焼限界距離は出火後の経過時間と風速によって増大するが、それぞれの延焼速度式にお

いて設定されている延焼限界距離については、出火後の時間・風速を問わず、建物構造別に、浜田式(裸木造):堀内式(防火造):室崎式(準耐火造)=4:2:1 となっている。防災まちづくり総プロにおいては、標準規模の建築物の火災に対する延焼限界距離として、裸木造 12m、防火造 6m、準耐火造 3m、耐火造 0m という値が用いられている。この場合、延焼限界距離は等方的(図形上では円)であるとしているが、実際の延焼現象では風向によって異なる。つまり、延焼限界距離は風下側が長い卵形となる(図 4)。一方、防災まちづくり総プロでの設定値をもとに、地域特性として気候条件を考慮し、風向・風速を組み込んだ延焼限界距離のモデル式が損害保険料率算出機構によって提唱されており²⁾、本研究においてもその延焼限界距離を用いることにする。このときの延焼限界距離 d^* は、建物幅 A (建築面積の平方根)と構造別および風速によって以下の式で表される。

$$d^* = k A^r \quad (1)$$

ここに、 k 、 r は建物構造別と風速による炎の傾きによって決定されるパラメータである。

京都市の気象観測データによると、年間の最多風向は概ね北方向であり、特に火災被害が大きい2月の最多風向は北西であるので、ここでは風向は北西に設定した。また年間の平均風速は1.6m/sであるが、過去の市街地大火における平均風速が約8～10m/sであったことを考慮して、風速は10m/sと設定した。この卵形の延焼限界距離(図4)は、円と楕円を合成した曲線とし(風上・風側は等距離とする)、パラメータ k 、 r は、文献(2)に基づいて表1のように設定した。



図4 構造別による延焼限界距離

5. 建物配置図の dilation

防災まちづくり総プロにおけるCVF は、対象となる建物平面の周囲に延焼限界距離の半分のバッファーを発生させたときに、地区面積に対するバッファー面積(建築物を含み、バッファーが重なる部分はダブルカウントしない)の比として表わされるものである。バッファーとは建物周囲の等距離線であるが、本研究ではこのCVFの概念を発展させ、建物平面の周囲に卵形の延焼限界距離線を描き、その面積を計量する。画像処理技術においては、図形を構造要素によって周囲に拡大することをdilationと呼ぶが、CVFのバッファーは構造要素を円とした場合に相当する。本研究では風向が考慮されているので、構造要素を卵形としたdilationに相当する。この卵形曲線で拡大された領域を、ここでは「DVF (Dilated Volume Fraction)」と呼ぶ(図5)。

表 1 建物構造別パラメータ

構造種別	k		r	
	風上 風側	風下	風上 風側	風下
裸木造	3.79	5.14	0.49	0.41
防火造	2.03	4.60	0.46	0.24
準耐火造	1.28	4.63	0.35	0.05

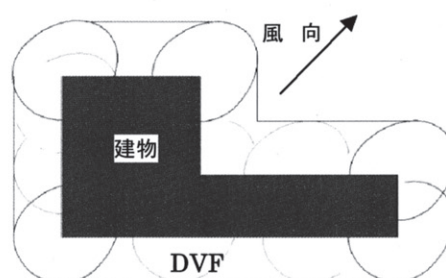


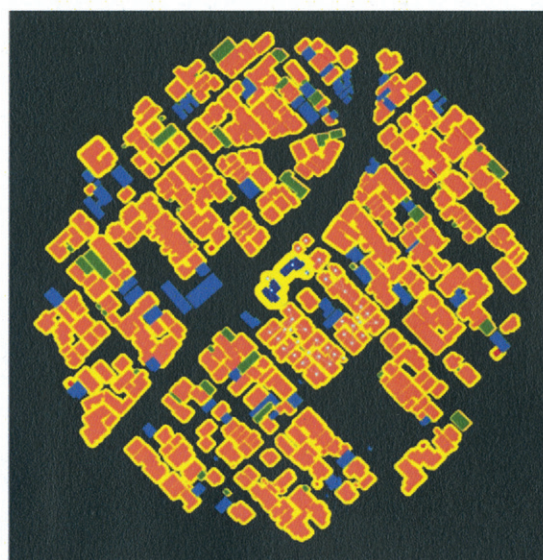
図 5 延焼限界距離による dilation

実際にDVFを描出する際、連続平面上では煩雑になるので、画像処理技法に倣って、ディジタル処理する。ここでは、建物平面を50cm角の画素に分割し、建物の構造と規模(建築面積)に対応して、(1)式で表わされる延焼限界距離の“半分”の長さを適用してdilationを施す。半分としているのはCVFの場合と同様、加害側の建物構造で延焼限界距離を決定し、異種構造間の延焼方向については延焼限界距離の平均値を両者の延焼限界距離とみなすからである。隣棟距離がこの延焼限界距離よりも小さければ、それぞれを火災側とした場合にいずれの方向にも延焼が拡大すると仮定するのである³⁾。

なお、耐火造については火災になっても外部への影響は発生しないものとし、また、文化財自体については安全側に判断し、裸木造とみなして計量した。

実際の建物配置図に適用してDVFを求め、その論理的和集合を取った例を図6に示す。図の黄色の領域がDVFである。CVFの場合と同様、DVFと非耐火建築物(裸木造・防火造・準耐火造)の面積を対象領域の面積で除した値を「DVF値」と呼ぶ。

DVFは延焼が拡大していく可能性のある建物の連担状況を表現する。クラスター内で発生した火災がクラスター内の建物すべてに延焼する可能性があることを示しており、対象領域内でのDVF値が大きいことは、文化財周辺地区の延焼危険性が高いことを意味する⁴⁾。



■文化財 ■裸木造 ■防火造 ■準耐火造 ■耐火造
図6 構造別建物とDVFの描画例

6. DVFに基づく延焼グラフの作成とクラスター構成建物数の計測

昨年度までは、火災の最盛期・大風速を想定して延焼限界距離を一律に12mと設定し、建物間の隣棟距離が12m以内であるとき延焼の危険性があるとして延焼グラフを作成したが、現実面を考慮して前述したDVFをもとに新たな延焼グラフ V^* を作成してみる。

いま、2つの建物間のDVF(延焼限界距離の半分の長さのdilation)が交わる場合、両者は延焼するとみなし、建物ポリゴンをグラフのノード(頂点)に置き換え、辺で連結する。この作業を文化財を含む対象領域内すべての建物を対象として行い、延焼グラフ V^* を作成する。図7の延焼グラフは図6のDVFをもとに作成した

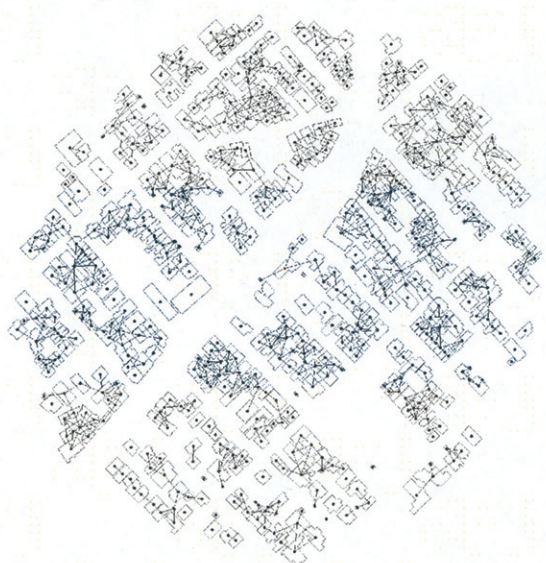


図7 DVFに基づく延焼グラフの例

延焼グラフの例である。延焼グラフの連結成分は延焼が連担する建物群、すなわちクラスターを表現している。同一クラスター内で出火した場合、消火活動をしないう限り文化財はいずれ焼失するので、延焼グラフの連結成分はいわば延焼の運命共同体を表している。

延焼グラフの中から、文化財を含む連結成分を抽出すれば、文化財への延焼危険範囲を表現することができる(図8に例示)。文化財自体が含まれる延焼クラスターのDVF値が大きいほど、また、文化財を含む延焼グラフの連結成分のノード数(棟数)が多いほど危険性が高いと判定される。なお、同一敷地内に同一名称の文化財が複数ある場合、文化財のノードはひとつのノードに縮約した。



図8 文化財を含む連結成分

7. 文化財の延焼に対する脆弱性評価

以上の分析手法によって計量すると、文化財への延焼に対する脆弱性を、文化財周辺地域全体(マクロ、半径 200 の範囲)と文化財近傍(ミクロ)とに分けて評価可能である。前者の評価値にはDVF 値を、後者には文化財を含む延焼グラフの連結成分のノード数を用いることができる。図9の散布図はその例である⁵⁾。値の大小によってマクロ／ミクロの安全性／危険性を大まかに4分類にして把握可能となる。

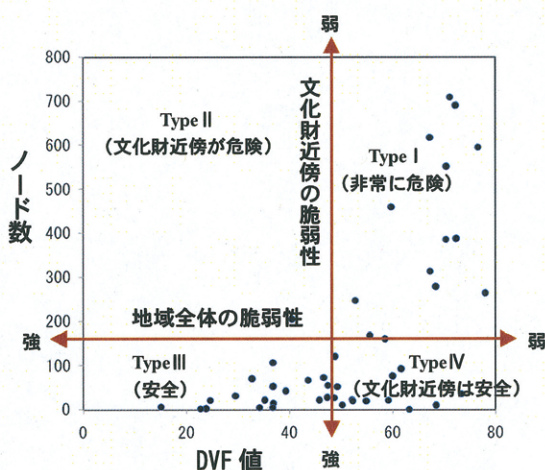


図9 DVF 値と延焼グラフのノード数

8. スペース・シンタックス理論による延焼グラフの評価

同一クラスター内の建物は運命共同体ではあるが、クラスターを構成する建物数とDVF 値がほぼ同じような延焼グラフを比較する場合、初期消火の時間を考慮すると、文化財がグラフの端部にあるよりは中央部にあるほうがより延焼危険性が高いとみなすほうが妥当である。そこで、延焼グラフにおける文化財の位置を加味した評価を試みる。

スペース・シンタックス理論においては、ある空間の奥行(depth)とは、その空間に到達するまでに幾つの空間がそこに介在していたかということによって表わされる。この概念を延焼グラフにあてはめた場合、文化財から同一クラスターに属する他のすべての建物に延焼が連鎖するまでに介在した建物数が少ないほど、その文化財の奥行は浅いことになり、その文化財の中心性、すなわち延焼危険性が高まると判断できる。建物 i の相対的な奥行 RA_i (Relative Asymmetry) は、その他のすべての建物からの奥行として、

$$RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{k - 2} \quad (2)$$

と定式化される(図 10)。ここに、 MD_i は他の建物からのグラフ上の距離の平均であり、 k はグラフのノード数である。また、 k の数に依存しないように標準化した値が RRA_i (Real Relative Asymmetry) であり、次式で定義される⁽³⁾。

$$RRA_i = \frac{RA_i}{D_k} \quad (3)$$

$$D_k = \frac{2[k\{\log_2(\frac{k+2}{3}) - 1\} + 1]}{(k-1)(k-2)} \quad (4)$$

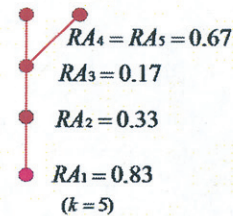


図 10 RA_i の計測例

文化財の RA_i または RRA_i の値が小さいほど奥行きが浅い、すなわち中央部に位置し延焼の危険性が高いことを意味する。本研究では、文化財を含む延焼グラフの連結成分を対象として、これらの値を求めて計量的評価を試みた。

9. おわりに

本年度は文化財周辺地域の現地調査を行い、DVF 値と延焼グラフの構成ノード数、スペース・シンタックス理論に基づく RA の値によって、マクロ・ミクロな視点から文化財への延焼危険性を評価した。今後は構築したデータベースをもとに、文化財への延焼シミュレーションを行い、さらにミクロな延焼危険性の把握を試みたいと考えている。

註

- 1) 文化財の内訳は、世界遺産 14、国宝 40、重要文化財 200、国登録文化財 174、府指定文化財 41、府登録文化財 6、市指定文化財 67、市登録文化財 23 である。
- 2) 2009 年末現在ですべての文化財周辺建物の現地調査は終えているものの、データベースの再整備は完了しておらず、本報告の分析はデータ化したもののみを扱っている。
- 3) 火災の際に消防力が期待されないと仮定すると、各建物から構造別・建築面積に応じて延焼限界距離で卵形の dilation を施した際に、DVF に一部でも含まれる建物は、dilation を施した建物(火災側建物)から延焼するものとみなすことができる。実際には被害側の建物構造によっても火災側建物からの延焼限界距離は異なるが、防火性能が高い建物でも開口部経路で類焼することが知られており、延焼限界距離は火災側建物の構造・規模によって決定されると仮定した。ただし、例えば、構造種別が異なる建物 A と B がある場合、それぞれの延焼限界距離を $d(A)$ 、 $d(B)$ とすると、 $d(A) \neq d(B)$ である。すなわち、延焼経路は異方性を示すことがある。しかし、延焼経路の異方性を考慮して市街地の延焼脆弱性を表現することは煩雑になる。この問題を回避するために延焼限界距離の半分の距離で dilation を施し、DVF 相互に交わりがあ

る場合に、いずれの建物が火災側となっても他方の建物に類焼するものとみなすことにした。
このような考え方は防災まちづくり総プロに倣っている。

- 4) DVF の場合も CVF と同様、ひとつの建物が火災になった場合の延焼限界距離に基づいている。集団火災となった場合には、火災側建物群からの延焼限界距離が大きくなるが、ここでは火災拡大にともなう延焼限界距離の増加は考慮していない。DVF は市街地防火性能評価のマクロな代替指標といえる。
- 5) 現在までデータ整理が完了した 45 の文化財についてのみの計量結果である。

参考文献

- (1) 国土交通省国土技術政策総合研究所[2003]:総合技術開発プロジェクト「防災まちづくりにおける評価技術・対策技術の開発」
- (2) 地震保険研究 6、市街地特性を考慮した地震火災の延焼危険評価手法の開発、損害保険料率算出機構、2005.
- (3) B. Hillier & J. Hanson, The Social Logic of Space, Cambridge University Press, 1984.