

建物部材単位の耐火性向上や防災水利整備といった 歴史的都市に適用可能な延焼火災対策とその評価支援システム

Evaluation Support System of Fire Safety Measures by Altering Building Members and
Implementing Fire-fighting Water Supply System for Preservation of Historical Urban Area

横山昇平¹・樋本圭佑²・田中喈義³

Shohei YOKOYAMA, Keisuke HIMOTO, and Takeyoshi TANAKA

¹応用地質株式会社 (〒532-0021 大阪府大阪市淀川区田川北2-4-66)

OYO Corporation

²京都大学 次世代開拓研究ユニット (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

Pioneering Research Unit for Next Generation, Kyoto University

³京都大学 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

To preserve the spectacle and to build disaster resilient city in the traditional city like Kyoto, a fireproof improvement of each building members and the disaster prevention water supply maintenance are thought as the main measures. The technique for quantitatively evaluating the effect of measures is necessary to execute these measures appropriately. In this study, the system that the modification of the building members and the extinction ability of the firefighting equipment are quantitatively evaluated was constructed.

Key Words : *historical urban area, support system of risk assessment, evaluation of fire prevention measures*

1. はじめに

わが国には依然として多くの密集市街地が存在し、地震火災のような広域災害に対する脆弱性を抱えた地域が広く残っている。このような地域に対して、再開発によるオープンスペースの確保や主要道路沿いの建物の不燃化などのような、都市構造の改変による対策が進められてきた。

一方、京都のように木造の伝統的建築物で構成される密集市街地に対して、上記のような対策を施すことは、伝統的な街並を失うことを意味する。歴史的な景観に配慮しながら災害に強いまちづくりを実践するためには、都市レベルの対策とは別に、部材単位の改修・補強などの対策や、防災水利の整備、地域での消防活動強化の取組みが欠かせない。地域住民による自助や共助・互助の観点からも、これら防災対策の評価を行うことが重要と考える。

このような歴史的都市の市街地火災に対して、延焼動態予測に基づいて、被害を最小限に食い止める方策を検討する際において、街区・メッシュ・建物棟単位で延焼動態を評価する手法では、上述のような対策の効果を定量的に評価することはできない。すなわち、歴史的都市の市街地火災対策に応じた部材単位の防火性能評価に基づいて、市街地の延焼危険性を定量的に評価する手法が必要となる。

加えて、地域の消火能力を評価する場合においても、消防水利や放水設備の位置や水量・放水能力および類焼状況を鑑みて、時系列に変化する消火活動範囲を評価できるものでなければ、景観への影響を最小限に抑えた必要十分かつ肌理細やかな防災水利整備の検討を行うことができない。

これまで筆者らは、物理的知見に基づく市街地火災延焼性状予測モデル¹⁾ (以下、本延焼予測モデルとす

る。)を構築し、これをGISと組み合わせることで、視覚的な操作により延焼動態を評価することのできる評価支援システム(以下、既往システムとする。)の開発を進めてきた²⁾。さらに、放水による火災抑制効果を定量的に評価する消火活動モデル(以下、本消火活動モデルとする。)の検討を行った³⁾。

本研究では、この既往の評価支援システムの改良を行い、建物部材の不燃・難燃化による延焼対策の効果と、消防水利と放水設備の適正配置や消火能力向上が延焼抑止にもたらす効果についての評価を可能とするGISインターフェースを作成し、評価支援システムの改善を目指した。

2. 既往の評価支援システムの特徴

(1) 延焼予測モデルの特徴

既往システムで採用している延焼予測モデルは、火災現象の物理的知見に基づき定式化された延焼予測モデルである¹⁾。本延焼予測モデルでは、都市火災を複数の建物火災の集合と捉え、他の建物火災の影響下における個々の建物火災の燃焼性状を予測することで、市街地全体の火災性状予測を行っている。具体的には、a) 火災建物からの輻射熱伝達、b) 火災建物の風下側に形成される熱気流による対流熱伝達、c) 市街地風によって飛散する火の粉を、建物間の火災拡大要因として考慮し、延焼動態を再現している。この延焼予測モデルがどの程度の予測精度を担保しているかについては、既報において検証を行っているとおりである。⁴⁾⁵⁾

(2) 消火活動モデルの特徴

本消火活動モデルは、放水による火災抑制効果を、a)水分蒸発に伴う区画内ガスの冷却効果、b)水蒸気の発生に伴う区画内ガスの希釈効果、c)可燃物表面の湿潤による熱分解抑制効果の3つの効果に分けてモデル化を行っている。さらに、消火設備には消防水利と放水設備の2区分を設け、それぞれについて、貯水量や放水能力の設定値を考慮して、消火活動能力の評価を行っている。加えて、消火活動が行われる前提条件として、消防水利と放水設備の両者が揃うこととし、消火活動の対象となる建物は、a)消防水利から消防用ホースが延長可能な範囲内にあること、b)消防活動に従事する者の安全のため燃焼領域内に孤立していないこと、c)同じく周囲温度上昇が一定値以下であることといった条件を満たすものに限定することで、実際の消火活動開始時刻や消火活動可能領域の再現に努めている³⁾。

(3) 既往システムの特徴

既往システムでは、GISを操作のプラットフォームとして採用し、GIS上から延焼予測モデルにかかる入出力データの管理を行うことのできる仕組みを構築した²⁾。上述のように物理的知見に基づいて延焼動態を予測する本延焼予測モデルでは、入力データとして、a) 建物全体に関するデータ(各建物の建物種別や階高、建物の全ノード(隅角部)の座標など)、b) 構造部材に関するデータ(壁面の部材種別、壁面の構成ノードに関する情報など)、c) 開口部材に関するデータや d) 輻射熱算定に用いる係数データ、e) 壁・開口部材の熱物性データなど、種々のデータを必要とするが、既往システムを活用することで、視覚的かつ容易にこれらのデータ作成を行うことができる²⁾。この既往システムを用いることによって、建物情報に基づいた市街地の延焼危険度の現状評価を行うことができる。

3. 延焼火災対策の内容とその評価方法

本研究では、既往システムのGISインターフェースを改善し、消火設備の適正配置の検討および、建物部材の変更による延焼抑止効果の検証を支援するGISインターフェースを追加した。既往の延焼予測モデルおよび消火活動モデルでも、消火設備の適正配置の検討や建物部材の変更を行うことは、入力データを書き換えることで対応でき、既報⁶⁾においてモデル地区での検証を行っている。しかし、これを行うためには、モデルの設計思想やデータ構成など、相応の知識を要することから、操作手続きの改善が必要であった。

操作全体の流れは、図1に示すとおりである。既往システムのインターフェースを用いて作成した解析用入力データに対して、本研究で開発した建物部材変更インターフェースや消火設備配置インターフェースを用いて、数値変更や情報項目の追加を行うことで、新たな入力データを作成し、解析結果を比較することで、延焼動態の相違を視覚的に捉えようとするものである。

以下に、建物部材の変更と消火設備の整備、両者の防災対策をGISのシステム上で表現する方法について説明する。

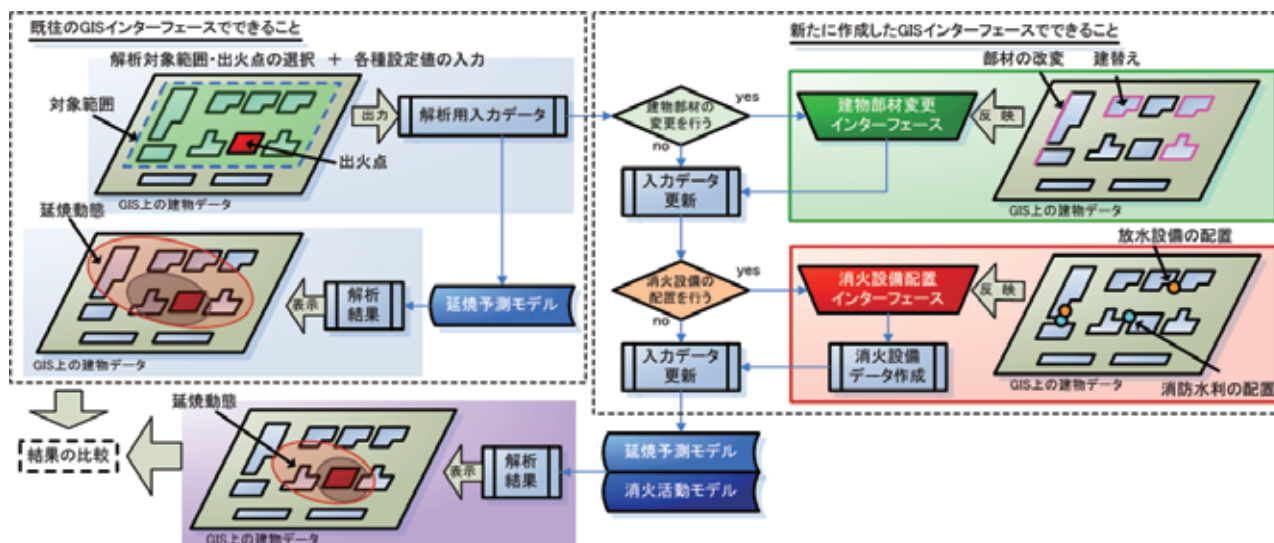


図1 建物部材の変更および消火設備の配置のための操作全体フロー

(1) 建物部材の変更

建物部材の変更については、システム上で管理を行っている解析に用いる入力データの中から、防災対策に応じた当該箇所（補強・改修を行いたい壁や屋根・床）の属性値を書き換えることで、その対策内容を表現することができる。すなわち、解析に用いる入力データの1) 建物全体に関するデータ項目のうち、建物種別の情報を抽出し、これの変更を行うことは、建物棟の建替えを意味する。さらに、2) 構造部材に関するデータ項目のうち、壁や屋根、床の部材種別に関する情報を抽出し、これの変更を行うことは、各部材の改変を行うことを意味する。操作は、GIS上で図2に示す手順で進める。

(2) 消防水利や放水設備の配置

消防水利や放水設備の配置は、GIS上での位置の決定および属性値の設定により行う。防火水槽や河川などの消防水利に対しては、貯水量や流量といった属性値を設定し、屋内・屋外消火栓や可搬ポンプなどの放水設備に対しては放水速度やホース延伸長さといった属性値を設定する。

操作は、GIS上で図3に示す手順で行う。位置や水量・放水速度などの属性値を変えて検討を行うことで、消火設備について様々な条件下での検討を行うことができる。

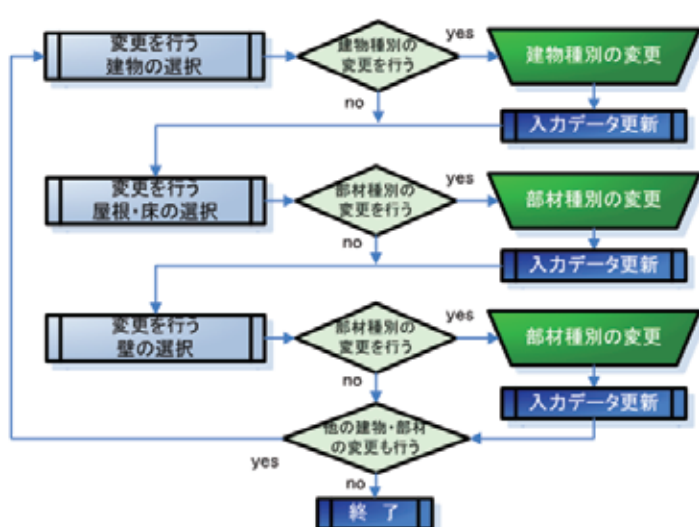


図2 建物部材の変更フロー

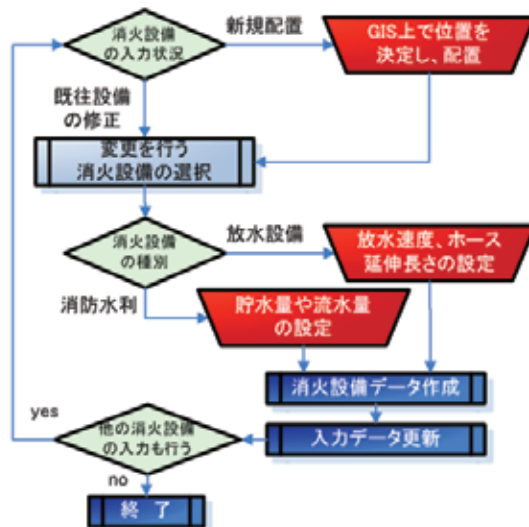


図3 消火設備の配置フロー

4. 新たな評価支援システムの試験的運用による結果とその考察

新しくインターフェースを追加した支援システムを実際の市街地の建物データに適用して、現状の市街地での延焼動態と、仮想の防火設備の配置および建物部材の改変による防災対策を実施した際の延焼動態を比較することで、延焼抑止効果の検証を行う。検証に用いた市街地の情報は下記のとおりである。対象とした市街地の建物のうち、1棟の建物から出火したことを想定して、各防災対策の効果について検証を行った。

＜対象とした市街地の概況＞ 都市名：京都市東山区（一部）

総建物数 8066棟　うち、普通建物 6656棟（普通無壁建物含む）、堅牢建物 736棟、
高層建物 674棟（建物区分は国土地理院が定める国土基本図図式における建物区分による）

(1) 建物部材の変更による火災抑止効果の検証

対象とした実際の市街地データを用いて、その中から抽出した建物について、建物部材の補強を行い、変更の有無による延焼動態の比較を行う。今回の検証では、図4に示す箇所の外壁116部材を抽出して、表1のように部材特性の変更を行った。主な変更点は、壁部に対して燃え抜けが起こらないという設定に変更したことである。燃え抜けが起こらないことにより、燃え抜けた箇所からの燃焼を助長する空気の流入や、広がった開口からの噴出火炎による周囲の建物への輻射熱の影響を抑えることができる。開口部材については変更を行っていない。

表1 建物部材（外壁）の部材特性の主な変更内容（※：燃え抜けなし）

| 外 壁 | | 熱伝導率 (kW/(m・K)) | 比重 (kg/m ³) | 比熱 (kJ/(kg・K)) | 含水率 (kg/kg) | 燃抜時間 (分) |
|-----|-----|--------------------|----------------------------|-------------------|----------------|-------------|
| 変更前 | 壁部 | 0.0013 | 2000 | 0.8 | 0.2 | 20 |
| | 開口部 | 0.00078 | 2540 | 0.77 | 0 | 5 |
| 変更後 | 壁部 | 0.0013 | 2400 | 0.8 | 0.2 | —※ |
| | 開口部 | 0.00078 | 2540 | 0.77 | 0 | 5 |

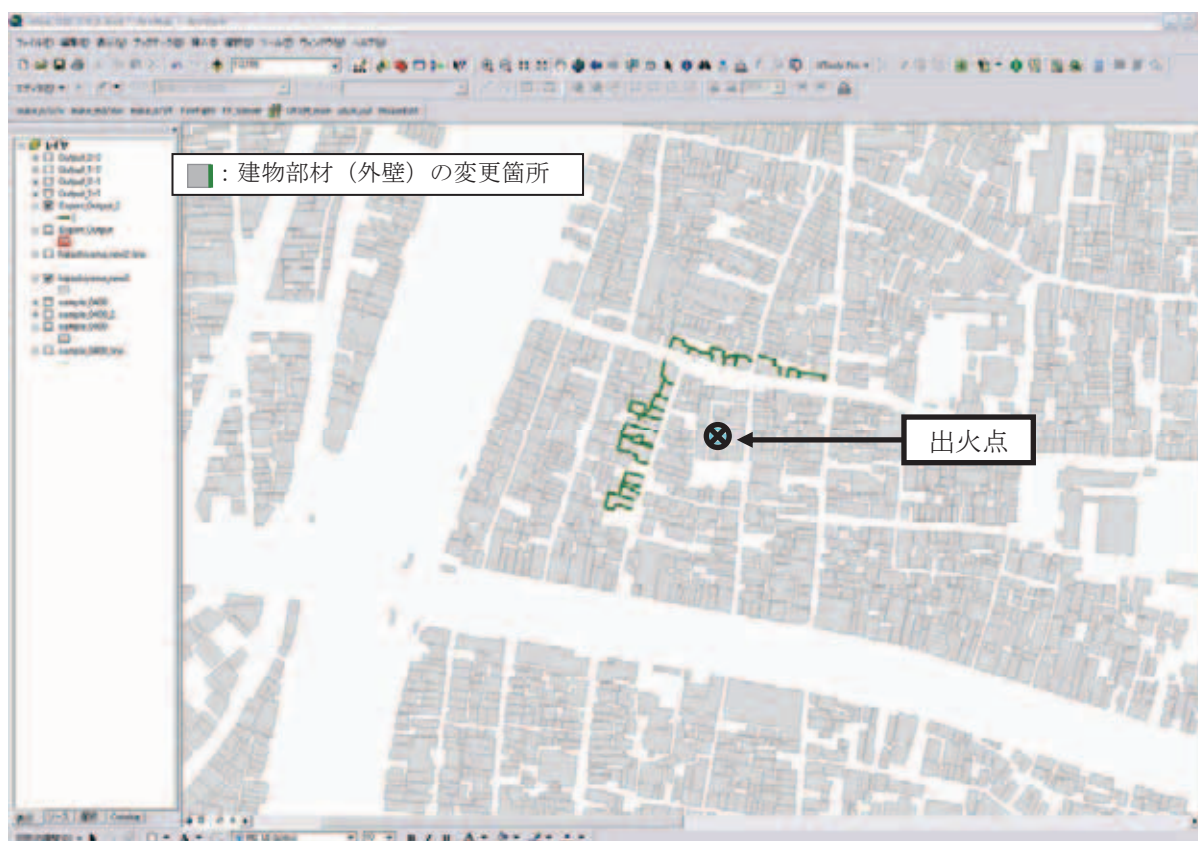


図4 検討に用いた対象市街地における仮想の建物部材変更箇所

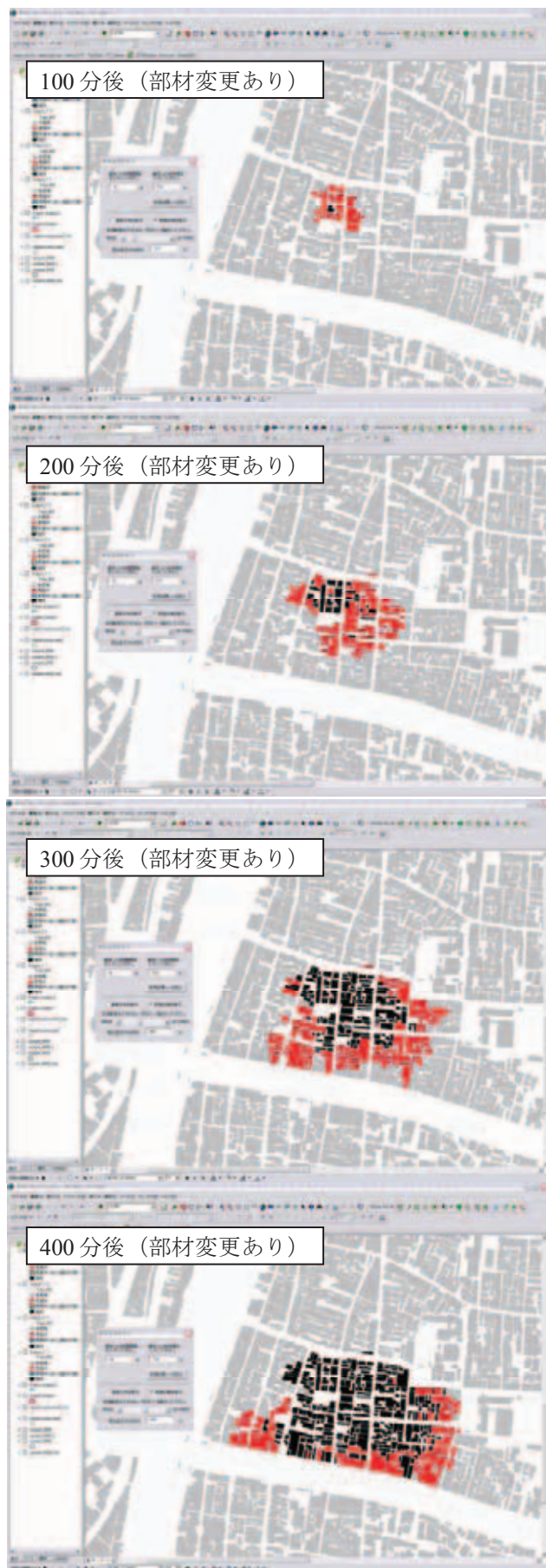
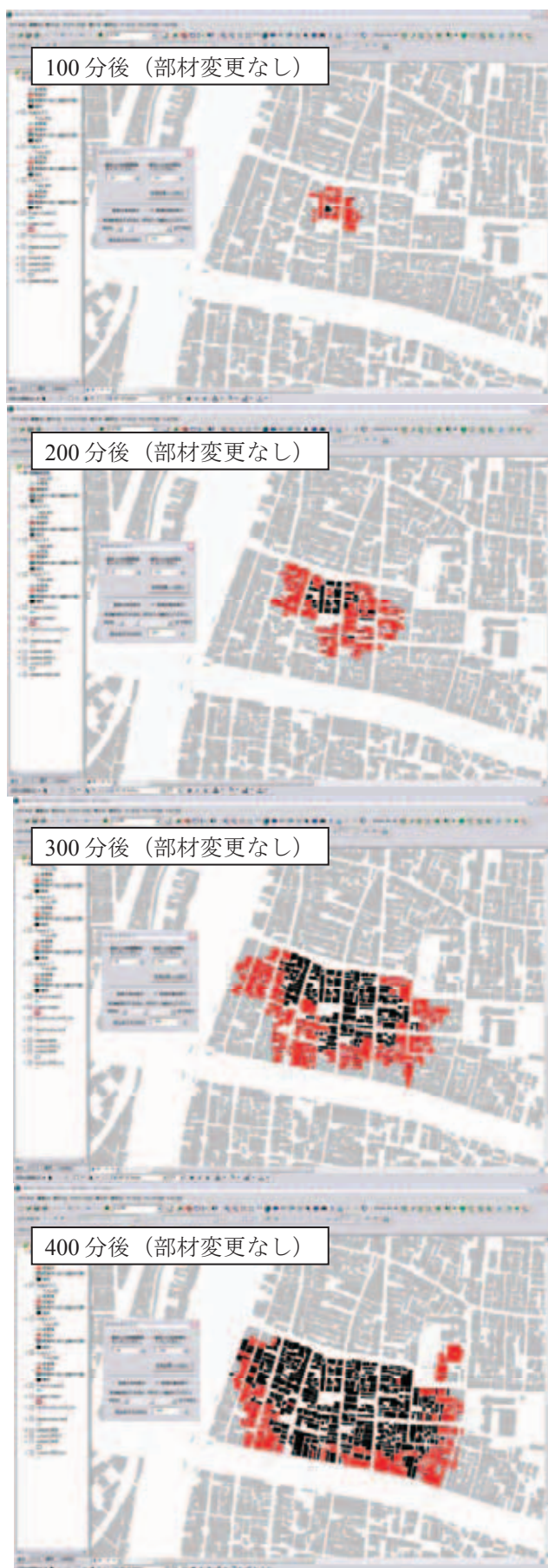


図5 建替えおよび建物部材の変更の有無による延焼動態の比較（■：燃え尽き、■：燃焼中、■：未燃焼）

建物部材（外壁）の変更の有無による延焼動態を比較すると、図5に示すとおり、建物部材の変更を施した街区から西側への延焼が抑えられていることが見てとれる。一方で、対策を施していない南西や北東の家々から回り込んで延焼したことで、出火点の南西・北東側には、延焼範囲が若干広がっているが、延焼の遅延効果はあるので、消火活動と組み合わせることでさらに延焼抑止効果の向上が見込める。

上述の本延焼予測モデルの特徴により、建物部材の変更が延焼範囲の相違に現れるのであるが、建物種別や建物部材について別途条件を設定すれば、これを反映させて、ある出火点における延焼動態の比較を行うことができる。さらに、単一の出火点での検討だけでなく、様々な出火条件を考慮することで、地域にとって有効な防災対策の検証を行うことが可能となる。

(2) 消防水利や放水設備の適正配置の検討

対象とした実際の市街地の消火設備の配置状況に基づいて、消火設備を図6のように配置し、消火設備が全く機能しなかった場合と、消火設備が機能した場合の延焼動態を比較した。

配置した消防水利および放水設備は、表2のとおりである。

表2 配置した消防水利と放水設備

| | 種 別 | 内 容 | 種 別 | 内 容 |
|------|-------|--------------------------------|--------|--------------------------------|
| 消防水利 | 消火栓 | 316基 | 防火水槽 | 40箇所（20トン～140トン）※ ¹ |
| | プール | 3箇所（200トン～250トン）※ ¹ | 河川、用水路 | 給水箇所をプロット（水量は無限と想定） |
| 放水設備 | 屋内・屋外 | 42基（ホース延長は100m、放水速度は毎分100リットル） | 可搬ポンプ | 9基（ホース延長は100m、放水速度毎分100リットル） |
| | 消火栓 | | | |

※¹ 京都市消防局データに基づいて、実際値を用いた。

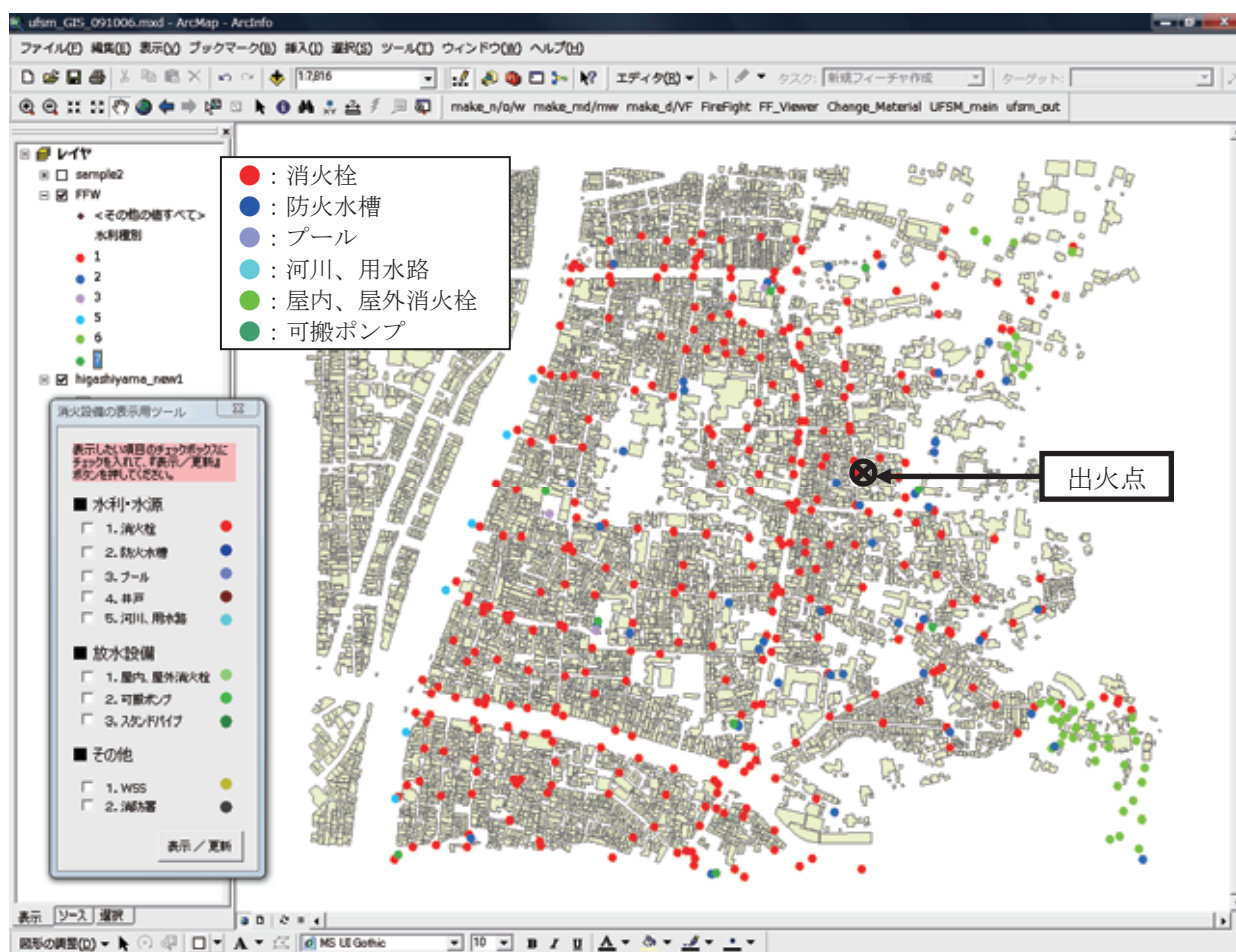


図6 検討に用いた消火設備の配置状況と出火点の位置

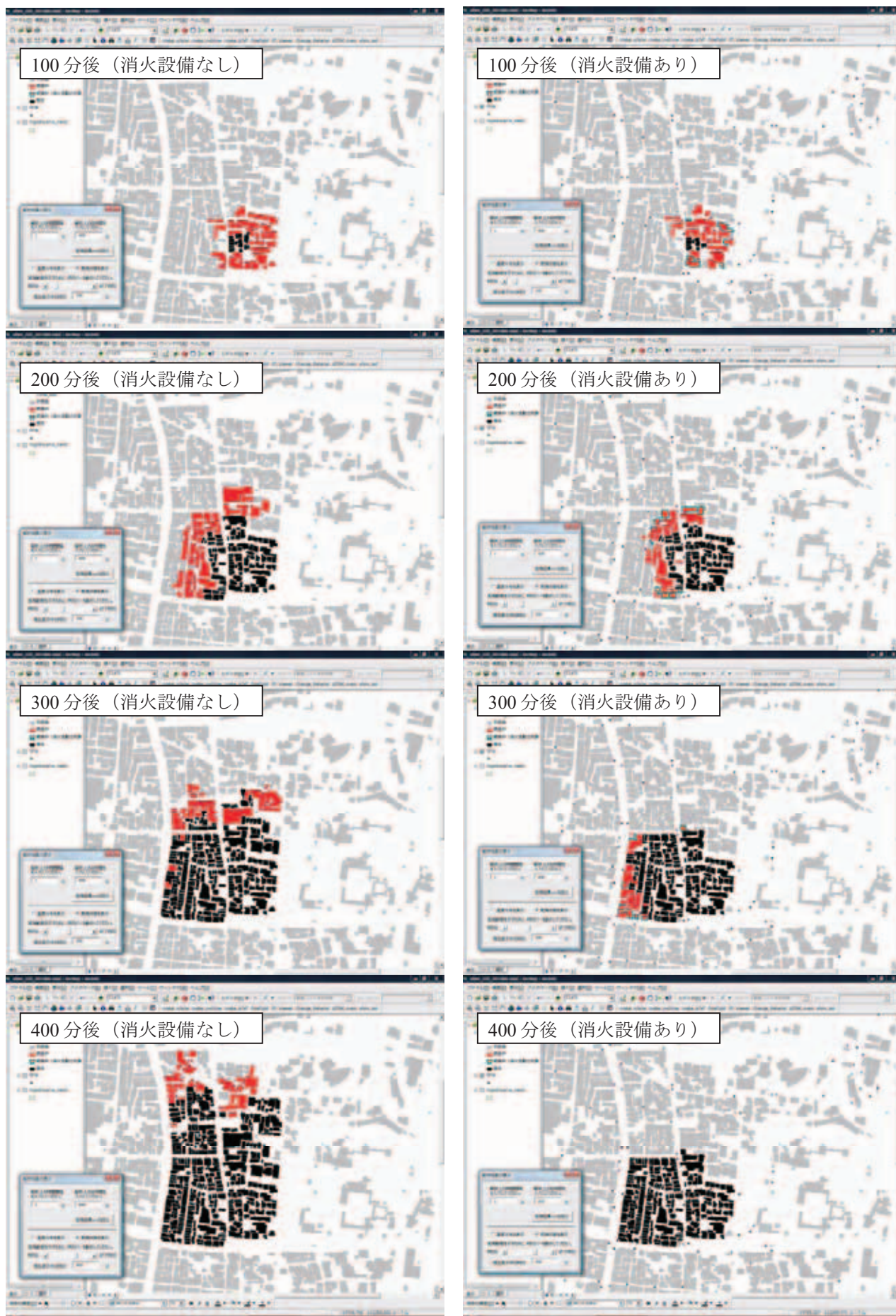


図7 消火設備が機能したかどうかによる延焼動態の比較 (■ : 燃え尽き、■ : 燃焼中、■ : 未燃焼、■ : 消火中)

本消火活動モデルでは、1) 火災建物と同じ位置で、出火から15分後に出火が覚知される、2) 覚知した者が2m/秒で放水設備設置箇所へ移動する、3) 覚知した者が放水設備を消防水利位置まで移動させる、4) ポンプを起動し、5) ホースを延伸することで消火活動が可能となる、という流れで消火活動の評価している。なお、本消火活動モデルでは、熱気流の温度が外気温より10度以上高いエリアでは消火活動を行うことができないと設定しているが、今回の運用では風速0を仮定しているので、気流の影響は働かず、消火活動への支障は発生しなかった。

消火設備が全く機能しなかった場合と機能した場合の延焼動態を比較すると、図7のとおりとなる。消火設備が機能した場合の延焼動態図では、消火活動の対象となっている建物を確認することができ、消火活動の結果、延焼抑止効果が現れていることが見てとれる。

出火点を変えて、解析を行うことで、地域の中で延焼リスクの高いエリアを抽出することができ、消火設備の配置や消火能力（貯水量や放水速度など）の条件を変えて、解析を行うことで、延焼リスクの低減を図る消火設備の最適配置や最適消火能力を検討することができる。

5. 今後の活用に向けて

本評価支援システムは、部材スケールの条件を変更して延焼予測を行うことができるモデルを採用していることにより、部材の改変レベルに至る肌理細やかな防災対策を評価することができる点に特徴がある。

加えて、消防水利と放水設備の消火能力、各設備の位置から計算した消防活動可能時刻および、延焼状況から導出した消防活動可能エリアを考慮することのできる消火活動モデルを採用していることにより、より実態に応じた消火活動を再現することが可能となった。これを用いて、消火設備の整備内容を評価することができる。

本稿における試験的運用の事例では、建物部材の変更と消火能力の評価を個々に検証したが、実際の市街地に対しては、これらの両者を組み合わせて、より有効な防災対策の検討を行うことができる。

こうした特徴を活かして今後は、歴史的市街地をもつ具体地域を選定し、延焼動態の計算結果を提示することで、本評価支援システムを地域の行政・消防担当者と地域住民をつなぐコミュニケーションツールとして活用しながら、地域特性に合わせた有効な防災対策の検討・提案を行っていきたい。

さらに、地域の人々の防災意識や日ごろの地域の連携状況などに応じて、地域の消火活動能力を評価する手法を検討し、適切な防災対策の促進とともに、共助・互助の観点から地域防災力の醸成を支援するツールとしても活用できるシステム作りを目指したい。

本研究では、ある単一の出火点からの出火による延焼危険性の評価を行っているが、延焼リスクという観点から、ランダムに抽出した建物からの出火パターンの延焼動態を平均して、地区の延焼リスクを算出し、これをもとに、各種対策が地区の延焼リスク低減にもたらす影響を定量的に評価することが可能となるよう、インターフェースの改善を進めたい。

参考文献

- 1) 樋本・田中：都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発，日本建築学会環境系論文集，No.607，pp.15-22，2006.
- 2) 横山・樋本・田中：GISを用いた市街地火災延焼リスク評価システムの入出力データ管理手法に関する検討，歴史都市防災論文集，Vol.3，pp.211-216，2009.
- 3) 樋本・田中：消火活動を考慮した酒田市大火の火災延焼シミュレーション，日本建築学会大会学術講演梗概集，2007.
- 4) 樋本・田中：延焼シミュレーションに基づく高山市三町伝建地区の防火性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004
- 5) 大浦・樋本・田中：酒田市大火の延焼性状シミュレーション～物理的延焼性状予測モデルの検証～，日本建築学会大会学術講演梗概集，2005
- 6) 秋元・樋本・北後・田中：延焼シミュレーションを用いた火災安全対策に関する基礎的検討－和歌山県湯浅町湯浅伝建地区におけるケーススタディー，日本建築学会大会学術講演梗概集，2007