

機関番号：33302

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360279

研究課題名 (和文) 木造密集市街地における延焼シミュレーションの活用と防火対策

研究課題名 (英文) Research on the Spread of a Large-scale Fire by Computer Simulation in Urban Areas

研究代表者

増田 達男 (MASUTA TATSUO)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：70125095

研究成果の概要 (和文)：全国の自治体への普及が望まれている「市街地火災シミュレーションプログラム」を典型的な金沢の木造密集市街地に適用した研究である。併せて「避難シミュレーションプログラム」も適用した。その結果、対象地域において、延焼の危険範囲を明らかにするとともに、建物の壁面および開口部の防火性能向上、塀および樹木による延焼の遮蔽、防火造建築の配置による延焼の遮蔽等の防火対策を提案するとともに、それぞれの効果を検証した。また、避難については、延焼時における大通りの混雑、高齢者・身障者におけるタンカ搬送の困難、避難者同士の衝突問題等を明らかにし、避難誘導のあり方について検討した。

研究成果の概要 (英文)：This research presents an analysis by the computer simulation of the state-of-the-art technology on the spread of a large-scale fire in urban areas. This simulation model was developed for the improvement of fire prevention measures by local governments in Japan. Our research has revealed that there are dangerous zones against the spread of a large-scale fire in our target area. Consequently, we have proposed the fire prevention and inhabitant evacuation measures for the dangerous zones.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	8,300,000	2,490,000	10,790,000

研究分野：都市空間情報

科研費の分科・細目：建築学・都市計画・建築計画

キーワード：大火 延焼 シミュレーション 木造密集市街地 金沢 防火 避難

1. 研究開始当初の背景

近代消防の発達により市街地での大規模火災は少なくなっているものの、全国の木造密集市街地では、地震時や強風時における最悪の事態を想定する必要がある。近年、大がかりな実験装置を必要としない、後述するコンピュータ用の「市街地火災シミュレーション・プログラム」が開発されている。将来的には、広く全国の自治体への普及を目指して

いるものである。

2. 研究の目的

国土技術政策総合研究所および(独立行政法人)建築研究所が共同で開発した「市街地火災シミュレーションプログラム」を、木造密集市街地に適用し、延焼の危険性を予測して、有効な防火対策を導き出そうとする研究である。典型的な木造密集地を残す金沢市の

中心市街地を対象とし、とりわけ防火対策の困難な重要伝統的建造物群保存地区も含めている。また、「避難シミュレーション」により避難誘導のあり方について検討する。

3. 研究の方法

「市街地火災シミュレーションプログラム」に使用する実際の市街地の空間データは、GIS（地理情報システム）の市街地図から建物の平面座標を取得し、建物の高さおよび開口部の寸法については、現地において実測している。

また、建物の標準的な寸法を用いた実験モデルを設定してシミュレーションを行った。複雑な市街地の建築空間状況にまどわされず、解析を正確に進めることができることが第一の理由である。また、立案した防火対策の空間データを適用する際に、容易に設定変更が可能であるためでもある。

4. 研究成果

(1) 茶屋街の延焼

茶屋街の空間データによりシミュレーションを行った。中心から出火した場合（図1）、消防による消火ができなかった場合を想定すると、147分ですべての茶屋建築に延焼する。

茶屋街から離れた位置で出火した場合は、茶屋街に延焼が達するまでに火勢が増していると考えられる。しかしながら、茶屋街の端部に延焼が達してから茶屋街全域に燃え移るまでに170分経過した。これは、茶屋街の中心から端部までの距離の方が、茶屋街の端部から端部までの距離より短いためである。したがって、茶屋街の中で出火・延焼した場合が、やはり不利であることになる。



図1 ひがし茶屋街の延焼シミュレーション

(2) 火勢の増大

延焼によって複数の建物が焼ける場合、その範囲が広がるにつれ火の勢いは増すことを、茶屋街のモデルによって検証した。シミュレーション（図2）の結果、火災発生後9分で隣家にまず延焼する。ここでの燃焼中の建物は3棟に増えている。すると8分間で次の隣家へ延焼する。すなわち、延焼時間は1分早くなっている。さらに燃焼が7棟に広がると6分間で次に延焼する。したがって、延

焼時間は2分早まっている。このようにモデルによる実験シミュレーションでは、燃焼中の建物が増えるほど火勢は増している。やはり、延焼はできるだけ早い段階でくい止める必要がある。



図2 モデルによる火勢の影響

(3) 正面開口部の防火

茶屋建築正面は、1階が木製の格子であり、2階が木製雨戸であるため、延焼には脆弱である。1階の格子には内側にガラス戸が入っている。これを網入ガラスに替えることは可能である。2階の雨戸も内側に網入ガラスの入った建具等を入れることは可能であろう。

そこで、茶屋街のモデルにより火災発生建物の向かい家に乙種防火戸（網入ガラス入り）を設置した場合を想定した。乙種防火戸の効果を見るためにモデルを防火木造とした（裸木造では壁自体へ延焼するためである）。なお、建築基準法においては、木造建築でも外壁の土塗壁の状態によって防火構造と認められる場合がある。ここでは茶屋建築にも一定の防火性能があるものと想定する。まず2階正面の開口部のみ乙種防火戸とした。その結果、普通ガラスでは17分で延焼するところを20分に遅らせることができた。すなわち3分の遅延効果がある。ところが、1階の開口部のみを乙種防火戸とした場合はまったく遅延効果は得られなかった。また、1・2階ともに乙種防火戸とした場合は、ついに完全に延焼を妨げることができた。茶屋建築の正面外観を損なうことなく防火する手法のひとつである。

実際の茶屋街空間データによるシミュレーションでは、1階・2階ともに従来どおりの木製建具を使用した場合には、茶屋街全域の延焼時間が176分であった（開口部の性能を見るため建物は防火木造とした）。1階のみに乙種防火戸（網入ガラス）を施した場合は、279分となった。2階のみに乙種防火戸を施した場合には、298分となった。さらに1階・2階ともに乙種防火戸を用いた場合には、502分となった。したがって、1階のみに乙種防火戸を用いるよりも、2階のみに乙種防火戸を用いた場合の方が効率的であることになる。炎は上に向かって燃え移るからである。そして1階と2階に乙種防火戸を設置した場合は効果が絶大となる。

(4) 隣家間の耐火壁

茶屋建築は町家の一種であり、隣家と壁を接している。そのため、火災発生後9分で隣

家に延焼する。朝のラッシュアワー等に消防の到着が間に合わない場合も起こりうる。ここでは隣家間の側面に 10 cm 厚の耐火壁を挿入した場合を想定している。シミュレーション上では建物とは切り離して耐火塀（壁）を建てた。プログラム上、塀は建物との距離が 1.5m 以内で無効果の動作を示す。したがって、ここでは、耐火塀を建物から 1.5m 以上の距離とするため、隣家間との距離を 3.3m とした（図 3）。つまり、建物と耐火塀（10 cm 厚）との距離をそれぞれ 1.6m とっている。なお、側壁は茶屋街としての景観には影響しない。建物の構造は裸木造とした。シミュレーションの結果、耐火塀を挿入しない場合は火災発生後 12 分で隣家に燃え移る。しかし、耐火塀（耐火壁）を挿入すると 16 分で延焼する（図 4）。4 分間の遅延効果がある。隣家間との距離の効果を引きくと 1 分間の遅延効果となる。1 分の遅延は長いとはいえないが、延焼戸数が増えれば累積される。



図 3 隣家間距離

図 4 挿入大火壁

図 5 コンクリート塀

(5) 後庭のコンクリート塀

後庭（「せど」）の裏界線（背割線）上にコンクリート塀を建てた場合の効果も茶屋街モデルで見ると、後庭は、茶屋街の町並みからは見えない位置である。コンクリート塀（高さ 2 m、10 cm 厚）を建てた場合には、遅延効果は認められない。建物が高さ 6 m であるため、高さ 2 m のコンクリート塀では火災を遮ることができないためである。

コンクリート塀の高さを 2.5 m とした場合、裏家（後庭側）の 1 階開口部（普通ガラス）を火災から遮蔽できるかについて試みた（図 5）。そのため、裏家を防火構造とし 2 階の開口部は乙種防火戸（網入ガラス）とした。シミュレーションでは、20 分経過した時点で延焼した。3 分の遅延効果があることになる。

(6) 後庭の緑樹帯

同じく町並みからは見えない後庭に、高さ 6 m、幅 3 m、透過率 0.5 の緑樹帯を配置した。通常の庭木の配置を想定したものだが、このモデルでは簡便に生垣の体裁とした。火災発生後 17 分で向家に延焼している。しかし、裏家には延焼していない。21 分の経過で裏家に延焼する（図 6）。21 分 - 17 分 = 4 分の遅延効果がある。消防の到着までに 4 分の遅延効果は大であるといえよう。

(7) 後庭の土蔵

後庭に 2 階建（高さ 6 m）の土蔵（準耐火）を配置した場合である（図 7）。実際にも土蔵は後部に配置されるのが一般的である。茶屋街モデルによるシミュレーションの結果、26 分で裏家に燃え移るので、実に 9 分の遅延効果がある。

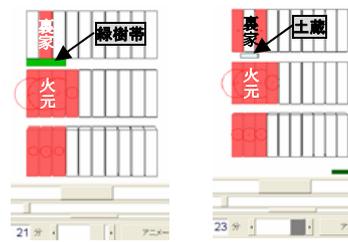


図 6 隣家間距離

図 7 RC 塀

(8) 防火構造の配置による効果

茶屋建築は基本的に裸木造である。これらすべてに防火対策を施すことは現実的ではない。そこで、防火構造建築を都市計画的に配置する効果について市街地空間データによりシミュレーションを試みた。火元は茶屋街から離れた位置とした。まず、現況では、全域の焼失時間が 231 分となった。次に茶屋街端部の建物だけに防火構造を配した場合は、273 分となった（図 8）。さらに防火構造を増やした場合（図 9）は、282 分となった。さらに非現実的ながらひとつ置きに防火構造を配置した場合は、314 分となった。すなわち、無闇に防火構造を増やしても非効率であり、効果的な配置方法が重要である。



図 8 防火造の配置①



図 9 防火造の配置②

(9) 火除空地の配置

城下町時代においては火除地が設置されたが、ここでも同様の概念で火除空地の配置を試みた。出火点は茶屋街の端点から 50m 程度離れた家屋とし、茶屋街中心部から 8 方位に設定した。出火点からの延焼速度が 49.7 m/h と最も速い範囲が見つかった。そこで茶屋街に隣接した位置に火除空地を設けてシミュレーションを行った。その結果、火除空地を設けない場合の 58 分 (49.7 m/h) に対し、77 分 (37.4 m/h) となった。すなわち、19 分の遅延効果が得られた。

(10) 菊川地区

典型市街地である菊川地区の市街地空間データを用いたシミュレーションにおいて、火災発生後 120 分の状態を示す（図 10）。消防活動が行えない最悪の事態では、さらに延

焼範囲が広がることになる。



図 10 延焼危険箇所



図 11 特別消防対策地域

(11) 平均開口率の自動生成

「市街地火災シミュレーションプログラム」では、将来的に自治体において簡便に使用できるように、「平均開口率」の自動生成機能が組み込まれている。これにより、プログラムに平均開口率を与えるだけで、すべての建物の各壁面に開口部が自動生成される。空間データ作成時に大幅な省力化をはかることができる。ここでは、現地における開口部の計測結果と比較して、この開口部自動生成機能によるシミュレーションが近似的であるか否かについて、その妥当性を検証した。対象地区は「菊川地区」の特別消防対策地域（186戸）である（図 11）。

(12) 「平均開口率」によるシミュレーションの妥当性

開口部の実測調査は、菊川地区全域に対しては調査能力上困難だったので、特別消防対策地域の 186 戸を対象とした。平均開口率は、この開口面積を平均化した 16%を採用している。平均開口率の妥当性について実測の開口値と平均開口率におけるシミュレーション結果を比較した。発火点は、5 つの地点とした（図 12）。その結果、すべての発火点において、平均開口率を用いた場合の延焼時間が短くなった（表 1）。また延焼の経緯（火災の広がり方）についてもそれぞれ大きな差がみられた。



図 12 発火点の位置

表 1 延焼時間の比較

	実測値	平均開口率 (16%)
中央	397	307
北側	652	498
南側	767	446
西側	530	384
東側	569	321

平均開口率の自動生成では、建物のすべての壁面に開口部が作られてしまうことが原因であることをつきとめた。実際には開口部のない壁面を持つ建物が多く存在する。

これを踏まえて、平均開口率を用いる場合にも、同時に開口部のない壁面を空間データに組み込むこととした。その結果、実測開口値と平均開口率の場合の延焼時間をかなり近似させることができた（表 2）。

(13) 足軽屋敷の家並

菊川地区は、城下町時代（江戸時代）に足軽が集団居住した土地柄である。当時の足軽屋敷を想定し、平屋・裸木造のモデルを作成した。高さ 3 m、間口 8 m、奥行 12m である。隣家間との距離は 2 m である。道路幅員は 3 m、前庭奥行は 3 m で、向家との距離は 9 m である。裏家との距離は 14m である。

表 2 調整後の比較

	実測値	平均開口率
中央	397	458
北側	652	676
南側	767	953
西側	530	552
東側	569	567

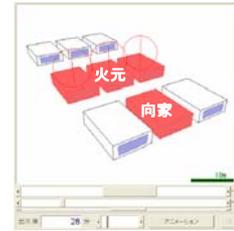


図 13 足軽居住地の延焼

(14) 足軽居住地の延焼

モデルのシミュレーションでは、火災発生後 10 分で隣家に延焼した。28 分で向家に延焼した（図 13）。しかし、裏家には延焼せず、火元としての建物は 56 分で焼け落ちた。城下町時代においても、後庭空間による防火を経験上、考慮したのかも知れない。

(15) 足軽居住地における生垣の効果

当時、前庭には道路境界線内に生垣が配された。ここでは、生垣の高さを 2 m、60 cm 厚、透過率 0.5 とした。ただし、これでは遅延効果はなかった。裸木造の高さが 3 m あって遮られないからである。

(16) 足軽居住地における前庭の効果

そこで、生垣の高さを 3 m にすると効果は絶大であった（図 14）。すなわち、火元の建物は 56 分で焼け落ち、この間、延焼しなかった。当時も前庭には樹木が植えられたため、その効果は少なからずあったものと推察される。ここにも当時の配慮をうかがうことができる。

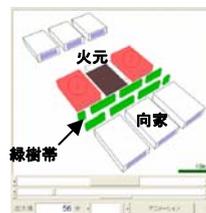


図 14 生垣・前庭の効果

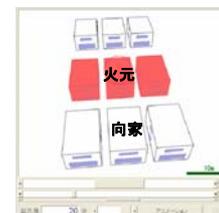


図 15 防火戸の効果

(17) 下級武士系（足軽系）近代住宅の家並

明治以降は足軽屋敷を祖型とする下級武士系（足軽系）の近代住宅が市中に多く建てられた。当地区にも多くの遺構が存在する。この下級武士系住宅を想定して 2 階建の防火造モデルを作成した。隣家の開口部への延焼を検討するためである。すなわち、隣家の

側面開口部が普通ガラスの場合は 17 分で延焼する。隣家の側面開口部が 1・2 階ともに乙種防火戸（網入ガラス）の場合は 31 分 - 17 分 = 14 分の遅延効果がある。隣家の側面開口部を 2 階のみ乙種防火戸とした場合は 20 分 - 17 分 = 3 分の遅延効果がある（図 15）。さらに隣家の側面開口部を 1・2 階ともに甲種防火戸とした場合は 45 分 - 17 分 = 28 分の遅延効果がある。すなわち、隣家側に開口部を設けない場合は絶大な遅延効果が得られることになる。

(18) 耐火構造建築の配置

菊川地区における延焼危険箇所では、木造家屋が密集するとともに、付近に耐火構造や大きな空地が存在していない。そこで、耐火構造の配置効果をシミュレーション上で観察した。耐火構造建築への建て替えは費用負担が大となるので、如何に少数で効果を得るかが課題となる。ここでは、4 つの配置パターンを試みた（図 16～19）。



図 16 耐火造配置①

図 17 耐火造配置②

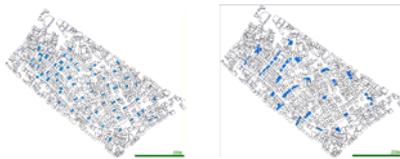


図 18 耐火造配置③

図 19 連棟配置

最も延焼が広がりやすい地区の西端付近を発火点とした。現状では、火災発生から 240 分で 92 戸に延焼した。耐火構造建築 17 戸をランダムに配置すると、240 分で 63 戸に延焼した（図 16）。耐火構造建築 34 戸をランダムに配置すると、結果は 57 戸となった（図 17）。耐火構造建築 75 戸をランダムに配置すると、結果は 51 戸となった（図 18）。耐火構造建築 73 戸を意識的に連棟配置すると、結果は 58 戸となった（図 19）。ただし、延焼はくい止められた。以上のように、無闇に耐火構造建築を増やしても非効率であり、少数でも効果が認められた。かつ連棟配置等、並べ方の工夫が肝要であった。

(19) 避難シミュレーションとその背景

菊川地区の避難場所は地区境界周辺に 2 つの小学校と 1 つの高等学校の 3 カ所が指定されている。災害時に他地区から避難してくる人々や、高齢者の避難の困難についても配慮すべきである。ここでは避難シミュレーションにより、災害時の避難行動を把握した。

(20) 避難シミュレーションの条件設定

設定した条件は、3 点である。地区外の人口を考慮した点、高齢者の避難観察のため幼稚園を老人施設に置き換えた点、避難場所の小学校 1 つが被災したと仮定した点である。避難場所の小学校から避難する人々と小学校へ避難してくる人々の接触等も予測された。

(21) シナリオごとによる検証

ケース 1：対象地区外の人口を考慮。結果として、小学校への避難者が多すぎて、大通りにおいても渋滞が発生した。災害時には建物の倒壊等で道幅が狭くなるので、大通りに避難者が集中するのは当然である。

ケース 2：幼稚園を老人施設と設定し、独歩可能者は 0.5m/s、歩行困難者は、近隣の住民が背負って避難する。結果として、高齢者・障害者は、自力での避難者は少ないため、協力者が最低 2 人は必要である。日中や平日に災害が発生した場合、仕事等で出払っている可能性もある。避難者で混雑している最中に、タンカでの搬送はより一層の避難時間を要するだろうし、タンカの保管場所等の検討も必要である（図 20・図 21）。

ケース 3：避難場所である小学校のうち 1 校が利用できない（一旦、小学校へ向かうが、使用できないため、2 分後、別の避難場所へ避難を開始する。また、小学校からの避難も発生する）。

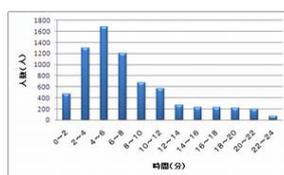


図 20 避難時間と避難者数(ケース2)



図 21 最大歩行者密度(ケース2)

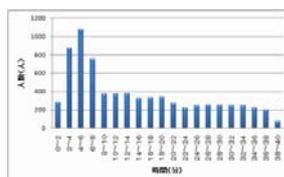


図 22 避難時間と避難者数(ケース3)



図 23 最大歩行者密度(ケース3)

ここで問題となるのは、小学校に避難を始めた避難者と、先に避難して避難場所として使用できないと知った人が、衝突してしまう問題が挙げられる。また、子供が避難場所にいると思う親が、反対方向に走る可能性もある（図 22・図 23）。

(22) 避難シミュレーションの全体考察

これまで(平成 20～21 年度)の研究では、すべてのシナリオが研究対象地区内だけを考慮しており、地区外は考慮していなかった。

また、避難者はスピードの差はあれ、すべて自力で避難できると設定していた。その結果、避難場所周辺での混雑が予想されることと、情報が間違った場合に問題が生じることはあるものの、避難は比較的速やかに治まった。火災の延焼スピードに比較して大きな問題を発生させる程度のものではなかった。

しかし現実にはさまざまな予期せざる事態が生じることが指摘されており、それに対して今年度はいかに適切なシミュレーションを行うことができるかに主眼を置いた。

その結果、以下のような知見が得られた。

- ① 避難は周到な計画が必要であり、いかに正確な情報を与えるかがきわめて重要である。
- ② その計画に基づき繰り返し避難訓練を行って問題点を把握し、計画を修正するということも求められる。
- ③ 高齢者や身障者に対しては誰がどのように避難の手助けを行うのかを決めておき用具も準備しておかないと、実際には避難出来ないことも十分に考えられる。
- ④ 避難所は混雑が予測されるため1次避難所、2次避難所という具合に段階的に避難することを検討すべきである。
- ⑤ 避難は災害の種類によって異なるため、避難場所も複数用意することが望まれる。

(23) 国内外における位置づけとインパクト

国内においては、シミュレーションプログラムを全国の自治体へ普及するため、当研究成果に基づいて「活用マニュアル」を建築研究所と共同で作成中である。国外では同様のシミュレーションはほとんど行われておらず、韓国や中国の研究者が強い関心を示しており、すでに研究交流を進めている。

(24) 今後の展望

火の粉による延焼が新たにシミュレーションに組込まれており、さらに建物内部の火災性状シミュレーションを加え、よりリアルで詳細な解析が可能になる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

T. Masuta, A. Tani, S. Nagano, Y. Shimokawa, Research on the spread of a large-scale fire by computer simulation in Kanazawa city —The fire prevention measures for Higashi chaya area as a typical conservation district of Kanazawa, 23rd congress of the association of European schools of planning, 簡易査読有, 2009, pp.125-126

〔学会発表〕(計9件)

- ① 増田達男、永野紳一郎、金沢市の歴史地区における延焼シミュレーションの適用、日本火災学会研究発表会、2011年5月17日、東京都・東京理科大学森戸記念館
- ② 増田達男、永野紳一郎、金沢市の木造密集市街地における延焼シミュレーションの適用、日本建築学会大会学術講演、2011年8月24日、掲載決定
- ③ 増田達男、永野紳一郎、金沢市の木造密集市街地における延焼シミュレーションの適用、日本火災学会研究発表会、2010年5月17日、北海道・北海道大学学術交流会館
- ④ 増田達男、永野紳一郎、延焼シミュレーションによる金沢における木造家屋群から寺院群への延焼時間の分析、日本火災学会研究発表会、2010年5月17日、北海道・北海道大学学術交流会館
- ⑤ 増田達男、永野紳一郎、金沢市の木造密集市街地における延焼シミュレーションの適用、日本建築学会大会学術講演、2010年9月11日、富山県・富山大学
- ⑥ 増田達男、永野紳一郎、林吉彦、仁井大策、金沢市の防災重点地区における延焼シミュレーションの適用 —平均開口率の検討と防火手法の比較—、日本建築学会北陸支部大会学術講演、2009年7月12日、富山県・富山大学
- ⑦ 増田達男、永野紳一郎、林吉彦、仁井大策、金沢市の防災重点地区における延焼シミュレーションの適用 —平均開口率の検討と防火手法の比較—、日本建築学会大会学術講演、2009年8月29日、宮城県・東北学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増田 達男 (MASUTA TATSUO)
金沢工業大学・環境・建築学部・教授
研究者番号：70125095

(2) 研究分担者

谷 明彦 (TANI AKIHIKO)
金沢工業大学・環境・建築学部・教授
研究者番号：80308577
永野 紳一郎 (NAGANO SHINITIRO)
金沢工業大学・環境・建築学部・教授
研究者番号：40329371