

火災延焼からみた木造密集市街地改善プログラムの 評価手法とその適用性に関する研究

Study on evaluation and application method for urban improvement program
in congested wooden building zone through the spread of fire

齋藤 正俊¹, 熊谷 良雄², 糸井川 栄一³

Masatoshi SAITOH¹, Yoshio KUMAGAI² and Eiichi ITOIGAWA³

¹日本電気株式会社 社公共システム事業部

NEC Corporation

²筑波大学 社会工学系

Institute of Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba

³建設省建築研究所 第六研究部 都市防災情報研究室

Building Research Institute, Ministry of Construction

After the Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, the fire spreading risk in congested wooden building zone has been widely recognized. There was no simple index, however, to evaluate the fire spreading risk and the effect of urban improvement program toward fireproof zone.

This paper aimed to introduce two indexes of "Fire-proof Index" and "Average Distance between Buildings" for the evaluation. These two indexes were chosen in reference of the fireproofing projects in Tokyo. The actual values of the indexes were measured on the Geographic Information System of Tokyo. Then multiple regression analysis was applied to evaluate the indexes using the fire spreading simulation system.

Key Words : Congested wooden building zone, Spreading fire, Urban improvement program, Fireproof zone.

1. 研究の背景と目的

(1) 木造密集市街地の整備・改善について

木造密集市街地での延焼火災に対する危険性は、阪神・淡路大震災以後改めて認識されている。東京都では阪神・淡路大震災を契機に、それまで策定していた「都市防災施設基本計画－防災生活圏の形成－¹⁾」を強化し、23区と多摩地域8市の既成市街地を対象に、平成8年3月に「防災都市づくり推進計画〈基本計画〉²⁾」を、平成9年3月に「同〈整備計画〉³⁾」を策定した。この計画の骨子は、「既成市街地を対象に延焼遮断帯によって防災生活圏を構成し、防災生活圏を基本的なまちづくりの単位として、防災の観点から市街地整備の優先度を位置づけ、地域の特性に応じて、防災性の向上に資する延焼遮断帯の整備や面的な市街地の整備を推進する²⁾」というものである。具体的には、市街地を火災延焼の危険性に基づいてグルーピングし、震災時に大きな被害が予想される25の「重点整備地域」に対して「木造住宅密集地域整備プログラム」を策定・実施しようというものである。さらに、「重点整備地域」の中でも特に緊急を要するものとして、11の「重点地区」を指定している。

以上のような木造密集市街地における整備計画を策定・実施する上で、施策の効果を客観的かつ定量的に評価することは必要不可欠なものである。

(2) 延焼危険性を示す指標

市街地の延焼危険性を示す指標はこれまでに数多く提案されているが、近年の代表的なものとしては、1977～1981年に行われた建設省総合技術開発プロジェクト「都市防火対策手法の開発⁴⁾」において提案された「不燃領域率」が挙げられ、阪神・淡路大震災以降、前述のような整備計画の目標設定や効果測定に、しばしば用いられてきた。

しかしながら「不燃領域率」は約20年前に開発されたものであり、現在の市街地の実情を十分反映しているとは言えない上、以下のような問題も指摘されている。

- ①100ha前後という比較的大規模な地域の延焼力を示す指標であり、数ha～数10haのいわゆる「防災まちづくり」のための指標ではない。
- ②ある程度密集した市街地を前提としているため、敷地単位のネット建蔽率を組み込んでおらず、一般的な市街地密度の概念に沿っていない。

(3) 市街地延焼理論の詳細化

一方で、市街地延焼性状の詳細な解明も進められている。この分野では、実験的な方法論が極めてとりにくいため、主に計算機シミュレーションにより研究が進められている。近年の計算機の大幅な進歩により扱うことができる情報量が飛躍的に増え、延焼理論は飛躍的に進歩している^{5), 6), 7)}。

しかしながら、このような研究成果を実際の現場において活用しようとする場合、必要となるデータは多岐にわたり膨大かつ詳細なものであり、また人的側面から見ても、理論・操作の両面において高度な知識が要求される。そのため施策レベルでこれらの研究成果をフィードバックすることが困難であるといえる。

(4) 本研究の目的

以上の背景を基にして本研究では、木造密集市街地の改善のために市街地の延焼性状を評価する新たな指標の提案を行い、その妥当性と適用性を検証することを目的とする。この指標は、延焼遮断帯として機能すると考えられる広幅員道路等によって囲まれた比較的狭い領域を対象とするものであり、「不燃領域率」で扱われた市街地単位よりもさらにミクロな領域を扱おうとするものである。また、計画を策定するレベルにおいて、比較的簡便に利用できるものを目指すこととする。

2. 研究の流れ

本研究の流れを、図1に示す。

3, 4章では、東京都の「防災都市づくり推進計画<整備計画>」³⁾から計画内容の抽出・整理を行ない、研究対象地区と研究対象事業を決定する。その上で計画内容の精度に応じた評価指標の構築を行なう。

つぎに、5章で、実際の市街地データを基に評価指標の定量的計測を行なう。この際、東京都が構築したGISデータ基盤である「東京都都市計画地図情報システム」⁴⁾を利用する。

最後に東京都における延焼危険度算定に用いられている市街地延焼シミュレーション⁷⁾を用いて、提案した評価指標の妥当性・適用性を6章で検証する。さらにそれらの指標を用いて市街地難燃性能を表す評価モデルの構築を行なう。

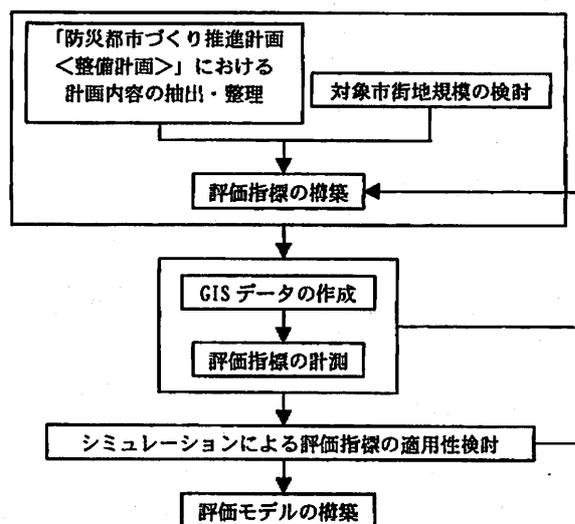


図1 本研究の流れ

3. 研究対象地区

(1) 対象地区の選定

本研究の対象地区の条件としては、以下のような条件が指摘できよう。

- ① 延焼火災に対して危険度が高いと考えられる、木造密集市街地であること。
- ② その地区に関して比較的詳細な改善事業計画があること。

以上の条件を満たすものとして本研究では、「東京都の防災都市づくり推進計画^{2), 3)}」の中で特に整備の緊急性を要する「重点地区」として指定された11地区を対象とする。この重点地区においては、文章化された整備方針の他に、図面化された比較的詳細な整備計画が示されており、その利用価値は高いものと判断される。

(2) 対象地区の分割

対象地区のそれぞれの面積を見ると、約91ha~約376haとなっている。これは「不燃領域率」が対象としている100ha程度という規模を上回り、住民参加型で修復型が主体であるまちづくりを評価することは不可能である。そこで対象地区を細分化することとした。

各地区の整備計画を検討したところ、地区内の街路を対象とした、道路拡幅・沿道不燃化等による路線型の整備が存在することが分かった。そこで、そのような街路では将来的に“準延焼遮断帯”的な効果が期待できるものと仮定し、これを用いて地区の細分を行なった。また、それら街路に囲まれた領域が大規模な空地・公園・工場・水面等であった場合、それらを対象から除外した。

この結果、各重点地区は3から35に分割され、対象領域数は157となった。また、その面積は4,321.5㎡~502,008.6㎡となった。対象地区および各地区の細分化の状況を図2に示す。

4. 評価指標

(1) 評価対象項目

東京都の「防災都市づくり推進計画<整備計画>」³⁾における市街地の“あんこ”部分に対する計画内容を火災の延焼面から見ると、建物配置などの詳細は示されておらず、各種の計画内容は次の2点に集約される。

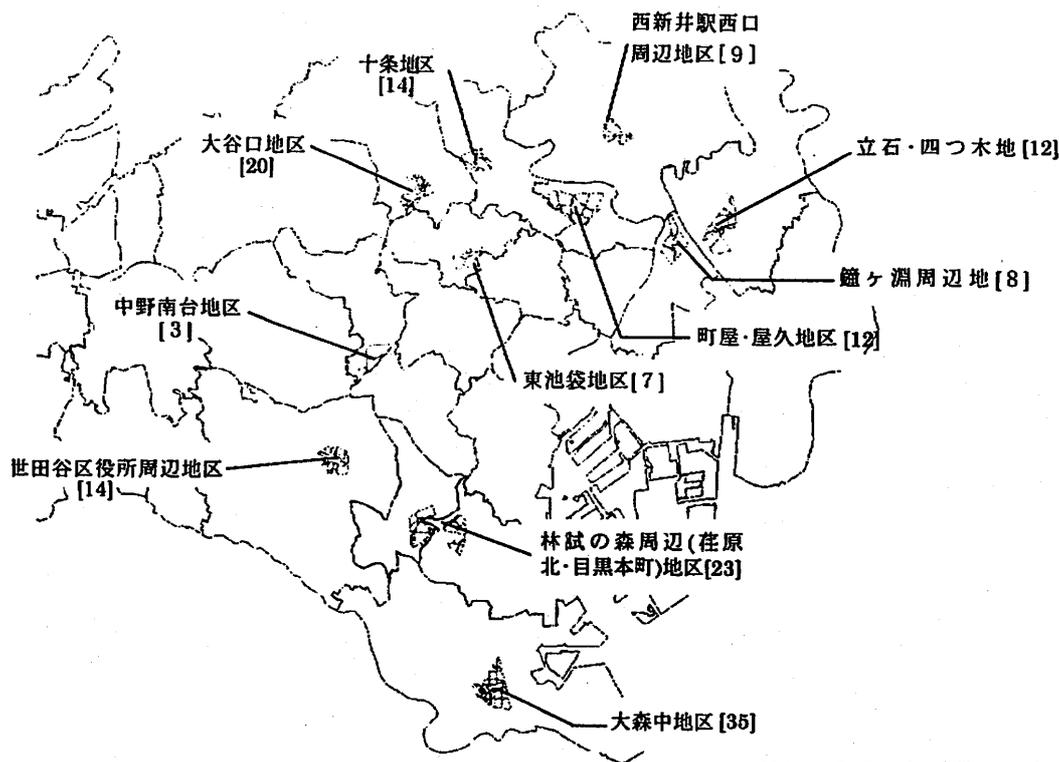
- ① 建築物の耐火化・不燃化
- ② セットバック・道路拡幅・空地確保等による建築物隣棟間隔の確保

したがって、評価すべき項目は

- ① 燃えるものの量→延焼に寄与する可燃物量
- ② 燃えるもの同士の距離→建築物の隣棟間隔であると言える。

(2) 評価指標

前項①②に対する評価指標として、本研究では以下の2指標を提案する。



注) []数字は領域数を示す

図2 対象地区の概要

a) 不燃化指数: α

不燃化指数: α は、単位面積当たりの不燃化を示す無次元の値であり、領域全てが木造建築である時「1」となり、他の構造が増加する、つまり不燃化が進むにつれて0.36 (=全耐火化) に近づく。

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^4 k_i s_i}{s_B}$$

$s_B = s_1 + s_2 + s_3 + s_4$: 総建築面積

$$k_1 = 0.36, k_2 = 0.64, k_3 = 0.71, k_4 = 1.00$$

- s_1 : 耐火造建築面積
- s_2 : 準耐火造建築面積
- s_3 : 防火造建築面積
- s_4 : 木造建築面積

b) 構造別補正済平均隣棟間隔: β

構造別補正済平均隣棟間隔: β は、補正によりすべての建築物を仮想的に木造建築物とし、領域内の建築面積以外をすべて空地面積と見なした上で各建築物間に距離として割り当てた値である。

$$\beta = \sum_{i=1}^4 l_i p_i \beta_0 \quad (m)$$

$$\beta_0 = \frac{\sqrt{s} - \sqrt{s_B}}{\sqrt{n} - 1}$$

$$n = a + b + c + d$$

$$p_1 = \frac{a}{n}, p_2 = \frac{b}{n}, p_3 = \frac{c}{n}, p_4 = \frac{d}{n}$$

$$l_1 = 2.25, l_2 = 2.16, l_3 = 2.08, l_4 = 1.00$$

- s : 領域面積, s_B : 総建築面積
- a : 耐火造棟数, b : 準耐火造棟数,
- c : 防火造棟数, d : 木造棟数

c) α, β の補正係数 (k_i, l_i) の設定

α, β の両指標 a , 補正係数である k_i および l_i は、東京消防庁の平成4年から9年までの火災統計を基に算出している。 K_i は構造別の部分焼拡大率を算出し木造 (k_4) を1、 l_i は構造別類焼火災発生率を算出し木造 (l_4) を1とした係数である。

5. GISによる計測

(1) 計測用データの作成

本研究では、基礎的なデータを「東京都都市計画地図情報システム⁸⁾」から得ている。

計測用データの作成手順は、以下の通りである。

- ① 3章の(2)において述べた重点地区の分割方法に従い、一般道路・高速道路・河川・鉄道の地上部の境界線を用いて各領域の境界をトレースし各領域のポリゴンを作成する。
- ② 使用するデータが含まれる図面の建物用途データに、作成したポリゴンを用いてローカス(地図上におけるフィルタ)を掛け、領域内の地図データ及び属性データを抽出する。

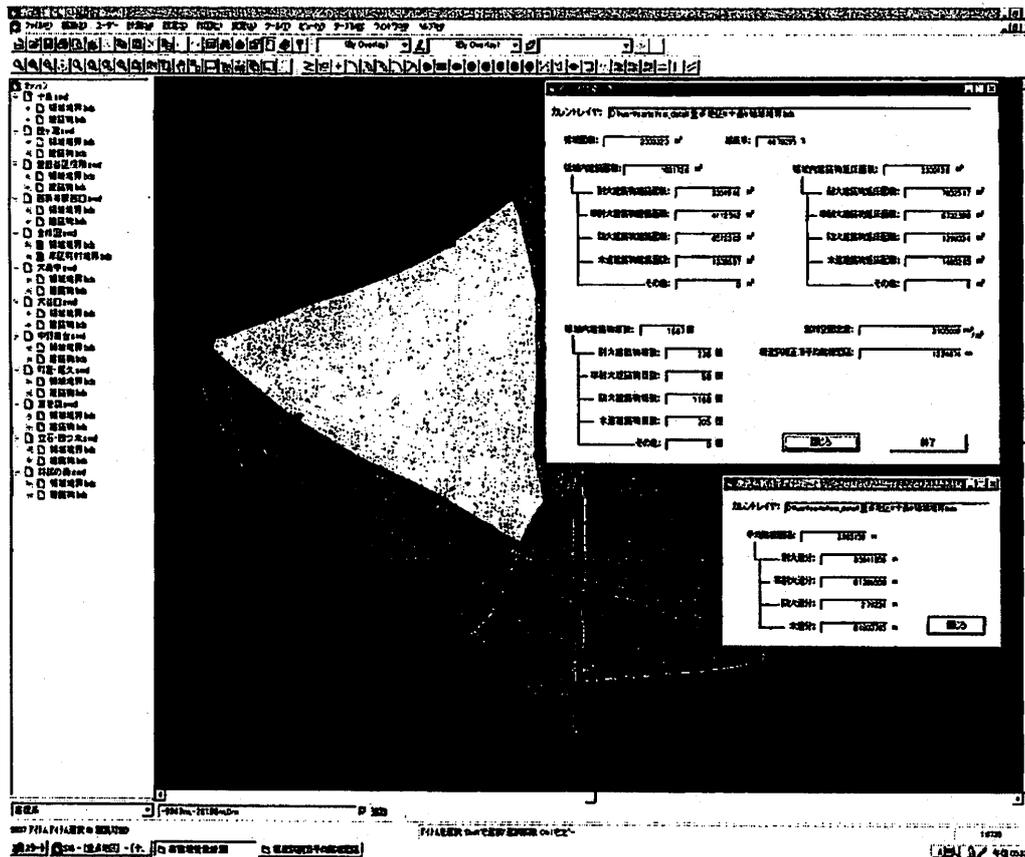


図3 計測画面

③ 重点地区が含まれる図画に対して、①、②を繰り返す。

(2) 計測プログラムの概要

本研究では、SIS上で作動するアプリケーションプログラムを作成し、計測を行なっている。プログラミング言語としてMicrosoft社の「Visual Basic Ver. 5.0」を使用し、SISで提供されるAPI(Application Program Interface)を利用したアプリケーションを作成した。

計測用GISデータに対して計測を行っている画面のスナップショットを図3に示す。

出火点数：面積に応じて1～20火点を配分
出火位置：領域全体をカバーするように均等間隔で出火

(2)分析結果

a) 不燃化指数： α

「不燃化指数： $\alpha (=x)$ 」と「出火1時間後平均延焼面積 y 」の散布図を図4に示す。図4を見ると、正の相関が見て取れる。そこで線形回帰を行なったところ、以下のような結果が得られた。

$$\text{回帰式: } y = -1.01 \times 10^3 + 5.73 \times 10^3 \alpha$$

$$\text{自由度調整済決定係数: } R^2 = 0.289$$

6. 分析結果

(1) 分析方法

本研究では、市街地の延焼危険性を領域内の「出火1時間後平均延焼面積」として測定し、この値により先に提案した「不燃化指数： α 」, 「構造別補正済平均隣棟間隔： β 」との関連性を検証する。

「出火後1時間後平均延焼面積」の測定にあたっては、東京都の地域危険度測定の中の延焼危険度に用いられる1棟単位の延焼シミュレーション・モデル⁷⁾を用いた。

シミュレーションの設定条件は以下の通りである。
風速：風向に対する任意性を持たせるため0 m/s

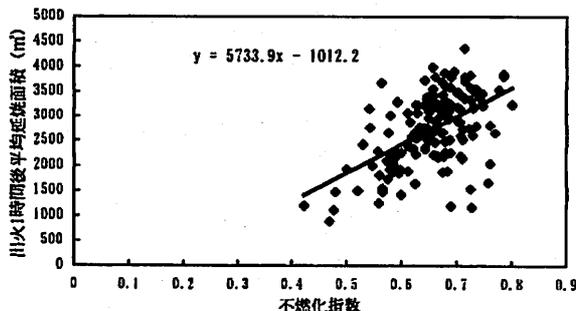


図4 不燃化指数の回帰直線

b) 構造別補正済平均隣棟間隔： β

「構造別補正済平均隣棟間隔： $\beta (=x)$ 」と「出火1時間後平均延焼面積 y 」の散布図を図5に示す。図5を見ると、曲線回帰が適切であると推測される。そこで曲線回帰を行なったところ、指数回帰が適切であると判断され、以下のような結果が得られた。

$$\text{回帰式： } y = 5.96 \times 10^3 \exp(-8.46 \times 10^{-2} \beta)$$

$$\text{自由度調整済決定係数： } R^2 = 0.648$$

単回帰でかなり良い決定係数が得られたことより、延焼火災において隣棟間隔が大きな影響を与えていることが結論づけられる。

(3) 2指標を用いた重回帰分析

重回帰分析を行なうに当たり、「不燃化指数： α 」と「構造別補正済平均隣棟間隔： β 」の多重共線性に関するチェックを行なった。回帰直線を求めたところ、相関係数は $R^2=0.237$ となった。そこで、多重共線性を起こすほどの相関ではないと判断し、重回帰分析を行なうこととした。

「不燃化指数： α 」と「構造別補正済平均隣棟間隔： β 」の2変数を用いて、強制投入法により重回帰分析を行なった。得られた重回帰式は次の通りである。

$$y = a_0 + a_1 \alpha + a_2 \exp(b\beta)$$

$$a_0 = -1.09 \times 10^3$$

$$a_1 = 2.21 \times 10^3$$

$$a_2 = 5.24 \times 10^3$$

$$b = -8.46 \times 10^{-2}$$

α ：不燃化指数 ($t = 4.05$)

β ：構造別補正済平均隣棟間隔 ($t = 13.73$)

y ：平均1時間当延焼面積

また、この重回帰式の自由度調整済決定係数は

$$R^2 = 0.68$$

であり、比較的高い値が得られたと言える。また、分散3以上の外れ値は存在しなかった。

理論値と実測値の分布を図6に示す。

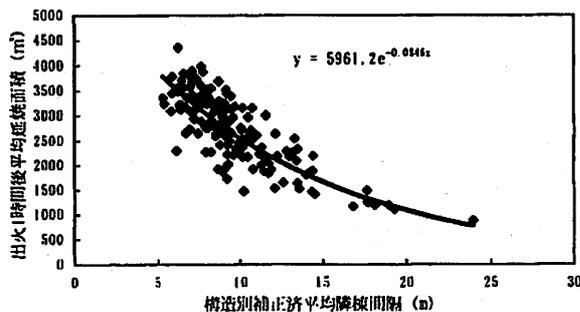


図5 構造別補正済平均隣棟間隔の回帰直線

7. 結論と今後の課題

(1) 本研究のまとめ

本研究では市街地の“あんこ”部分に対する改善計画を評価するための2つの指標、すなわち「不燃化指数： α 」および「構造別補正済平均隣棟間隔： β 」を導入し、シミュレーションによってその妥当性を検討した。また、その2指標を用いて、市街地の「出火1時間後平均延焼面積」に対する重回帰モデル式を構築した。構造別の補正係数・加害側建物構造の考慮等、今後解決すべき問題も多いが、基本的な方針は示すことができたと考える。

本研究で提案した評価式には、以下の特徴がある。

- ① 本研究で提案した重回帰モデル式の各パラメータは、全て容易に計測可能である。したがって、簡便に利用することが可能である。
- ② 本研究で提案した重回帰モデル式は、対象とする領域の面積・形状に依存しない。したがって、今後の展開により、実際のまちづくりの施策レベルにおいての応用が期待できる。

以上のことから、「市街地の延焼性状を評価する簡便な指標の開発」という当初の目標は、概ね達成できたと言えるであろう。

ただし、本研究において提案した評価式を利用する場合、以下の点に注意が必要であることを付け加えておく。

- ① この評価式が対象とする領域は、延焼遮断帯もしくはそれに準ずるもので囲まれた比較的狭い領域：“あんこ”部分である。したがって、領域内を延焼遮断帯が横切っている、あるいは大部分を空地が占めている領域などは対象とすべきではない。
- ② この評価式が対象としている計画は、「建築物の不燃化」と「道路拡幅を含む空地整備」という極めてミクロなものである。したがって大規模用途転換や市街地再開発事業等は対象外となる。

本研究では当初より、「施策レベルでの応用」ということを念頭に置いて研究を進めてきた。そこで最後に、本研究において提案した評価式の、「まちづくりに対する意義」というものを考察しておきたい。

本研究で提案した評価式では、様々なパラメータを入力した結果出力されるものは、対象とする領域の「出火1時間後平均延焼面積」という数値である。ここで問題となるのは、その数値に対してまちづくり的な意味を求めることが困難であるということである。例えば、「出火1時間後平均延焼面積」をどの程度まで下

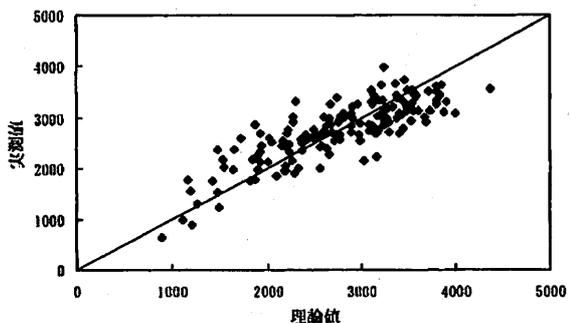


図6 理論値と実測値の分布

げれば安全な街といえるのかという問いを投げかけられたとき、その答えは本モデルからは導き出すことができない。その原因は、導出過程が「はじめに計画ありき」という立場に立っていることに起因するものであり、この点が本研究で提示した評価式の大きな限界であるといえる。すなわち、評価式からは「計画の立案」は不可能である。

以上の限界を踏まえた上で、本研究の評価式がまちづくりに対してどのような役割を果たすことが可能かということ考えた場合、以下の2点を挙げることができる。

- ① 計画案に対する効果測定・意思決定材料の提供
立案された計画に対して現状との比較を行なうことにより、改善計画による効果の測定を行なうことが可能である。また、計画案が複数存在する場合はそれらの比較を行なうことにより、火災延焼の面からの意思決定材料を提供することが可能である。
- ② ミクロ領域の現状に対する相対的な危険性の評価
様々な災害に対する地域の危険性の評価は、現在多方面において行われている。例えば東京都による「地域危険度測定⁹⁾」は、その代表的なものである。それらと比較した場合、精度は比較するまでもなく低い。本研究での評価式を応用することにより、よりミクロな領域に対して簡易な相対的危険性評価を行なうことが可能である。
これにより、整備の優先順位を示したり、過剰・二重投資を防ぐことが可能になると考えられる。

(2) 今後の課題

本研究の結果明らかになった今後における課題を、以下に5点示す。

- ① 構造別の補正係数： k_i および l_i の厳密化
本研究における構造別の補正係数は、東京消防庁の火災統計を基に算出している。しかし延焼火災は全体から見ると極めて稀な現象であり、統計で全てを把握することは困難である。また、構造分類を見ても、木造という分類の中でも材料の進化により耐火造に近い防火性能を有する木造も存在する。
今後はより現象的な研究を行ない、構造の分類も含めた新たな定式化をする必要があると考えられる。
- ② 中高層建物の扱い
中高層階での火災を市街地火災の観点からみた場合、極めて難しい問題が存在する。例えば低層建築物群の中に1棟だけ中高層建築物があった場合を考える。その建物が火元の場合、火の粉による影響は無視できないが、輻射熱および接炎による影響はほとんどないであろう。被害側であった場合は、上層階への延焼は少なく、また、比較的緩慢である。
このような現象をどう扱うべきかは、今後の課題として残される。
- ③ 加害側建物構造の考慮
火災の類焼現象は、加害側・被害側双方の構造により大きく影響を受けることは明らかである。しかしながら本研究では、入手できたデータが被害側の構造分類のみによるものであったため、評価式ではやむを得ず被害側のみを考慮した。
このことによる影響はかなり大きいと思われるため、早急に何らかの解決策を探る必要がある。

④ 建築物以外の要素の反映

市街地は建築物と空地だけで構成されているわけではないことは、言うまでもない。しかし本研究も含め、市街地火災の観点から見た場合、その他の要素は無視されがちである。

例えば、生け垣・ブロック塀などは経験的に見ても火災延焼の防止や遅延には有効であり、木造密集市街地の整備・改善を考えた場合、特に重要な要素であると考えられる。それらをどのように評価に組み込んで行くかは、今後の重要な課題の一つであろう。

⑤ より詳細な延焼性状の解明

本研究で得られた結果は、シミュレーションの特性により左右されている部分が少なくない。今回は「既存の研究成果を簡便な形でフィードバックする」という立場を取ったため、評価式構築のために既存の延焼シミュレーションを用いたが、本来「シミュレーションが絶対である」という考え方は明らかに誤りであることは言うまでもない。この先、延焼性状がより詳細に解明されるのに伴いシミュレーション・モデルも進化することは当然であり、実験的手法が取り難いこの分野においてそれは非常に重要な部分でもある。

また、それらがより詳細化することは、施策レベルに対するフィードバックがますます難しくなるといってもあり、この2つの困難な要求が高度なレベルで解決されることが期待される。

参考文献

- 1) 東京都都市計画局防災計画部防災企画課：都市防災施設基本計画(抄)——防災生活圏の形成——、東京都、1981
- 2) 東京都都市計画局開発計画部防災計画課他：防災まちづくり推進計画(基本計画)平成7年度、東京都、1996
- 3) 東京都都市計画局開発計画部防災計画課他：防災まちづくり推進計画(整備計画)平成8年度、東京都、1997
- 4) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト 都市防火対策手法の開発 報告書、建設省、1982
- 5) 東京消防庁防災部防災課：地震時における市街地大火の延焼性状の解明と対策、東京消防庁、1985
- 6) 東京消防庁防災部防災課：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、東京消防庁、1997
- 7) 東京消防庁防災部防災課：東京都の地震時における地域別延焼危険度測定、東京消防庁、1997
- 8) 東京都都市計画局総合計画部都市整備室：東京都都市計画地理情報システム、東京都都市計画局、1999
- 9) 東京都都市計画局開発計画部管理課：地震に関する地域危険度測定調査報告書(第4回)、東京都都市計画局、1998

(原稿受付 1999.6.28)