

第1部 地区の防災性能評価技術の開発

第1章 防災上危険な地区の抽出手法

災害に強い市街地を形成していくためには、防災上危険な地区を見極め、そして当該地区での防災性能を向上させていく必要がある。そのためには、都市全体の中でどの地区が防災上の問題を抱えるのかを簡便に評価する必要がある。本章では、延焼危険度、幹線系道路の機能障害、アクティビティの3つの視点から防災上危険な地区を見出す手法について説明する。

1.1 延焼危険性の評価手法

市街地の防火性能を向上させるためには、延焼の危険性がある地区を抽出し、さらに抽出された地区の防火性能を詳細に評価しても危険性があると判断された地区を対象に、具体の施策を展開することが必要である。前者の危険性がある地区の抽出手法を、ここでは市街地の防火性能の「マクロ評価」と呼ぶこととする。評価の対象領域は市街地全体を対象とし、評価の単位は町丁目（10～30ha）としている。また、マクロ評価によって詳細に防火性能を評価すべきだと判断された地区を対象として、建築物、道路、空地、緑被地、河川等に関する比較的詳細な市街地データに基づき「市街地延焼シミュレーション」を行うことにより、防火性能を詳細に評価するが、この手法をここでは「ミクロ評価」と呼ぶ。ミクロ評価手法については2.1を参照されたい。

本節では新たに開発したマクロ評価手法について、既存手法と比較しながら述べていくこととする。

1.1.1 既存の市街地防火性能評価指標の問題点

これまで市街地の防火性能をマクロに取り扱う指標として「不燃領域率」や「木防建ぺい率」が用いられてきたが、それぞれ一長一短を持つことから実際の市街地での適用には留意が必要とされてきた。なぜなら、これらの指標は、

- ・不燃領域率はサイト過程のパーコレーションモデル
- ・木防建ぺい率はボンド過程のパーコレーションモデル

の成果を応用したものであり、市街地の延焼過程をそれぞれ、

- ・近接する建物が木造かどうか（サイト過程）
- ・近接する建物は全て木造を前提として延焼可能性の大きさ（隣棟間隔の大きさ・建ぺい率で代表しても良い）はどうか（ボンド過程）

という一面でのみ評価しているため、これらのモデルから導かれた不燃領域率、セミグロス木防建ぺい率という指標も、それぞれ固有の矛盾が存在するからである。

不燃領域率は1km×1km程度の広域な地区を対象として、「確実に延焼拡大する恐れがない」地区を選定し、それ以外の地区では地域の実情に応じた防火対策を行う、という地区の“洗い出し指標”として提案されたものである。しかしながら現状では、相当狭い領域の市街地を対象とし、その防火性能を評価する指標として用いられることもある。たしかに、市街地の中で延焼の媒体となる建築物（木造建築物を想定）の存在割合を考慮可能、市街地不燃化の目標指標として考えることが可能（その面だけが強調されすぎているために弊害が生じている）など、行政的観点からは非常に分かりやすく、使いやすい指標であることも確かである。しかしながら、多くの仮定の上に成立するモデルから導き出されており、現実の市街地状況に照らし合わせると、その指標が示す値が市街地の防火性能を適正に表しているとは言い難い面もある。具体的には以下の2点が代表的な問題としてあげられる。

[不燃空間偏在の問題]

計測範囲に関連して、対象地域内に学校のように局所的に不燃空間が存在し、あわせて隣接地に木造密集地域が存在する場合に、領域全体として、不燃領域率が高くなり、市街地の即地的状況を説明することができない。

[密度概念の欠落]

密度の概念がないため、土地区画整理事業が施行された市街地のように、不燃領域率算定の対象となる道路空間がほとんどない場合、不燃領域率が極端に小さく計算されるが、その値から評価される市街地防火性能ほど実際の市街地の防火性能は低い評価ではないと考えられること。

一方、木防建べい率は不燃領域率の問題点のある程度打開しようと提案された指標であるが、これもまた、多くの仮定の上に成り立っているモデルに基づく指標である。そのため、以下のような問題点が存在するために、不燃領域率の問題点を十分に補完してはいない。

[不燃空間偏在の問題]

不燃建築物が立地する敷地（およびその周辺の空地空間）を木防建べい率を算定する母数となる市街地面積として考慮する場合には、不燃領域率と同様の不燃空間偏在の問題を考慮することができていない。

[市街地の更新による防火性能評価の信頼性]

市街地の防火性能を安全側に考えて、可燃建物が立地する敷地（およびその周辺の空地空間）のみを木防建べい率算定の母数となる市街地面積とする場合には、不燃建築物に建て替わる敷地は比較的市街地条件の良好な街区等での更新であると考えられるため、一定期間後の市街地の防火性能を評価する場合、更新されずに残されている市街地全体の相対的な木造建物の密度が上昇する場合もあり得る。不燃化が進むにも関わらず、防火性能指標が悪化する場合もあり得る。

1.1.2 CVF の導入と基本的概念

上述した既存指標が持つ問題点を可能な限り解消して市街地防火性能を合理的に評価するために、CVF（Covering Volume Fraction）という概念を新たに導入することとした。CVFはこの場合、「対象となる建築物の周囲に延焼限界距離（建物の構造・規模によって異なる）の半分のバッファを発生させたときに、地区面積に対するバッファ面積（建築物を含む、バッファが重なる部分はダブルカウントしない）の比」として示されるものである。加藤¹⁶⁾は、CVFによって市街地の建物分布状況に関わらず、防火性能を適正に評価できる可能性を指摘しているが、これは、建物構造が2種類（可燃建物、不燃建物）で、可燃建物の延焼限界距離が一定であるという仮定に基づいて計算機上に仮想的に発生させた市街地で検討を行ったものである。

本総プロではこの研究成果を踏まえ、多数の構造・規模の建物が立地して延焼限界距離も建物ごとに異なる現実の市街地を対象とした場合に、CVFによって市街地の防火性能を適正に評価できるかを不燃領域率や木防建べい率と比較しながら検証するとともに、CVFを用いた市街地防火性能評価の方法について検討を行った。

図 1.1.1 では、実際の市街地の建物の構造別現況を示したものを(a)に示しており、建物の周辺に構造・規模に応じて延焼限界距離の半分のバッファを発生させ、そのバッファの論理的和集合を取ったものを(b)に示している。CVFの値は、赤い細い線に囲まれた領域（市街地面積：図では町丁目面積）に対する緑色の面積の比となる。

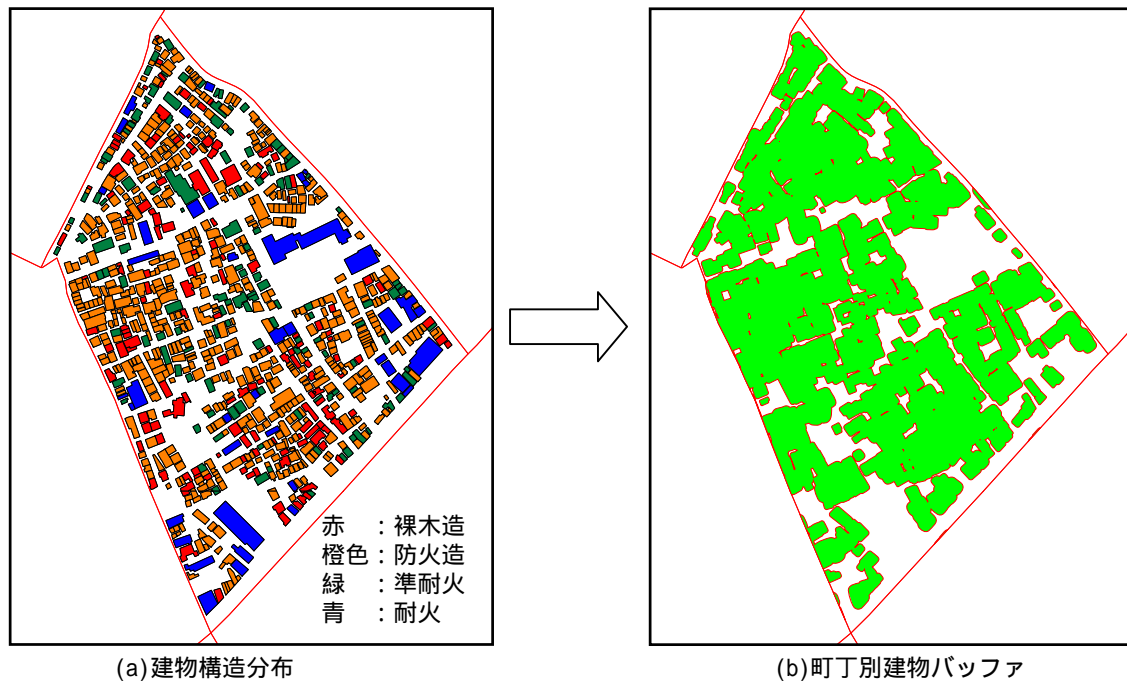


図 1.1.1 建物構造分布と延焼限界距離によるバッファの発生と CVF
(耐火建築物を CVF 計算の対象としない場合)

この CVF の考え方や意味することとしては以下のような点があげられる。

火災の際に消防力が期待されないと仮定し、各建物から構造・規模に応じて延焼限界距離でバッファを発生させた際に、バッファ内に一部でも含まれる建物は、バッファを発生させた建物（火災側建物）から類焼するものとする。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、防火的措置が施されて防火性が比較的高い建物であっても、開口部経由で類焼することが考えられ、その部分に関しては被害側建物の防火性能の差異は少ないと判断して、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。

この場合、注意すべき事がある。例えば、それぞれ構造が異なる A という建物と B という建物があるとする。被害側の建物の構造に延焼限界距離は依存しないという仮定により、A を火災側建物とした場合の延焼限界距離は $L(A)$ 、B を火災側建物とした場合の延焼限界距離は $L(B)$ となる。 $L(A) < L(B)$ である場合、例えば $L(A) > L(B)$ である場合には、A を火元とした B への延焼は発生しても、B を火元とした A への延焼は発生しない距離 x ($L(B) < x < L(A)$) が存在する。これは、延焼経路の異方性を示しており、現実の火災事象としては起こり得るものである。しかしながら、延焼経路の異方性まで考慮して市街地の防火性能を単一の指標として表現することは非常に複雑な議論を要する。この問題を回避するために、「それぞれの建物から延焼限界距離の“半分”の距離のバッファを発生させ、そのバッファがお互いに一部でも交わる場合に、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」ともの考えることにした。これは、市街地の中で延焼が拡大していく可能性のある建物の「連担状況」を示すといえる。

個々の建物からバッファを発生させ、その和集合を取ったものが対象地区の中で 1 団の塊（以後、クラスターと呼ぶ）になっていけば、クラスター内で発生した建物火災がクラスター内の建物全てに類焼する可能性があることを示す。したがって、対象地区内でのクラスター数が増えるほど、クラ

スター内での火災はそのクラスター内で留まるために地区全体としての火災被害が低減される可能性が高くなり、この時の CVF 値は比較的小さくなると考えられる。逆に対象地区内でのクラスター数が少なくなれば、クラスター一つあたりの建物棟数は多くなるため、地区全体としての火災被害は大きくなる可能性を示し、この場合の CVF 値は比較的大きくなると考えられる。

なお、建物の配置によっては CVF 値がほぼ同じ大きさでも、クラスターが一団となる場合や複数に分かれる場合もあり得ることには注意する必要がある。CVF は対象地区内の延焼経路による建物連担性を示す代表指標となりうるが、即地的な市街地構造を厳密に把握して防火性能評価を行うための指標とはなり得ない。

また、CVF を計算する場合に行っている手続きは 1 棟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のは自明であり、そのような火災拡大にともなう延焼限界距離の増加を CVF は考慮していないことには注意すべきである。

このような問題点を具体的に打開するためには、火災拡大を物理的、客観的に記述する延焼シミュレーションモデルを構築して、対象市街地で何度もシミュレーションを繰り返し、市街地の防火性能評価を行う必要がある。これは、まさに前述の「マイクロ評価」であり、この議論は第 2 章に譲る。

いずれにしても、上記の議論から明らかなように、CVF は不燃領域率や木防建ぺい率と同様に、市街地防火性能評価の概ねの傾向をとらえるためのマクロな代替指標であり、不燃領域率や木防建ぺい率が有していた問題点を何とか解消するために検討された指標であって、個々の市街地の防火性能を厳密に計測しているわけではないし、また、防火性能指標そのものではないことを強調しておかなければならない。

1.1.3 CVF に関する理論的背景

本項では、CVF によるマクロ評価手法の基礎理論について述べる。まずマクロ評価の基礎理論である「パーコレーション理論」について記述し、一般的なパーコレーション理論の知見から得られる従来の評価方法の問題を指摘した上で、CVF の理論的な検討結果を示す。

(1)パーコレーションモデルの基礎理論

(a)パーコレーションモデル

パーコレーションモデルは、Broadbend・Hammersley によって定義された幾何学的な確率モデルである。Broadbend・Hammersley¹⁾によると、パーコレーションモデルは『「ランダム」に存在する「媒体」のつながりのモデル』と定義されている。パーコレーションモデルの特徴は、乱歩に代表される拡散過程ではランダム性が拡散要素に依存しているのに対し、ランダム性が拡散要素の通り道である媒体にあり、拡散要素の広がり媒体のつながり状態に依存していることである。パーコレーションモデルはこのように一般的に定義されているため、多様なモデルが存在している。簡単なモデルとしては、例えば、次のようなモデルがある。碁盤の上に黒石を確率 p でランダムに置くというモデルを考える。「媒体」を黒石と考え、拡散要素は黒石が繋がった範囲に広がるを考える(図 1.1.2)。モデルの挙動は碁石を置く確率 p に依存したものになる。

一般的なパーコレーションモデルでは、「媒体」は点及び点と点を結ぶ線で構成されることが多い。パーコレーション理論では点のことをサイト、線のことをボンドと呼ぶ。図の例では、碁盤の目がサイト、格子の線がボンドとなる。図のようにサイトにランダム性があるモデルをサイト過程モデルと

呼び、ボンドにランダム性があるモデルをボンド過程モデルと呼ぶ。双方にランダム性のあるモデルをサイト - ボンド過程モデルと呼ぶ。

図の例は、正方格子のサイト過程モデルである。サイトが格子の交点のように離散空間に配置されるモデルを離散空間モデルと呼ぶ。また、図の例では隣接するサイトは縦横だけであったが、 i 番目に近いサイトとも隣接すると定義するモデル（第 i 近接格子と呼ぶ）もある。また、この他にサイトが連続空間に配される連続空間モデルがある。ボンドについては、サイトを中心に同じ大きさの図形を置いたとき、その図形内に近隣のサイトが含まれば、サイト間にボンドが存在すると考える。代表的なモデルとしては、ポアソン分布の円のモデルがある（図 1.1.3）。図形としては円のほかに、等方の正方形のモデル、ランダムな向きの針などが研究されている。モデルの挙動を規定するパラメータは、幾何学図形の大きさ R （代表長さ）とサイトの密度 ρ の相対的な関係となる。

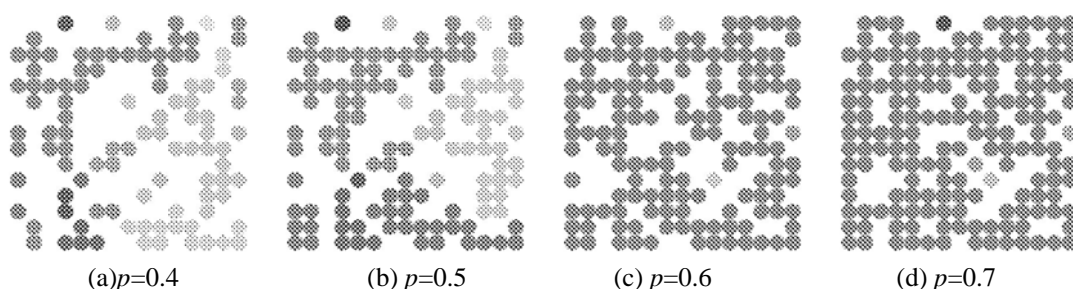


図 1.1.2 パーコレーションモデルの例：碁盤に黒石を確率 p でランダムに置くモデル（正方格子サイト過程モデル）

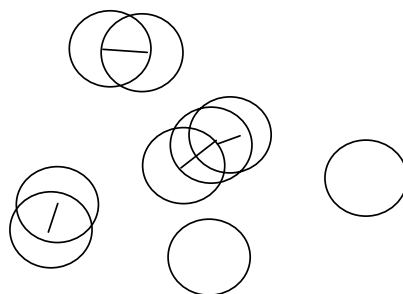


図 1.1.3 パーコレーションモデルの例：連続空間（ポアソン分布）の円のサイト過程モデル（円の中心点がサイト，中心点間を結ぶ線がボンド）

(b)パーコレーションモデルの特徴：閾値の存在

パーコレーションモデルの最大の特徴は、サイトのつながり（クラスターと呼ぶ）の大きさに着目したときに閾値が存在することである。換言すれば、モデルの制御変数 p が閾値 p_c を超えると急激にクラスターが大きくなるということである。図 1.1.2 を見ると、 $p=0.5$ ではクラスターがいくつかに分節しているが、 $p=0.6$ では大きなクラスターがひとつ存在している。 $p=0.5$ と $p=0.6$ の間でクラスターの状況が劇的に変化していることが分かる。正方格子の場合、閾値が 0.5 と 0.6 の間に存在するのである。ここで、無限大の領域においてクラスターの挙動を表す関数として次の 3 つの関数を取り上げる。

- ・ $R(p)$: 無限大のクラスターが存在する確率
- ・ $\rho(p)$: 任意のサイトが無限大のクラスターに属する確率
- ・ $\langle R \rangle(p)$: サイト当たりのクラスターの大きさの期待値

クラスターの挙動を表す上記の関数は、制御変数 p に対して図 1.1.4 に示すような特性をもつ。制御変数が閾値 p_c を越えると、無限大のクラスターが存在するようになり、閾値を境界にクラスターの様相が全く異なったものとなる。

無限領域における閾値 p_c は、多くのモデルについて求められており、厳密解が求められているモデルもある（表 1.1.1）。表にみるように閾値 p_c はモデル固有の値である。

表 1.1.1 パーコレーションモデルの閾値

離散空間モデル	サイト過程	ボンド過程
正方格子	0.592745	
第2近接正方格子	0.40725	1/2
第3近接正方格子	0.292	
三角格子	1/2	
第2近接三角格子	0.295	$2\sin(\pi/18) = 0.34729$
第3近接三角格子	0.225	
蜂の巣格子	0.6962	$1-2\sin(\pi/18) = 0.65271$
連続空間モデル	サイト過程	
等サイズの円 R/r	1.06 ± 0.01	R : IF 定義の円の半径
等方等サイズの正方形 a/r	1.11 ± 0.02	a : IF 定義の円の半径
ランダムな向きの線分 L/r	2.12	L : OF 定義の線分の長さ。ただし、 $r = 2/\sqrt{\rho\pi}$ 、 ρ はサイト密度

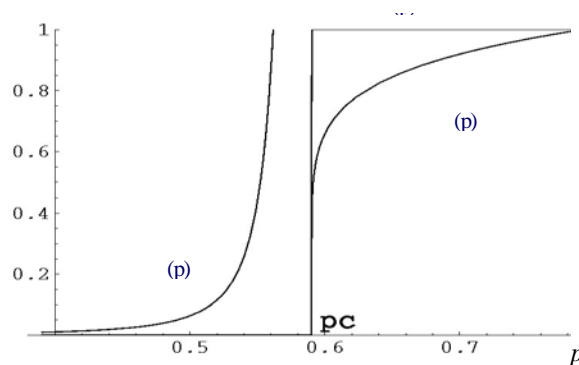


図 1.1.4 パーコレーションモデルの特徴：無限大の領域におけるクラスターの挙動（ (p) については適当にスケールを変えた）

次に有限領域における閾値について見る。パーコレーション理論では有限領域の閾値は有限領域の取り方、有限領域における「無限大」の定義を次のようにした上で、無限大のときと同様の考え方で定義される。

- ・有限領域の取り方：有限領域として1辺のサイト数が L で表される正方形の領域を考え
- ・有限領域における「無限大」：クラスターが領域の端から端まで広がるような大きさ
- ・有限領域の閾値 $p_c(L)$ の定義：「領域の端から端まで広がる大きさのクラスターが生じる確率の平均値」

無限大におけるクラスターの挙動を表す関数 $R(p)$ 、 (p) 、 (p) に対応する関数を有限領域でも考えて、クラスターの挙動を見てみる。3つの対応する関数は有限領域では次のようになる。

- ・ $R(L,p)$ ：領域の端から端まで貫通するクラスターが存在する確率
- ・ (L,p) ：クラスターの大きさの期待値
- ・ (L,p) ：最大のクラスターの系の大きさ $(L \times L)$ に占める割合

これらの関数を正方格子のサイト過程モデルで計算してみたのが図 1.1.5 である。有限の領域では p_c の閾値としての性質が弱くなり、無限大のような明確な閾値にはならない。上記の定義にみるように、有限領域では臨界的な確率の平均値を閾値とみなしている。

有限領域における閾値 $p_c(L)$ は、パーコレーション理論によると次のように表される。

$$|p - p_c| \propto L^{1/\nu} \quad \text{但し、} \nu = 4/3 \quad (1)$$

また、上記の 3 つの関数は次のように表される。

$$R(L, p) = f((p - p_c)L^{1/\nu}) \quad (2)$$

$$\chi(L, p) = L^{\gamma/\nu} f((p - p_c)L^{1/\nu}) \quad (3)$$

$$\theta(L, p) = L^{-\beta/\nu} f((p - p_c)L^{1/\nu}) \quad (4)$$

$$\text{但し、} \nu = 43/18, \quad \beta = 5/36$$

f はスケーリング関数と呼ばれる適当な形をした非負の連続関数あり、関数によって異なる。 ν, γ, β は臨界指数と呼ばれる定数である。式(2)~(4)は、右辺の L のべき乗を左辺に移項してグラフにプロットすれば、領域の大きさ L に関わらず、一つの関数（スケーリング関数）で表されることを示している。

これらの式は、有限サイズスケーリング仮説という仮説に基づいて導出されている。有限サイズスケーリング仮説とは、無限大の領域においてある量 $X(p)$ が $p = p_c$ において $X(p) \propto |p - p_c|^x$ のように振る舞うとき、 $L \rightarrow \infty, p \rightarrow p_c$ において次式が成り立つという仮説である。

$$X(L, p) = L^{-x/\nu} f((p - p_c)L^{1/\nu}) \quad (5)$$

本来、いずれの式も $L \rightarrow \infty, p \rightarrow p_c$ において成り立つべき式であるが、これまでの研究(加藤(1999))において各式のいずれも、実用性と考えられる領域の大きさである $L=25 \sim 100$ の、 $|p - p_c| < 0.3$ 程度の範囲で概ね成り立つことが確認されている。図 1.1.6 に正方格子のモデルの各関数についてスケーリング関数を示す。誌面の都合上、他の関数については割愛するが、正方格子と同様、一つの関数が現れることが確認されている¹⁴⁾。

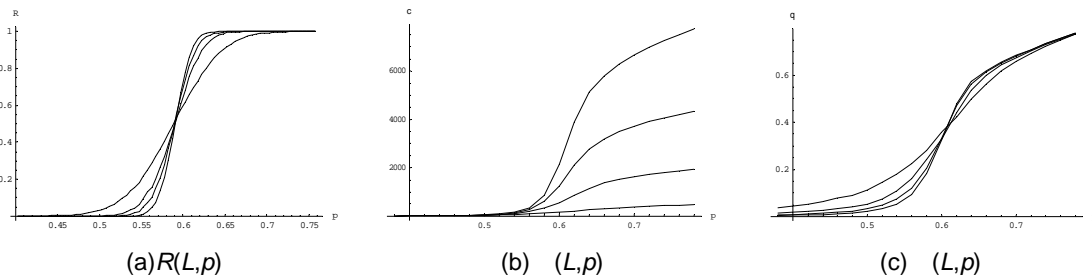


図 1.1.5 有限領域におけるクラスターの挙動（横軸は p . ならかな方から $L=25, 50, 75, 100$ ）

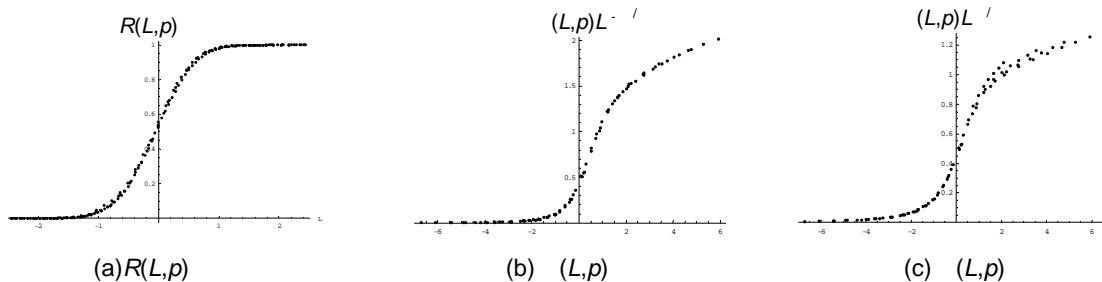


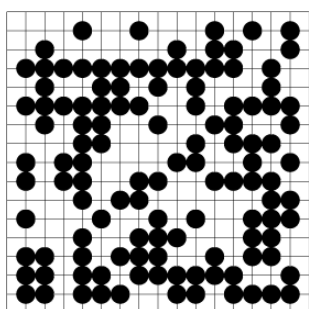
図 1.1.6 $R(L, p)$, $\chi(L, p)$, $\theta(L, p)$ のスケーリング関数²⁾ : 横軸は $(p - p_c)L^{1/\nu}$

(3) パーコレーションモデルと既存のマクロ評価手法が前提とするモデルとの関係

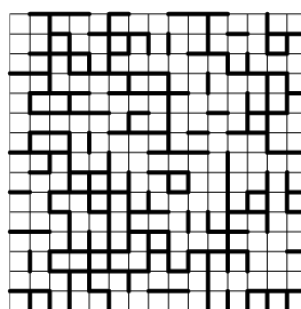
サイトを可燃建物、ボンドを隣棟間の延焼過程とみなすと、既存のマクロ評価手法が前提とするモデルがパーコレーションモデルであることが理解できる。「不燃領域率」⁸⁾による方法は正方格子のサイト過程モデル、「木防建蔽率」¹²⁾による方法は正方格子のボンド過程モデルである。各評価手法では評価基準としては、例えば「不燃領域率 %」という表現が使われるが、これは手法構築に用いた市街地モデルの領域に対応する閾値 p_c の（計画的視点からの）安全側の値に相当するものと言える。

これら以外にもマクロ評価に関わる既存研究（表 1.1.2）がみられるが、いずれの研究も前述したパーコレーションモデル、もしくは、そこから派生したモデルとなっている。表に列挙した既存研究を次のようにランダム性に着目して整理すると、このことが容易に理解できる（図 1.1.7）。

- | | |
|------------------------|------------------|
| ・市街地を構成する要素の分布空間のランダム性 | 連続空間のパーコレーションモデル |
| ・可燃建物の立地のランダム性 | サイト過程モデル |
| ・延焼過程のランダム性 | ボンド過程モデル |



(a) 「不燃領域率」が基づくモデル
（正方格子サイト過程モデル）



(b) 「木防建蔽率」が基づくモデル
（正方格子ボンド過程モデル）

図 1.1.7 パーコレーションモデルと既存のマクロ評価手法が前提とするモデルとの関係

表中の堀(1974)、橋(1973)、建設省(1982)、系井川(1991)、加藤(1999)は、パーコレーションモデルの基本モデルに対応する。また、橋(1974)(1977)(1975)、加藤(2000)は、市街地構成要素を多様化する等若干複雑であるが、これらはすべて基本モデルから派生したパーコレーションモデルに対応する。

各研究でも「不燃領域率」・「木防建蔽率」と同様、結論として「延焼危険が急増するクリティカルな市街地条件が存在する」ことを指摘しているが、これは、各モデルの閾値の存在を指摘していることに他ならない。

なお、パーコレーションモデルにおけるクラスターの大きさを表す関数は次のように意味づけられる。

- ・ $p_c(L)$: 領域の端から端まで広がる市街地の平均像
- ・ $R(L,p)$: 領域の端から端まで延焼被害が起こる確率（出火点 1 箇所）
- ・ (L,p) : 焼失棟数の期待値（出火点 1 箇所）
- ・ (L,p) : 最大被害率（出火点 1 箇所）

表 1.1.2 既存のマクロ評価手法に関わる研究

		市街地のモデル化			延焼過程モデル化	市街地のモデル化	延焼危険のモデル化	延焼危険を説明する市街地属性	
		市街地の構成要素	市街地の構成要素の分布空間	可燃建物の立地	ランダム性の仮定		評価の対象領域：シミュレーションに用いた領域の大きさ		延焼危険の捉え方
					延焼過程				
堀 (1974)	サイト過程モデル	可燃建物・不燃空間	離散空間 (正方格子)	ランダム	確定的： 定義無し*	31×31の領域	領域の中央点から出火したときの平均焼失率	可燃建物率	
	サイト-ボンド過程モデル				確率的： 一定			可燃建物率・隣棟間延焼確率	
	ボンド過程モデル				すべての分布空間に存在			隣棟間延焼確率	
橋 (1973)	格子型乱配置	延焼方向4方向	離散空間 (正方格子)	ランダム	確定的： 定義無し*	25×25の領域	領域から任意の1箇所出火したときの焼失棟数の期待値	可燃建物率	
		延焼方向8方向	離散空間 (第2近接正方格子)	ランダム	確定的： 定義無し*				
	一様乱配置	無風時	可燃建物空隙	連続空間 (ポアソン分布)	すべての分布空間に存在	確定的： 延焼限界距離によって定義		可燃建物数最大250個	可燃建物数
		有風時	可燃建物空隙		すべての分布空間に存在	確定的(延焼限界距離)： 風下方向のみ延焼限界距離が大きい。			
橋 (1974)		木造・耐火造・空地	離散空間 (正方格子)	ランダム	確定的： 耐火造・空地の配置状況に影響を受ける。	総数1000個程度のほぼ正方形の領域	領域から任意の1箇所出火したときの焼失棟数の期待値	耐火建蔽率・「木造+耐火造」建蔽率	
橋 (1977)		可燃建物空隙	連続空間 (充填分布)	すべての分布空間に存在	確定的： 延焼限界距離によって定義	可燃建物数最大150個	領域から任意の1箇所出火したときの焼失棟数の期待値	建蔽率延焼限界距離	
建設省 (1982)		可燃建物・不燃空間	離散空間 (正方格子)	ランダム	確定的： 定義無し*	100×100の領域	出火率を加味した平均焼失率	非可燃建物率で定義された「不燃領域率」	
橋 (1975)		可燃建物(木造・耐火造)・耐火造	離散空間 (正方格子)	ランダム	確率的： 受害側建物と被害側建物の構造の組み合わせで決定。 隣棟間隔がパラメーター。	31×31の領域	領域から任意の1箇所出火したときの焼失棟数の期待値	平均建物規模を仮定したときに算定される建蔽率	
糸井川 (1991)	隣接建物4方向モデル	可燃建物空隙	離散空間 (正方格子)	すべての分布空間に存在	確率的： 隣棟間隔がパラメーター	101×101の領域	領域の中央点から出火したときの平均焼失率	隣棟間延焼確率	
	隣接建物8方向モデル		離散空間 (第2近接正方格子)						
加藤 (1999)	サイト過程モデル	可燃建物・不燃空間空隙	離散空間 (正方格子) 離散空間 (三角格子) 連続空間 (ポアソン分布)	ランダム	確定的(延焼限界距離)	無限大	平均焼失率 最大焼失率 被害が無限大になる確率	可燃建物率 建物密度 延焼限界距離 建物の配置パターン	
加藤 (1999)	サイト過程モデル	同上	同上	同上	同上	有限の正方形領域(任意の大きさ)	平均焼失率 最大焼失率 領域の端から端まで被害が達する確率	同上	
加藤 (2000)	サイト過程モデル	同上	連続空間 (逐次充填分布)	同上	同上	同上	同上	同上	

る。例えば、正方格子の第 1 近接格子と第 2 近接格子の閾値は、0.592745, 0.40725 であり、その差は 0.2 と大きい。これは、延焼する隣棟を縦横とするか、縦横斜めとするかの違いで、評価基準が可燃建物率（1 - 不燃領域率）で 20% も異なるということの意味しており、実用上の問題が生じる。一方で、各々の地域に適したモデルを適用していくことも現実の市街地の建物配置パターンは多様であるため限界がある。

そこで、本研究プロジェクトではこうした閾値のモデル依存性から離れ、多様な市街地に対して一律に適用しうるマクロ評価手法を構築することとなった。

- ・市街地の構成要素（可燃建物・不燃空間）の配置パターンによる影響の排除
- ・評価の対象領域の大きさによる影響を排除できるもの

(5) CVF (Covering Volume fraction) の導入

(a) CVF の定義

CVF (Covering Volume fraction) は、パーコレーション理論の研究で定義された概念であり、クラスターの挙動を説明する変数である。CVF は、OF (Overlap Figure) 定義によるサイト過程モデルにおいて、オーバーラップした円（半径が $(d^*/2+a)$ ）の面積割合と定義する（図 1.1.9）。

- ・ CVF の定義：半径が $(d^*/2+a)$ の円がオーバーラップした面積の割合
ただし、 d^* ：延焼限界距離， a ：建物半径。

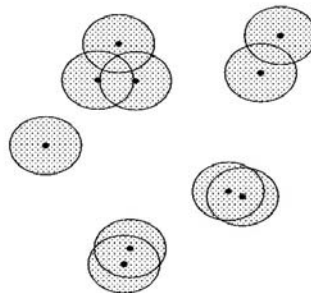


図 1.1.9 CVF：斜線部分の面積割合（点が建物の中心、円の半径は $d^*/2+a$ ）

(b) CVF の計算値

CVF の計算方法

CVF の定義より、CVF 値は以下の確率に等しい。

「領域内に点をおとしたときに、その点を中心とする半径 $d^*/2$ の円内にサイト存在する確率」
この確率は、以下の定義による確率関数 $f(k)$ を用いて次のように表される。

- ・ $f(k)$ ： $p=1$ の時の領域内の任意の点をおとしたときに、その点を中心とする半径 $d^*/2$ の円内に存在するサイト数 k の確率関数

$$CVF = \sum_{k=0}^{\infty} f(k)(1 - (1 - p)^k) \quad (5)$$

なお、VF は Poisson 分布の場合は、以下の式で表される。

$$CVF = 1 - \exp(-\pi p p (d^*/2)^2) \quad (6)$$

なお、クリティカルな CVF を求めるためには、式中の p を p_c とすればよい。

クリティカルな CVF の計算結果

ここでは前提として、建物及び空地はすべて同じ大きさの円（半径 a ）若しくは、点（ $a=0$ ）市街地は可燃建物と非可燃領域（空地，耐火建物）で構成されることとし，市街地の構成要素の配置は連続空間分布にしたがって分布するものと仮定する。連続空間分布としては，ポアソン分布と「ハードコアモデル」とした。また，延焼過程は延焼限界距離を用いることとする。

・配置モデル

連続空間分布：ポアソン分布，「ハードコアモデル」

・延焼過程モデル： 延焼限界距離 d

なお，「ハードコアモデル」は，「半径 $A\sqrt{\rho}$ 円盤を連続空間にランダムに順次落とし，円盤が重なった場合は捨てて，重ならない場合は配置する」という作業を繰り返し行い，その結果得られる円盤の中心点の分布のことをいう。この分布は，ポアソン分布よりも均等に分布する分布であり，ポアソン分布を離散空間に近づけたものと考えることができる。円盤の大きさが分布を決定する変数となる。なお，文献 15) の「逐次充填分布」と同じである。

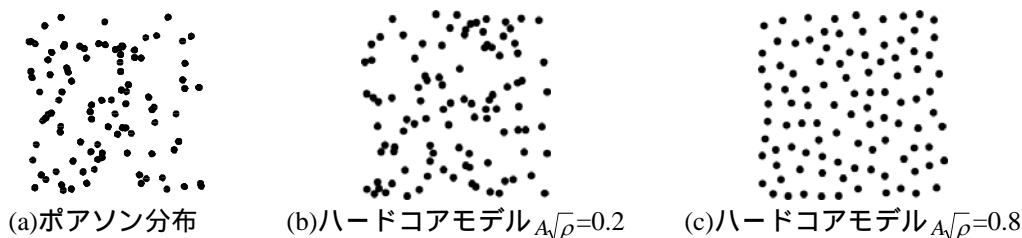


図 1.1.10 連続空間の建物分布モデル

各配置モデル、異なる延焼限界距離について、クリティカルな CVF を計算した結果を表 1.1.3 に示す。なお、シミュレーションではサイト数 1,000 個の配置パターンを各モデル 100 パターン準備し、周縁部の影響を排除して $f(k)$ を求めた。

表 1.1.3 クリティカルな CVF の値

$A\sqrt{\rho}$	$d\sqrt{\rho}$			
	1.25	1.50	1.75	2.00
0	0.675	0.675	0.675	0.675
0.2	0.674	0.674	0.673	0.673
0.4	0.673	0.673	0.672	0.672
0.6	0.668	0.668	0.669	0.669
0.8	0.641	0.658	0.667	0.661

(6)CVF は，市街地の構成要素（可燃建物・不燃空間）の配置パターンに影響を受けないか？

表にみるように、クリティカルな CVF の値は 0.641 ~ 0.675 の間に分布しており、少なくとも連続空間分布においては不変の値と考えてよさそうである。

(7)評価の対象領域の大きさによる補正が行えるか？

延焼危険を表す関数：

- ・焼失棟数の期待値（出火点 1 箇所）：

$$\chi(L, p) = L^{\gamma/\nu} f((p - p_c)L^{1/\nu}) \quad \text{但し, } \gamma = 43/18 \quad (7)$$

- ・最大被害率（出火点 1 箇所）：

$$\theta(L, p) = L^{-\beta/\nu} f((p - p_c)L^{1/\nu}) \quad \text{但し, } \beta = 5/36 \quad (8)$$

について、有限サイズスケーリング仮説が CVF についても成り立てば、領域の大きさの影響を正しく補正することができる。しかし p と CVF の関係性等について検討してみたものの、良い結果は得られなかった。そこで実際にいろいろな大きさで計算を行い、領域の大きさの違いによって生じる延焼危険の差異を明らかにすることとした。

ここでは、 $d^*\sqrt{\rho}=1.25$ 及び 2.0 の場合（ただし、 d^* は延焼限界距離、 ρ は点（建物）密度）それぞれについて $A\sqrt{\rho} = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ として計算を行った。領域の大きさは $L=25, 50, 100$ としたが、これはサイト（建物）数だと 625 棟、2,500 棟、10,000 棟に相当する。計算結果を図 1.1.11 ~ 1.1.18 に示す。各図、左図中の三本の線は、なだらかな方から順に $L=25, 50, 100$ であり、右図は最大値と最小値の差 ($L=25$ と $L=100$ の差) をプロットしたものである。縦軸は%、横軸は CVF である。

結論としては、領域の大きさによる影響は、平均焼失率及び最大焼失率の絶対値で最大でも 10% 程度であることが分かった。ここでは、領域の大きさとして建物数で最大 10,000 棟、最小 625 棟としているが、実際には評価対象区域のばらつきがこれほど大きくなることはない想定されるので、実際に生じる差はもっと小さいと予想される。したがって、ここでの結論としては、評価対象領域の大きさによる影響は受けるが、誤差の範囲内であるとみなしうると判断することとする。

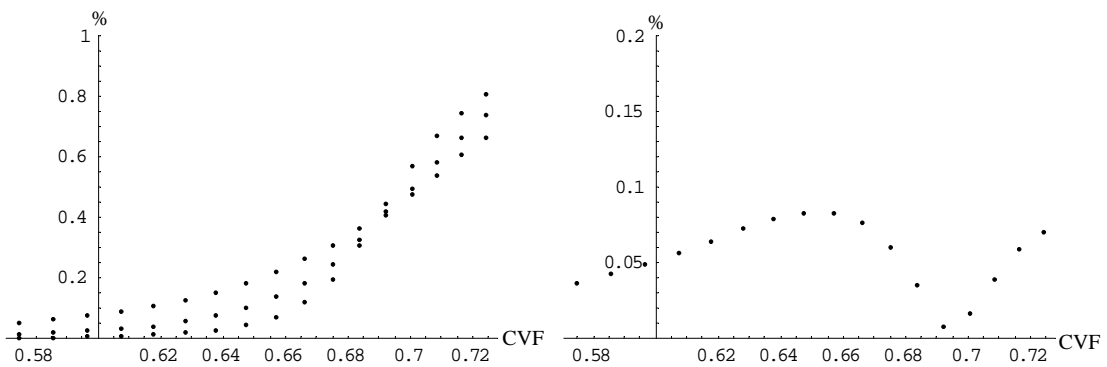


図 1.1.11 平均焼失率と領域の大きさの影響 ($d^*\sqrt{\rho}=1.25$, $A\sqrt{\rho}=0.2$)

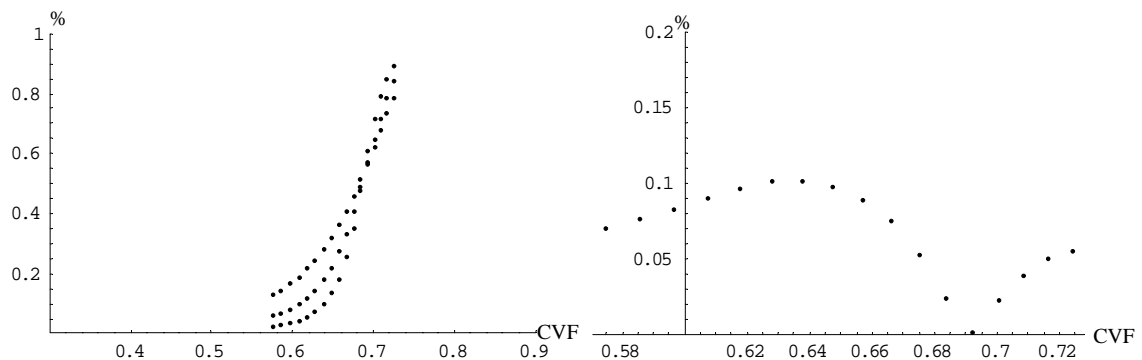


図 1.1.12 最大焼失率と領域の大きさの影響 ($d^*\sqrt{\rho}=1.25$, $A\sqrt{\rho}=0.2$)

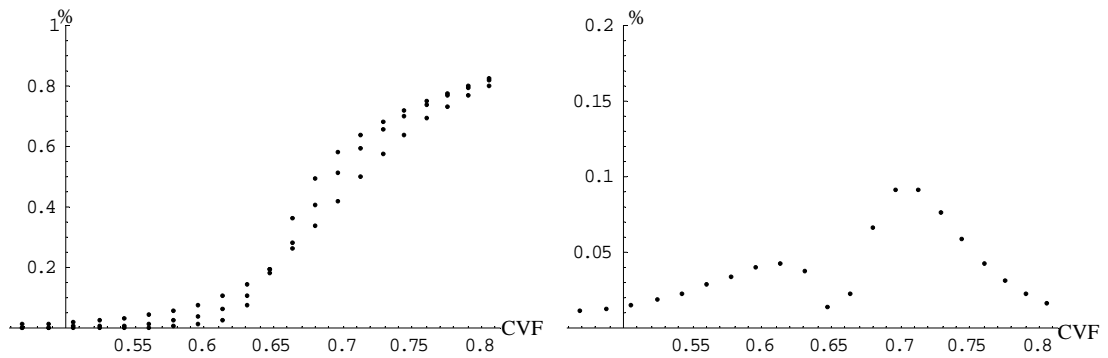


図 1.1.13 平均焼失率と領域の大きさの影響 ($d^*\sqrt{\rho}=1.25$, $A\sqrt{\rho}=0.8$)

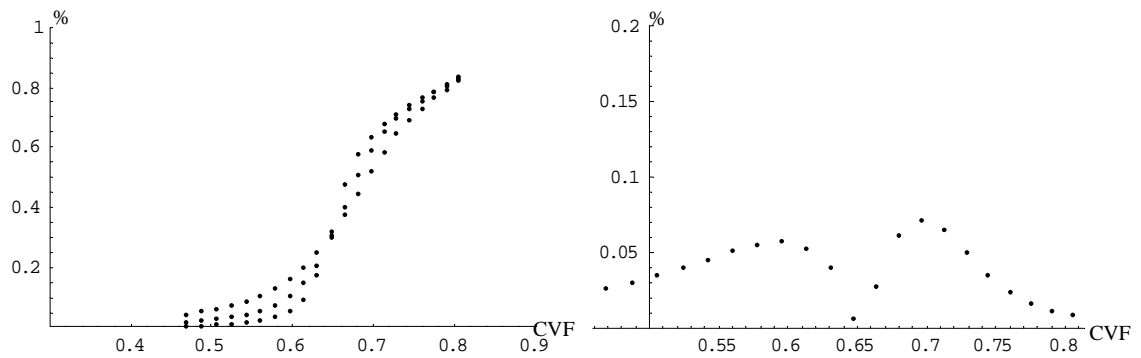


図 1.1.14 最大焼失率と領域の大きさの影響 ($d^*\sqrt{\rho}=1.25$, $A\sqrt{\rho}=0.8$)

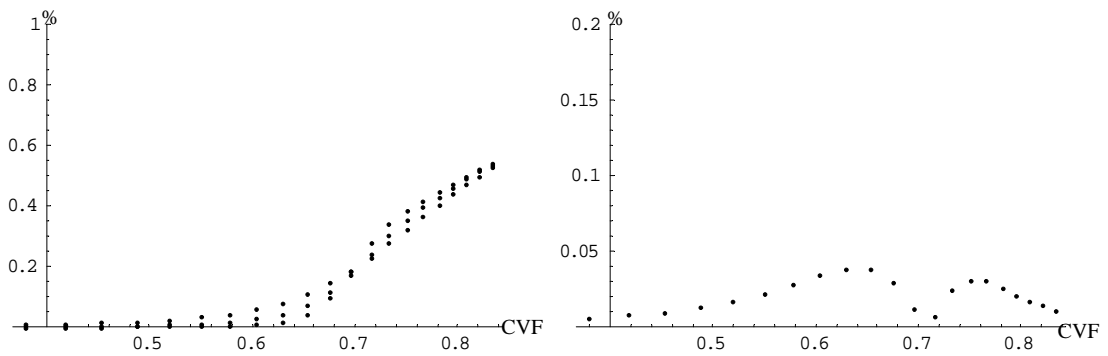


図 1.1.15 平均焼失率と領域の大きさの影響 ($d^*\sqrt{\rho}=2.00$, $A\sqrt{\rho}=0.2$)

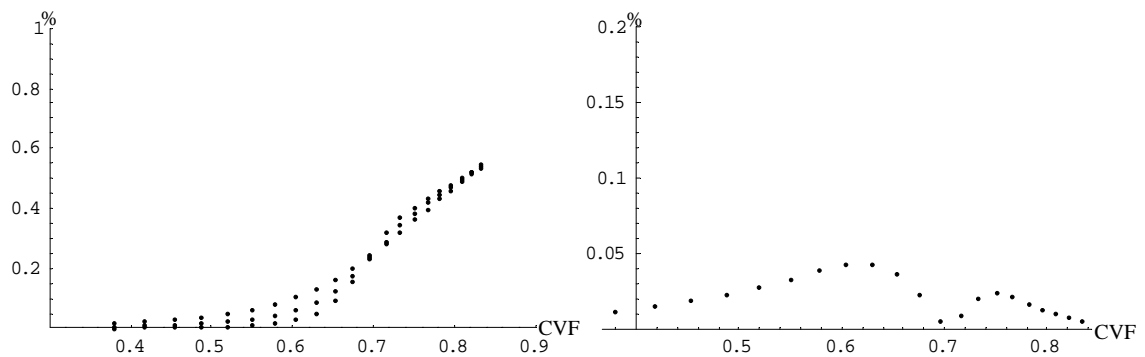


図 1.1.16 最大焼失率と領域の大きさの影響 ($d^*\sqrt{\rho}=2.00$, $A\sqrt{\rho}=0.2$)

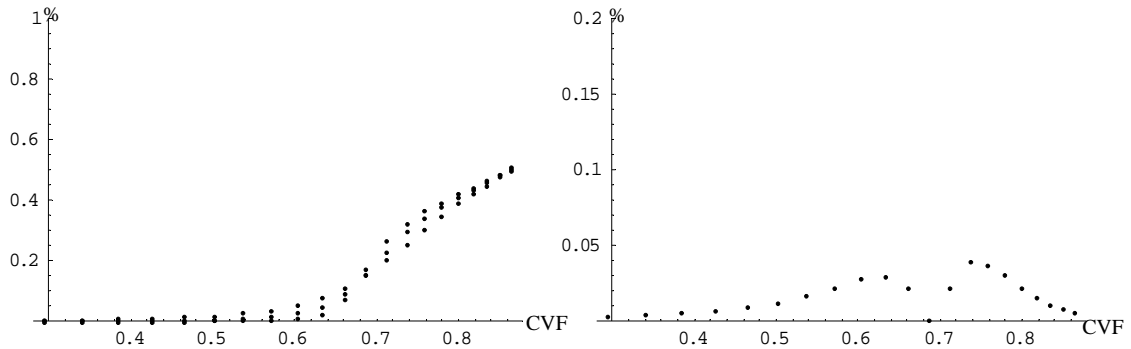


図 1.1.17 平均焼失率と領域の大きさの影響 ($d*\sqrt{\rho}=2.00$, $a\sqrt{\rho}=0.8$)

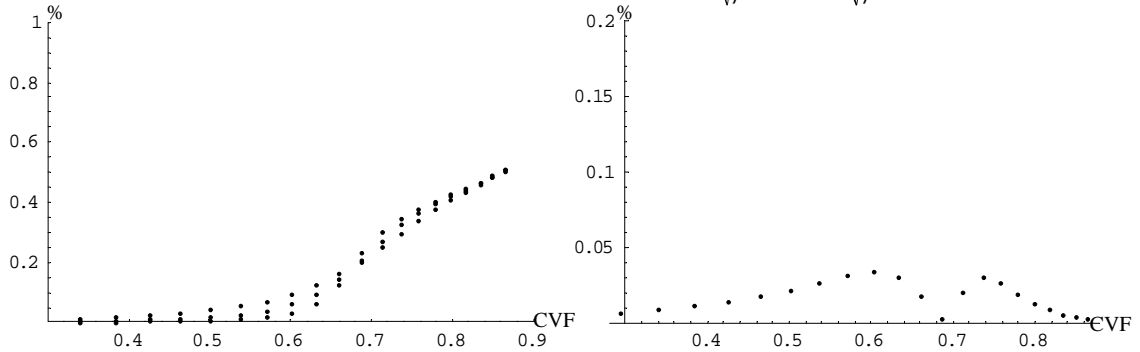


図 1.1.18 最大焼失率と領域の大きさの影響 ($d*\sqrt{\rho}=2.00$, $A\sqrt{\rho}=0.8$)

1.1.4 CVF を用いた防火性能評価

(1)CVF と市街地防火性能

前述したように、CVF は対象地区内の延焼経路による建物連担性を示す代表指標となりうるが、市街地防火性能そのものを示す指標ではない。不燃領域率や木防建ぺい率と同様、市街地防火性能を説明する代替指標である。では、市街地防火性能を示す指標としては何を採用すべきなのか。

市街地の中で各建物から構造・規模に応じて延焼限界距離の半分のバッファを発生させ、その論理的集合を取ることにより、それぞれの建物間に延焼経路を持つクラスターが形成されることは前述した。CVF はその全部のクラスターの面積合計の市街地面積に対する割合であり、クラスター作成ができれば簡単に計算できる。その各クラスターを同定するサフィックスを i とする。それぞれのクラスター内に存在する建築物の数を t_i 、そのクラスター内の建築面積の合計を A_i とする。また、クラスターの面積を C_i 、市街地面積を S_i とする。

この時、CVF の値は当然、次式となる。

$$CVF = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{S_i} \quad (9)$$

市街地防火性能を示す指標として、市街地内に 1 つの出火があったときの建築物の火災被害（建築面積）を考える。CVF の基本的考え方は、クラスター i 内の 1 つの建物から出火したとすると、クラスター内の全ての建物が焼失すると考えるのであるから、クラスター i 内の 1 つの出火に対しての被害はどの建物からの出火でも A_i である。そのような出火の可能性は、クラスター内の建物の数だけありその数は t_i である。

したがって、全てのクラスター内の建物から1回ずつ出火があったとした場合の建物被害の平均値（平均焼失建物面積）は次式となる。

$$\text{平均焼失建築面積} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad \text{ただし、} n : \text{クラスターの数} \quad (10)$$

また、1つの出火を前提とした場合に最大の焼失建築面積被害をもたらすという観点からの被害指標も市街地防火性能指標になりうる。

$$\text{最大焼失建築面積} = \text{Max}\{A_i | i=1 \sim n\} \quad \text{ただし、} n : \text{クラスターの数} \quad (11)$$

CVFの議論は、上記の2つの指標（平均焼失建築面積、最大焼失建築面積）あるいはこれらの指標の全体に対する割合（平均焼失建築面積割合、最大焼失建築面積割合）とCVFという指標の間に一定の関係があることを前提としたものであるが、加藤¹⁾の研究に見られるように、仮想市街地に対する検討ではなるものの、ある制約条件の下でランダムに建物が立地する場合には相当程度関係が見られることが示唆されている。

(2)CVF計測の問題点

これまでの議論は、「現実の市街地でCVFの値が計測できることができれば、マクロ評価としてその値から市街地防火性能がある程度評価できる」ことを前提とするものであった。

だが、CVFはどのように計測すれば良いのか。都市内の全ての地区の建物がベクトルデータとしてデジタル化され、建物構造が属性として判明すれば、それぞれの建物からバッファーを発生させ、地区毎のCVFの計測をすることができる。しかし、実際にバッファーを発生させる作業をするのであれば、クラスターの作成もその中で行っているはずであり、わざわざCVFを指標として計測しなくても、上記の計算方法で、市街地の平均焼失建築面積や最大焼失建築面積といった本来我々が必要としている防火性能指標を“直接”計測することが可能である。市街地防火性能に関わる指標が直接求められるのに、別途計測した代替指標であるCVFから市街地防火性能指標を推計することの意味はない。市街地の建物データが詳細にデジタル整備されている環境では、CVFを計測する必要はなく、防火性能指標を直接、計測すれば良いのである。

しかしながら、実務的観点からみると、すべての地区に対して、CVF計測もしくは市街地防火性能指標計測に必要な詳細なデータを準備することは非常に困難であるし、また、明らかに防火上の問題の少ない地区についても詳細なデータを準備することは非効率的である。比較的容易に準備することの可能な市街地の指標を用いた「マクロ評価」によって、市街地の防火性能をある程度合理的に評価し、その結果問題がある可能性がある地区に対して詳細な市街地情報を準備し、「ミクロ評価」により評価をすることが、市街地の防火対策にとどまらず、市街地整備をする上で合理的な評価の手段であると考えられる。

以上の観点から、市街地防火性能のマクロ評価に関する本課題では、下記の課題について調査研究を行うこととする。

CVFと市街地防火性能の関係を明らかにする。

CVFによる市街地防火性能評価と不燃領域率、木防建ぺい率による評価の比較検討

容易に入手可能な市街地指標からCVFを推計する手法を開発する。

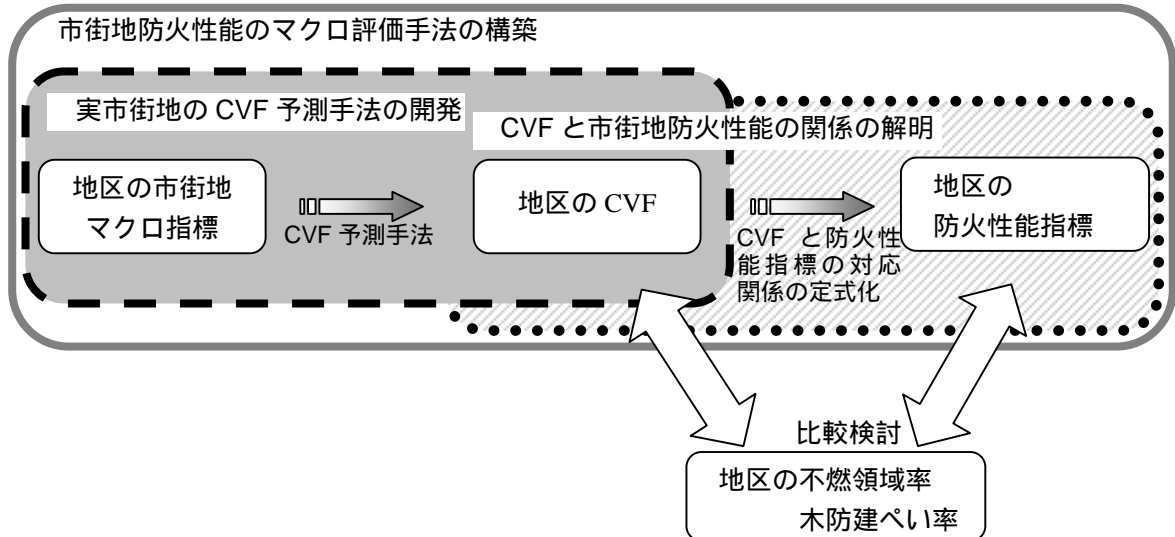


図 1.1.19 CVF を用いた市街地防火性能のマクロ評価手法の構築

(3)延焼限界距離

CVF を構成するの基本的概念の一つが「延焼限界距離」である。市街地延焼に関する代表的な延焼速度式である、浜田式、堀内式、室崎式では、延焼限界距離として、下記を示している。

i)浜田式（耐火造を想定）

$$\begin{aligned}
 \text{風下側延焼限界距離：} \quad D_1 &= 5.0 + 0.5U & (0 < t < 10 \text{ min}) \\
 D_2 &= 1.5D_1 & (10 < t < 30 \text{ min}) \\
 D_3 &= 3.0D_1 & (30 < t < 60 \text{ min}) \\
 D_4 &= 5.0D_1 & (60 < t)
 \end{aligned} \tag{12}$$

ii)堀内式（防火造を想定）

$$\begin{aligned}
 \text{風下側延焼限界距離：} \quad l_1 &= 2.5 + 0.25U & (0 < t < 10 \text{ min}) \\
 l_2 &= 1.5 l_1 & (10 < t < 30 \text{ min}) \\
 l_3 &= 3.0 l_1 & (30 < t < 60 \text{ min}) \\
 l_4 &= 5.0 l_1 & (60 < t)
 \end{aligned} \tag{13}$$

iii)室崎式（簡易耐火建築物を想定：以降、準耐火造と同等と見なす）

$$\begin{aligned}
 \text{風下側延焼限界距離：} \quad D_{m1} &= 1.25 + 0.125U & (0 < t < 10 \text{ min}) \\
 D_{m2} &= 1.5D_{m1} & (10 < t < 30 \text{ min}) \\
 D_{m3} &= 3.0D_{m1} & (30 < t < 60 \text{ min}) \\
 D_{m4} &= 5.0D_{m1} & (60 < t)
 \end{aligned} \tag{14}$$

すなわち、出火後の時間・風速を問わず延焼限界距離について、浜田式：堀内式：室崎式 = 4 : 2 : 1 となっている。これは、それぞれの延焼速度式構築時において延焼限界距離の設定の考え方（等温度曲線）が反映されているためと考えられる。

上記の式においては、いずれも延焼限界距離は出火後の経過時間ならびに風速によって変化・増大しているが、最盛期・最悪の風速を想定することは得策でない。CVF 自体は、可燃建物の延焼拡大連担性を表す指標とすることが主目的であるから、工学的根拠のある数値を採用することが必要である。建築基準法における延焼の恐れのある部分設定の根拠となった実大火災実験に立ち返って、火災の等

温度 4 級曲線、

$$h=0.04d^2 \quad (15)$$

に対して、 $h=6\text{m}$ を代入すると $d=12\text{m}$ となる。これは木造を火源としての 2 階軒先木部が着火する限界距離と見なすことができる。したがって、標準規模の建築物の火災に対する延焼限界距離として、本課題の中では、

- 1) 裸木造： 12m
- 2) 防火造： 6m
- 3) 準耐火造： 3m
- 4) 耐火造： 0m

とすることとし、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た。

また、前述したように、加害側の建物構造が決まれば延焼限界距離は定まるものとし、また、異種構造間の延焼方向については、それぞれの建物構造の延焼限界距離の平均値を両者の延焼限界距離として考え、隣棟間隔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して取り扱うこととした。

火源の建物規模と延焼限界距離の関係については、等温度曲線設定の経緯から、標準規模の建物として一辺長 10m を想定している（堀内三郎：建築防火）ことから、一般的に一辺長 $a[\text{m}]$ の規模の建築物（建築面積を $A[\text{m}^2]$ とすると $a=\sqrt{A}$ ）の場合の延焼限界距離は、輻射受熱量が同一になるところまで増減すると考える（なお、堀内は、 a の規模に比例して延焼限界距離をとることとしている）。

そこで 2 階建て（ $h=6\text{m}$ ）の建築物で、一辺長 10m の場合における上記の構造別に示されている延焼限界距離（ 12m 、 6m 、 3m ）離れた場所での形態係数（鉛直面）とほぼ同じ値が得られる距離をその一辺長の場合の延焼限界距離と考え、一辺長を変化させながらこれに対応する延焼限界距離を求めて、一辺長と延焼限界距離の関係を分析した。その結果、建築物の規模によって延焼限界距離の増減程度を補正した簡便な式とすると、下記のような式となった。ただし、一辺長 a の単位は $[\text{m}]$ である。

$$1) \text{裸木造： } D = 12 \cdot \left(\frac{a}{10}\right)^{0.442} = 4.34 \cdot a^{0.442} \quad [\text{m}]$$

$$2) \text{防火造： } D = 6 \cdot \left(\frac{a}{10}\right)^{0.322} = 2.86 \cdot a^{0.322} \quad [\text{m}]$$

$$3) \text{準耐火造： } D = 3 \cdot \left(\frac{a}{10}\right)^{0.181} = 1.98 \cdot a^{0.181} \quad [\text{m}]$$

$$4) \text{耐火造： } D = 0 \quad [\text{m}] \quad (16)$$

前述のように CVF 計測に当たってのバッファ発生は、建物の構造と規模（建築面積）に対応して、上記の延焼限界距離の半分の長さを適用してバッファ発生を行う。

1.1.5 実市街地における CVF と市街地防火性能の関係の検討

(1)CVF と市街地防火性能指標の計測

(a)CVF 計測の対象地域

東京都都市計画局によって整備された「都市計画デジタルデータ」(東京都区部)のうち、区部のデータを実市街地の CVF 計測のための基本データとして活用することとして準備した。CVF の集計の単位は、町丁目である。東京都区部は約 3000 の町丁目が存在し、「都市計画デジタルデータ」に基づけば、約 166 万棟の建物が記録されている。

(b)CVF の計測方法

東京都の都市計画デジタルデータは 2500m×1500m の図郭ごとに管理されており、図郭を跨ぐ建築物は別のものとして認識される。したがって、建築物の構造・規模に応じて延焼限界距離を決定する本研究に活用するためには、図郭によって分断されている建築物については、建物規模により延焼限界距離が異なるため、それらが一体のものとして認識されるようにする必要がある(図 1.1.20 参照)。

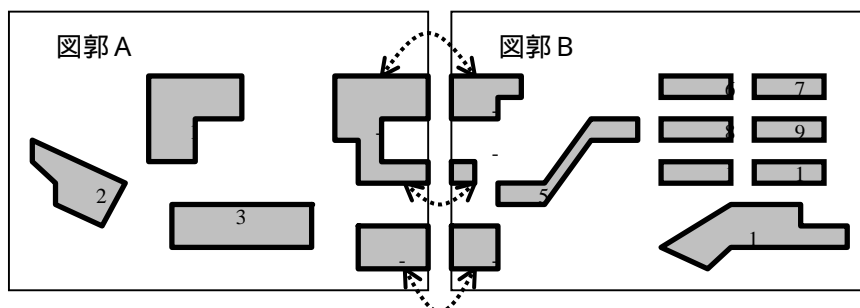


図 1.1.20 図郭を跨ぐ建築物情報

このため、図郭を跨ぐ建物を 1 棟として認識させる処理プログラムを構築したが、建物のデータ精度の関係から、建築物が一体のものとして認識しきれない場合も存在したため、最終的な確認・修正処理を人手によらざるを得ない部分が存在した。東京区部全体に対して、このような CVF 計測のための準備、CVF 計測作業には約 3 ヶ月を要した。なお、CVF 計測作業にあたって、GIS 及び計測プログラムの制約から、町丁目毎の計測を繰り返すと一定限界を超えると CVF を正確に計測することが困難となることが明らかになったため、計測上の問題のあった町丁目については除外して分析を行った。

CVF ならびに平均焼失建築面積、最大焼失率等の指標の計算にあたっては下記の方法が考えられる。

i)耐火造建築物を空地と同等の効果と見なす場合

市街地には耐火造建築物は存在しないことと同義として、可燃建築物(木造、防火造、準耐火造建築物)からのバッファの発生、バッファ面積の計算、クラスター内に含まれる建築物の面積の計算を行い、この結果に基づいて、平均焼失建築面積を計算する。

これは、耐火造を空地と同等の防火的機能を有するものと考えることと同義である。耐火建築物の防耐火的機能を積極的に考えれば、上図の場合、本来は耐火造によって木造から防火造へ、あるいは防火造から木造への延焼が阻止される可能性があるが、この方法ではこの効果を無視しており、それぞれからの火災が耐火造を飛び越えて相手に延焼着火する可能性がある。焼損建物棟数等の被害指標の計算にあたっては耐火造は対象外となる。

ii)耐火造建築物の延焼を考慮する場合

耐火造からは距離 0 のバッファが出ているものとして、バッファ面積計測の対象とすると

共に、他の建物からのバッファが耐火建築物に掛かる場合には、当該耐火建築物がバッファ領域として合算される。それぞれの耐火建築物はクラスター内の延焼に関しては焼失建築面積計算の対象となる。

これは、1つには耐火造といえども開口部からの類焼については、火災側の延焼限界距離以内に入っていれば、消防活動が期待できない場合には延焼着火は免れ得ないということを含意しているが、一方で、さらに他の建物からのバッファが当該耐火造の一部を含んでいれば、元々の火元の建物から耐火造に延焼着火した火災が、耐火造建物から「さらに」他の建物に延焼着火していくことも評価の中に入っている。確かに、この現象は、阪神・淡路大震災でも大規模火災となった地域で散見されたものであり、全くあり得ない現象ではない。一方で、既述したとおり、耐火造からの延焼限界距離は0と設定したわけであるから、この延焼過程は形式上あり得ないと評価すべきであるが、先に述べた理由により、バッファの大きさを延焼限界距離の半分とすることで、延焼危険評価のバランスを加味して妥協したものともしえる。この指標は、市街地防火性能をできるだけ安全側に評価しようという考えに立つてのCVFの値となる。焼損建物棟数等の被害指標の計算にあたっては耐火造も含まれる。

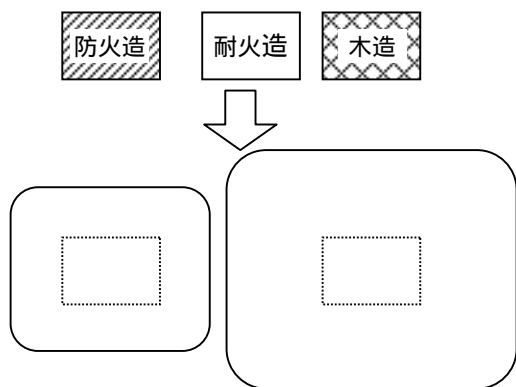


図 1.1.21 建物から発生させるバッファ一例
(耐火造建築物を空地と見なす場合)

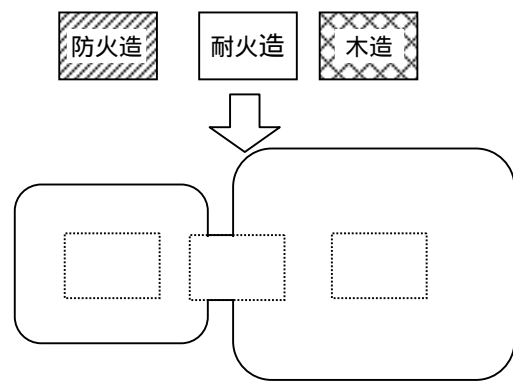


図 1.1.22 建物から発生させるバッファ一例
(耐火造建築物の延焼を考慮する場合)

このほかに可能性のある CVF の計測方法としては、下記の方法が考えられる。

iii)耐火造建築物に及ぶバッファの影響を排除する場合

上記の i)では、耐火造は空地と同様の扱いであるが、ここでの方法は、他の構造建物からのバッファが耐火造にかかる場合、耐火造部分と重なるバッファ部分を CVF の計算から除くという方法である。これは、i)で無視した耐火造の延焼阻止効果をより積極的に考えた場合と考えられる。つまり、建物の配置状況によっては、耐火造が中間にあっても上記 i)、ii)の方法では耐火造以外の建物のバッファが重なってい

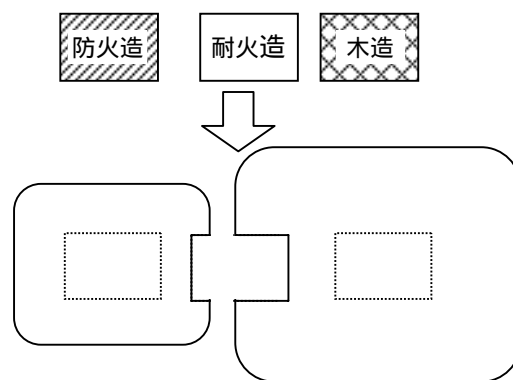


図 1.1.23 建物から発生させるバッファ一例
(耐火造建築物に及ぶバッファを排除する場合)

る部分の影響を排除することができず延焼拡大する場合でも、iii)の方法によれば、耐火造によってバッファの重なりが切断されるため、耐火造による延焼阻止が効果的に評価できる可能性があるが、焼損建物棟数等の被害指標の計算にあたっては耐火造は対象外となる。

(c)CVF の計測方法に関する定性的比較

これらの CVF ならびに平均焼失建築面積、最大焼失率等の指標の計測方法の中から、最も現実の火災現象を反映した計測方法を採用する必要がある。iii)の方法は、耐火造による延焼阻止効果を積極的に評価した方法であるが、一方では、阪神・淡路大震災での被災状況の中に、耐火造を経由して延焼拡大が発生したと考えられる事例が見られるように、耐火造の延焼阻止効果を 100%期待するのは困難であるので、この方法での計測は行わないこととした。

i)と ii)の方法を比較すると、i)の方法が耐火造を空地並みに取り扱っているのに対して、ii)の方法では、耐火造に延焼した火災から更に他の建物に延焼拡大する可能性をより大きく評価している。耐火造はその用途・規模により内部に防火区画が設置されている建物も多く存在し、外部からある部分に延焼が及んだ場合でも、内部で延焼が必ず拡大するわけではない。その意味で、ii)の方法は大局的には耐火造建築物の防耐火性能を過小評価しすぎている嫌いがある。一方で、i)の方法では耐火造は空地並みの延焼阻止効果としてしか評価されていないが、ii)の方法と比較すれば、より大きな延焼阻止効果があると見なしていることが分かる。

耐火造建物の延焼効果に着目した場合には、現実には i)と iii)の間にあるのではないと思われるが、前述したように、火災の拡大過程を考慮すると、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のは自明であり、そのような火災拡大にともなう延焼限界距離の増加を CVF は考慮していないことには注意すべきであり、上記の計測方法でもより安全側に考慮しておくことが必要と思われる。

以上を勘案し、本研究では上記の i)の計測手法、すなわち「耐火造建築物を空地と同等の効果と見なす」方法を採用することとした。

(d)CVF と市街地防火性能指標の計測

CVF 指標

CVF 指標としては、下記の 2 種類の値を定義した。

a. $CVF = \text{町丁目内のバッファー面積} / \text{市街地面積}$ (正確に言えば“グロス CVF”であろう)

b. $\text{セミグロス CVF} = \text{町丁目内のバッファー面積} / (\text{市街地面積} - \text{一定規模以上の空地面積})$

セミグロス CVF を準備する理由は、計測の対象となる市街地の中に、例えば建物が立地する領域では建物が連担して延焼拡大の恐れあるとして市街地防火性能上は危険度が高く評価されるにもかかわらず、部分的に大規模な空地が“偏在して”存在することによって、CVF の値そのものは小さくなってしまうという、空地系の偏在による“ノイズ”をできる限り除去することをねらったものである。

また、広幅員道路の存在も同様な影響があると考えられるので、セミグロス CVF として下記の指標も考えることができる。

c. $\text{セミグロス CVF2} = \text{町丁目内のバッファー面積} / (\text{市街地面積} - \text{一定規模以上の空地面積} - \text{一定幅員以上の道路面積})$

しかしながら、対象とする広幅員道路は可燃建築物の連担を“分断”する大きな要素となりうるので、大規模空地の偏在の効果と同様の取り扱いをすることは適当ではないと考えられる。むしろ、広幅員道路の割合や線密度によって市街地防火性能指標を補正する補正項として取り扱うことが必要で

あると考えられる。そのため、ここでは、上記のセミグロス CVF2 による検討は行わないこととした。

なお、上式における「一定規模以上の空地面積」及び「一定幅員以上の道路面積」については、東京消防庁の市街地状況調査(第6回:平成12年3月)を用いたので、定義としては下記の通りである。

i)一定規模以上の空地面積

市街地状況調査の中では、「市街地面積に対する大規模空地および公園の面積」とされている。この中で、「大規模空地」及び「公園」の定義は下記の通りである。

大規模空地

次のいずれかに該当する不燃領域。

- ・幅員 40m 以上の河川、軌道等およびこれに連なる用地からなる不燃領域。
- ・短辺 40m 以上で面積が 3,000 m²以上の公園、墓地、運動場およびその他の空地で当該部分にある建築物の建ぺい率が 2% 以下の不燃領域。

公園

大規模空地より規模の小さい公立の公園

ii)一定幅員以上の道路面積

市街地状況調査に従えば、「震災時通行可能道路」として下記の定義の道路を道路率計算の基礎データとしている。

次に示す地盤状況等に応じた一定の幅員を有する道路。

- a) 地盤軟弱地域 7.5m
- b) a)以外の地域 6.5m
- c) 空地、耐火造建築物等(公園、緑地)に面した道路 5.5m

市街地防火性能指標

市街地防火性能指標としては、下記の値を定義した。

・平均焼失建築面積

建築物周辺へのバッファ発生によって得られたクラスター*i*($i=1 \sim n$ (n :クラスター数))内の可燃建物(前述の CVF 指標の検討では計測手法を採用することとしたため、木造、防火造、準耐火造が対象である)棟数 t_i とその建築面積合計 A_i から次式で計算される「地区内の 1 火点の出火を前提とした対象地区内の焼失建築面積の期待値」である。

$$\text{平均焼失建築面積} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad \text{ただし、} n : \text{クラスターの数} \quad (17)$$

- ・平均焼失建築面積割合(対市街地面積) = 平均焼失建築面積 / 市街地面積
 - ・セミグロス平均焼失建築面積割合 = 平均焼失建築面積 / (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)
- 上記の“一定規模以上の空地面積”は、既述のものと同一である。

- ・平均焼失建築面積割合(対全建築面積) = 平均焼失建築面積 / 全建築面積

耐火造を含む全建物の建築面積の合計に対する平均焼失建築面積の割合を示すものである。

- ・最大焼失建築面積割合(対全建築面積) = 最大焼失建築面積 / 全建築面積

建築物周辺へのバッファ発生によって得られたクラスター*i*($i=1 \sim n$ (n :クラスター数))内の可燃建物の建築面積合計 A_i の最大値である。

$$\text{最大焼失建築面積} = \text{Max}\{A_i | i=1 \sim n\} \quad \text{ただし、} n : \text{クラスターの数} \quad (18)$$

(2)CVF 計測結果の状況と市街地防火性能指標との関係分析

(a)CVF 指標の分布

CVF 指標の値の分布を図 1.1.24～1.1.25 に示す。定義から、CVF に比較してセミグロス CVF はその値がおおきくなっており、CVF の場合には 0.45～0.50 の間に最頻値が存在し、セミグロス CVF の場合には、最頻値は 0.50～0.55 に移動するとともに、全体的な分布形状に多少変化がみられ、CVF の場合には値の小さなところに比較の数多くの町丁目が分布しているのに対して、セミグロス CVF の場合にはその町丁目が中央付近に移動しているものと見られる（図 1.1.26）。

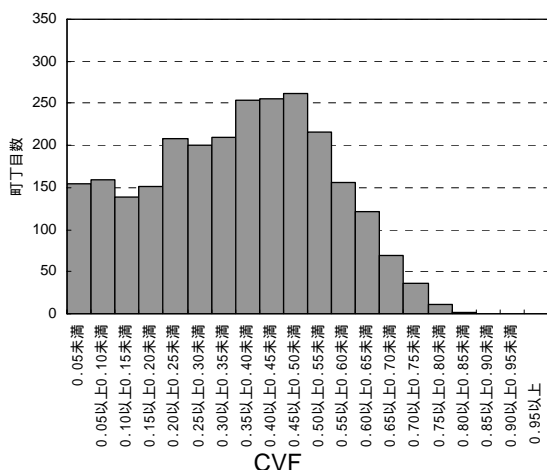


図 1.1.24 CVF の値の分布

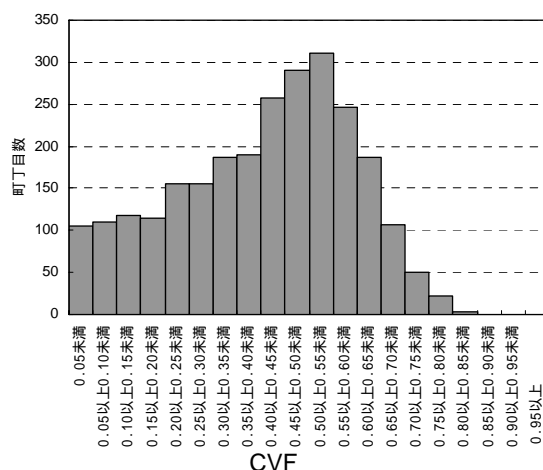


図 1.1.25 セミグロス CVF の値の分布

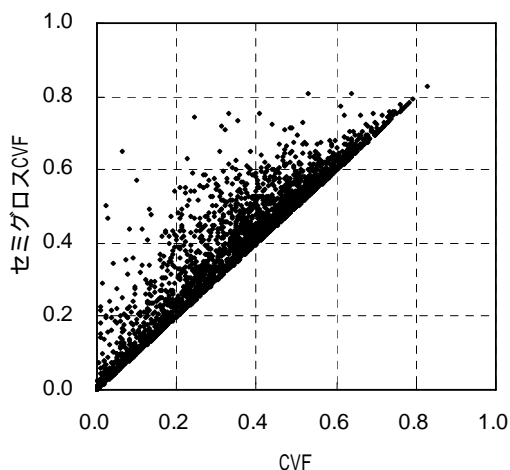


図 1.1.26 CVF とセミグロス CVF の関係

(b)CVF 指標と市街地防火性能指標の関係

上記の定義に基づき、東京 23 区の町丁目単位の CVF（セミグロス CVF）と各種市街地防火性能指標の関係を下記に示す。図 1.1.27～31 では、左段が「CVF と各種市街地防火性能指標の関係」を示したものの、右段が「セミグロス CVF と各種市街地防火性能指標の関係」を示したものである。

これらの図から、いずれの防火性能指標でも、CVF の場合には 0.5 前後から、セミグロス CVF の場合には 0.55 前後（いずれも散布図の平均的な傾向として）から急速に防火性能指標の値が上昇する傾向がみられ、CVF（セミグロス CVF）の値に対して防火性能指標は一定の閾値を持っているものと推

察される。CVF の値が 0.5 以下になる町丁目の数、ならびにセミグロス CVF の値が 0.55 以下になる町丁目の数はともに全体の 76% 程度である。

また、CVF に比較してセミグロス CVF の方がグラフ内の点のバラツキが少なく、大規模空地の地区内での偏在がもたらす CVF と防火性能指標の乖離を相対的に低減させており、より精度良く防火性能指標を説明することができる傾向が見られる。このことから、CVF による防火性能評価のためには、CVF よりもセミグロス CVF を用いることが望ましいと言える。

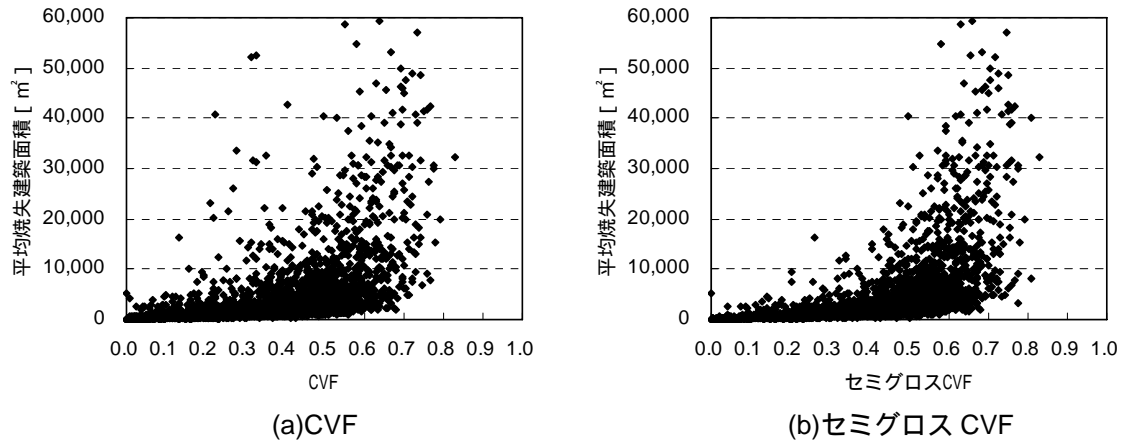


図 1.1.27 CVF と平均焼失建築面積の関係

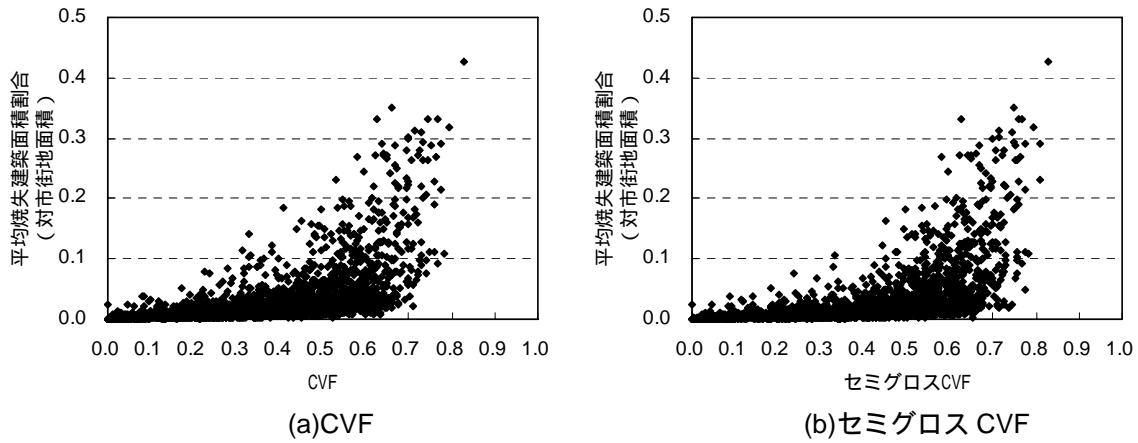


図 1.1.28 CVF と平均焼失建築面積（対市街地面積）の関係

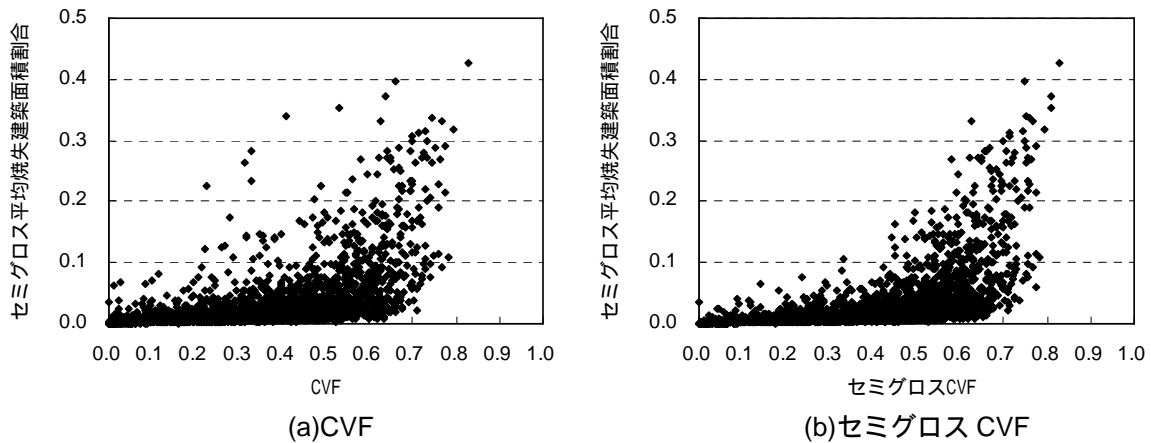


図 1.1.29 CVF とセミグロス平均焼失建築面積割合の関係

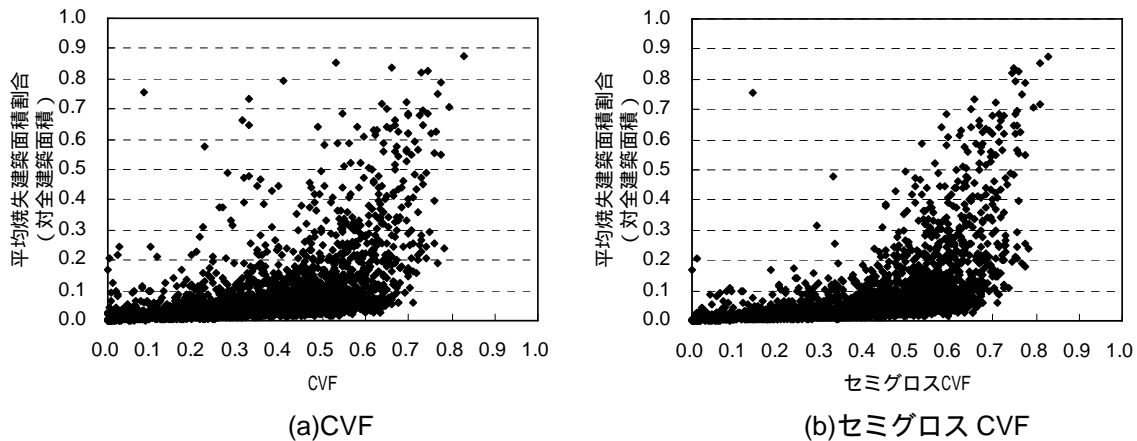


図 1.1.30 CVF と平均焼失建築面積割合（対全建築面積）の関係

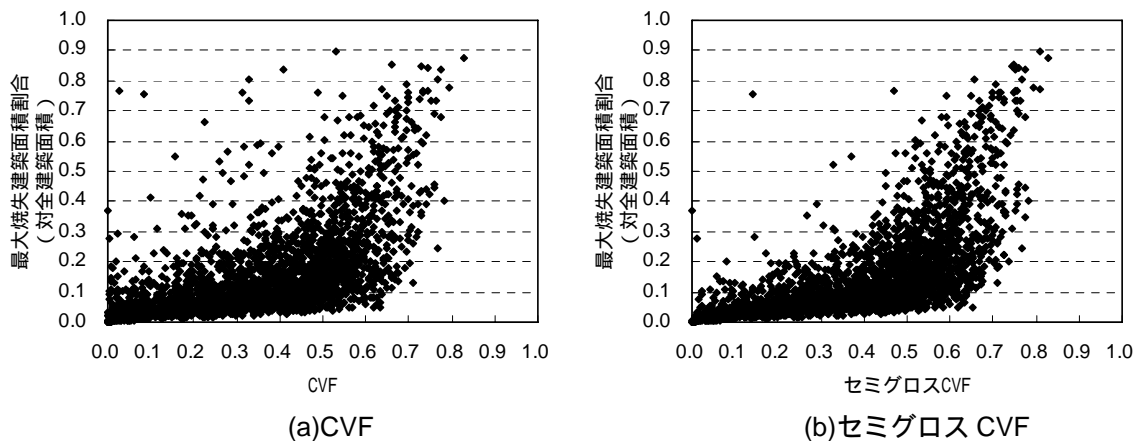


図 1.1.31 CVF と最大焼失建築面積割合（対全建築面積）の関係

そこで、以降の検討では、CVFではなくセミグロス CVF と防火性能指標の関係について見ていくこととする。

(c)不燃領域率、木防建ぺい率（セミグロス）と市街地防火性能指標

市街地防火性能の代表的指標である不燃領域率、木防建ぺい率（セミグロス）とセミグロス CVF の関係についてみたものが図 1.1.32～1.1.33 である。なお、ここで指標化されている不燃領域率と木防建ぺい率は下記の定義によって計算を行っている。

i)不燃領域率

$$\text{不燃領域率} = \text{空地率} + (1 - \text{空地率}) \times \text{耐火造率} \quad (19)$$

$$\text{空地率} = (\text{一定規模以上の空地面積} + \text{一定幅員以上の道路面積}) / \text{市街地面積} \quad (20)$$

$$\text{耐火造率} = \text{耐火造建築面積} / \text{全建物建築面積} \quad (21)$$

ii)木防建ぺい率

$$\begin{aligned} \text{木防建ぺい率} &= (\text{裸木造建築面積} + \text{防火造建築面積} + \text{耐火造建築面積}) \\ &\div (\text{市街地面積} - \text{一定規模以上の空地面積} + \text{一定幅員以上の道路面積}) \quad (22) \end{aligned}$$

なお、これらの式で、“一定規模以上の空地面積”や“一定幅員以上の道路面積”は既述のものと同じである。

これを見ると、当然ではあるが、不燃領域率とセミグロス CVF の間には負の相関、木防建ぺい率とセミグロス CVF の間には正の相関が見られるが、非常に強い相関ではなくある程度のバラツキが発生している。参考までに、不燃領域率と木防建ぺい率の関係について、図 1.1.34 に示す。

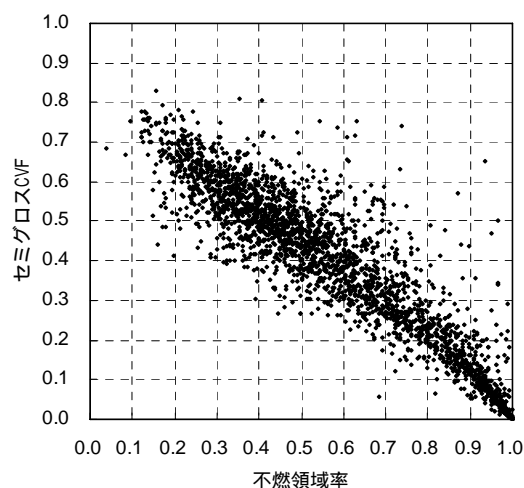


図 1.1.32 不燃領域率とセミグロスCVF の関係

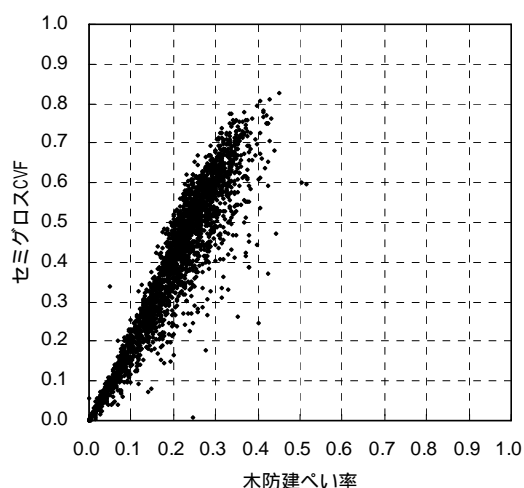


図 1.1.33 木防建ぺい率とセミグロスCVF の関係

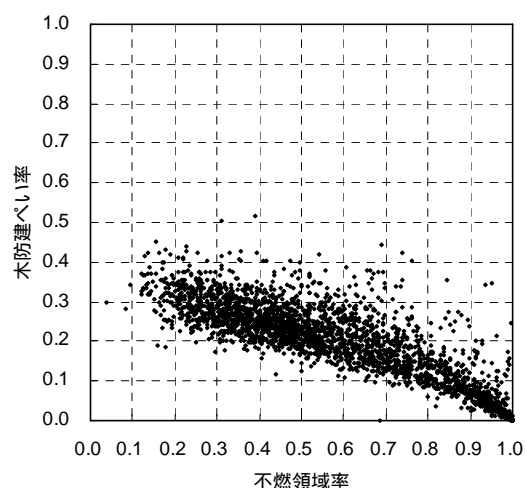


図 1.1.34 不燃領域率と木防建ぺい率の関係

セミグロス CVF と同様に、不燃領域率、木防建ぺい率と先に定義した 5 種類の市街地防火性能指標の関係を表したものが図 1.1.35 ~ 1.1.39 である。

不燃領域率や木防建ぺい率の値が変化すると市街地防火性能指標値もある程度の変化をする。しかしながら、不燃領域率の低いところ、木防建ぺい率の大きいところでは、市街地防火性能指標値が小さな地区が多いものの、市街地防火性能指標値はバラつくようになる。したがって、不燃領域率や木防建ぺい率の値の変化に対して感度良く市街地防火性能指標値が変化していないことが分かる。

これに対してセミグロス CVF は一定の値になると防火性能指標値の下限値が立ち上がり、防火性能が大きく変化する傾向を示す。これは、不燃領域率や木防建ぺい率が地区の集計指標によってのみ計算され、建物の即地的な構造・配置を直接には反映していないのに対して、セミグロス CVF は即地的な建物配置・構造に基づいて計測されるために、より、現実の市街地構造を説明できるからである。図 1.1.32 ~ 1.1.33 に見られるセミグロス CVF と不燃領域率や木防建ぺい率の関係において相当のバラツキが見られるのは、このような即地的な建物・構造の配置情報が主たる原因とみることができよう。

以上のことから、セミグロス CVF は、既存指標である不燃領域率や木防建ぺい率に比較して、市街地防火性能を説明するのにより優れた指標であると考えられる。

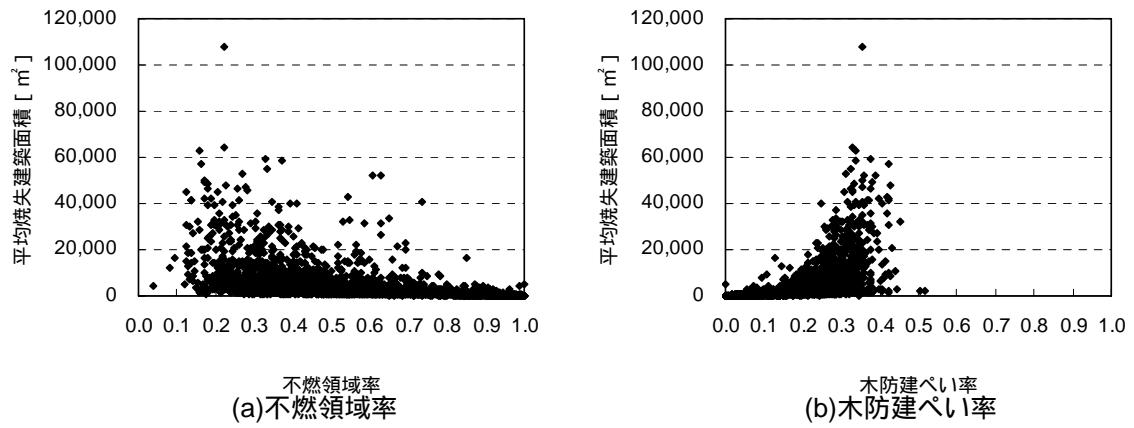


図 1.1.35 既存指標と平均焼失建築面積の関係

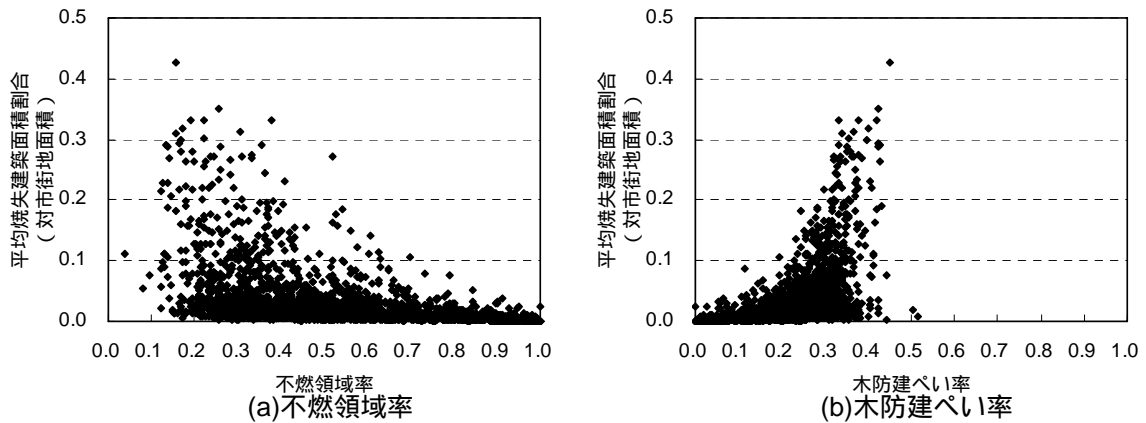


図 1.1.36 既存指標と平均焼失建築面積 (対市街地面積) の関係

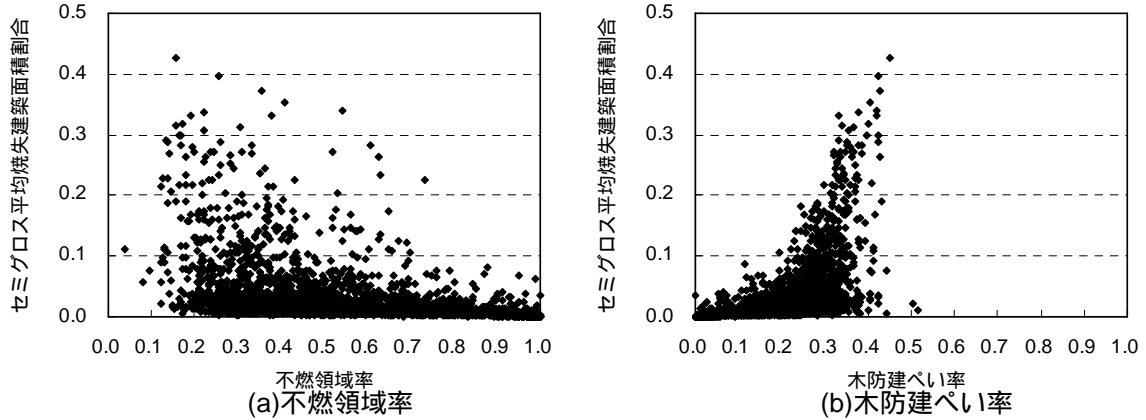


図 1.1.37 既存指標とセミグロス平均焼失建築面積割合の関係

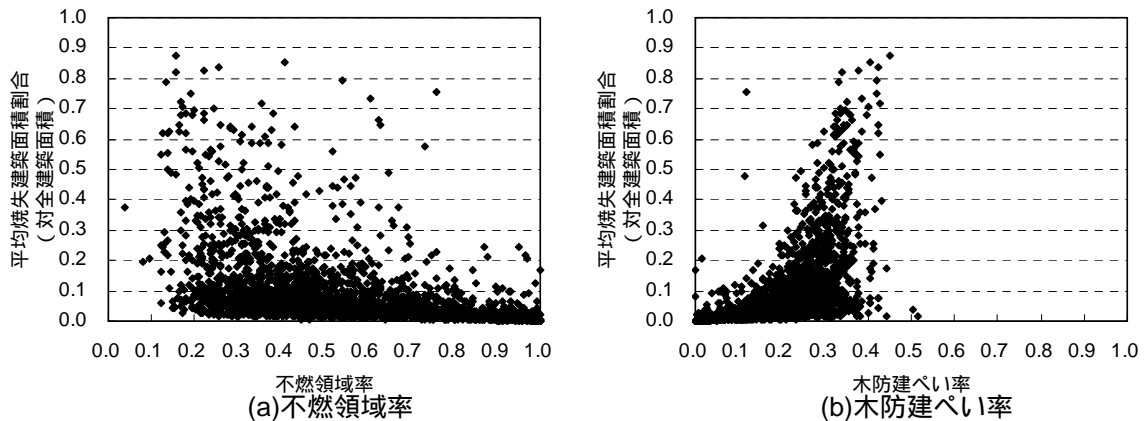


図 1.1.38 既存指標と平均焼失建築面積割合 (対全建築面積) の関係

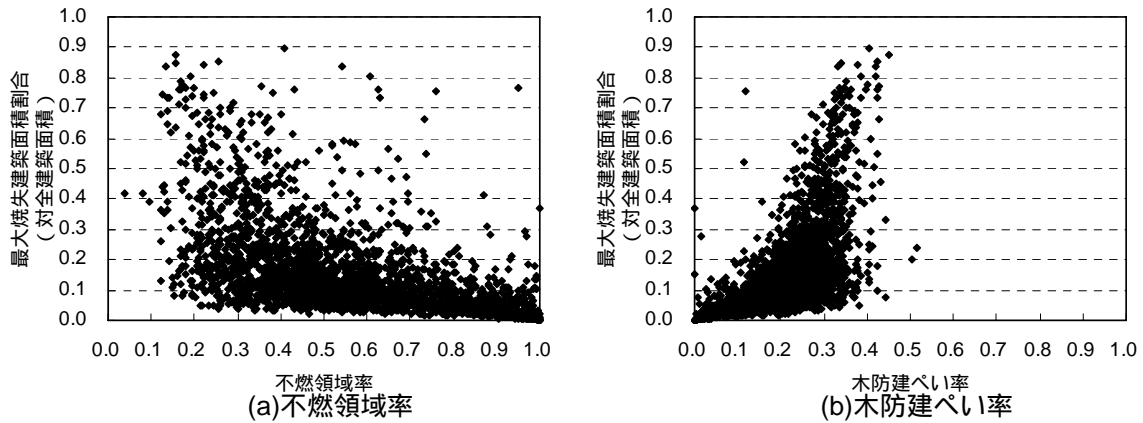


図 1.1.39 既存指標と最大焼失建築面積割合（対全建築面積）の関係

(d) 町丁目内の建物棟数が市街地防火性能指標に及ぼす影響

CVF が依拠しているパーコレーション理論に従えば、市街地防火性能指標がばらつく主な原因の 1 つとして、スケール（対象地区内の建物棟数）の違いが影響していることが予想される。

これについては前述した理論的検討結果から、市街地防火性能の値が立ち上がる閾値付近では CVF の値とスケーリング関数及び地区スケールの代表指標によって、防火性能指標を一元的に取り扱うことができる、ということが得られているが、ここでは別のアプローチとして、対象地区内の建物棟数をランキングし、CVF 指標と市街地防火性能指標の関係を分析することにする。

東京都区部町丁目内の建物棟数の状況

東京都区部の町丁目単位の建物棟数の分布状況を示したのが図 1.1.40 である。

町丁目単位の建物棟数は、最小は建物が全くない町丁目から、最大で 2259 棟ある町丁目まで幅がある。ただし、1000 棟を超えるような町丁目はそれほど多くなく、2000 棟を超えるものは上記の 1 地区のみである。最も数が多いのは 300～400 棟の範囲にあるものであり、全町丁目の平均は 531 棟となっている。

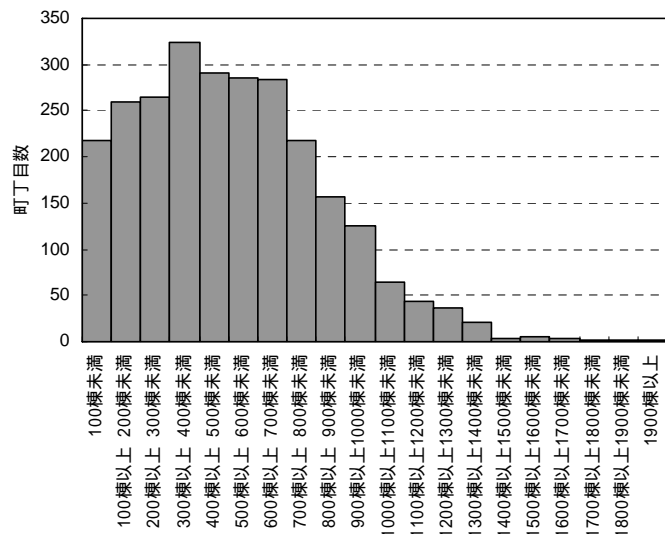


図 1.1.40 東京都区部町丁目内の建物棟数分布

市街地の大きさによるセミグロス CVF と市街地防火性能指標の関係の違い

ここでは、セミグロス CVF と代表的な

市街地防火性能指標となりうる平均焼失建築面積割合（対全建築面積）との関係について、市街地の大きさの効果（スケール効果）について検討する。

全建物棟数 300 棟刻みと 500 棟刻みの 2 通りのランキングで、両指標の関係を示したものが図 1.1.41～図 1.1.48 である。全建物棟数が多くなるにつれて、分布のかたまりが次第に右の方に移動していく。全建物棟数が多いほど建物棟数密度が高くなり、可燃建物が連担する割合が多くなることが推測されるが、この散布図のみでは地区の大きさよる分布の傾向に差があるのかどうかは判断しにくい。

そこで、セミグロス CVF を 0.02 刻みで区切り、それぞれの平均焼失面積割合（対全建築面積割合）

の平均値を求め、それぞれの地区の大きさのランク毎に比較を行った。計算は500棟刻みの場合で行った。その結果を図1.1.49～1.1.51に示す。同図には平均値だけでなく標準偏差も示してある。

これらを見ると、全建物棟数500棟未満、500～1000棟、1000棟以上の3つのランクにおいて、少数の外れ値はあるものの、セミグロスCVFと平均焼失面積割合（対全建築面積割合）の関係には、あまり大きな違いは認められない。このような東京区部という一つのケースの結果から直ちに結論を出すのは早計であるが、東京都区部の町丁目のように大部分が2000棟未満に収まるような市街地規模では、スケーリングによる効果はほとんど気にする必要がない、ということが言えよう。

以上の検討の結果を踏まえ、以降では地区の大きさ毎にグループ化しないで分析を行うこととする。

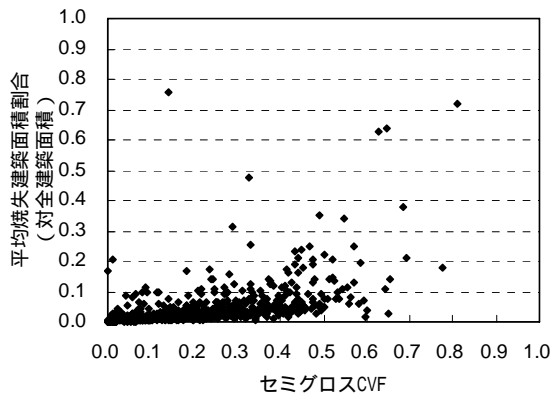


図 1.1.41 セミグロスCVFと平均焼失建築面積割合（対全建築面積）：棟数300棟未満

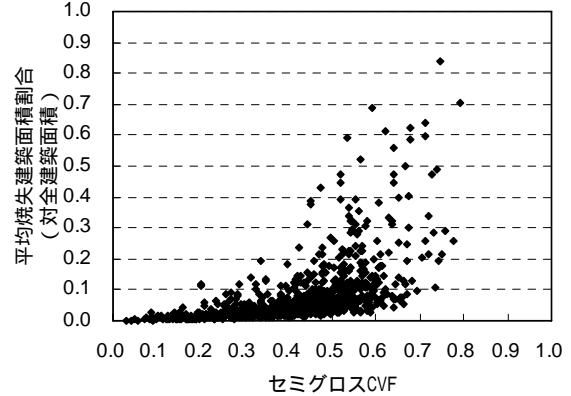


図 1.1.42 セミグロスCVFと平均焼失建築面積割合（対全建築面積）：棟数300以上600棟未満

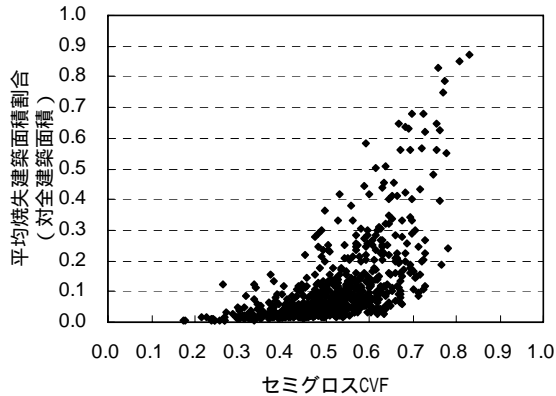


図 1.1.43 セミグロスCVFと平均焼失建築面積割合（対全建築面積）：棟数600以上900棟未満

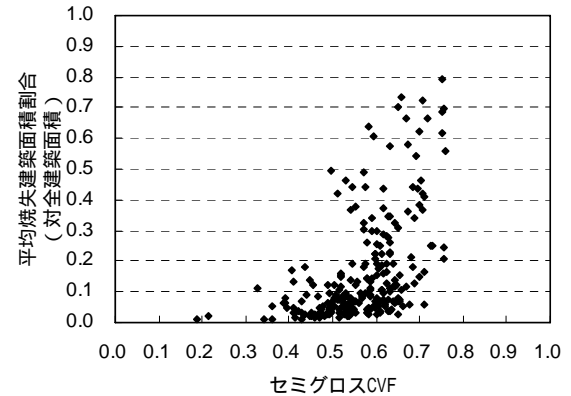


図 1.1.44 セミグロスCVFと平均焼失建築面積割合（対全建築面積）：棟数900以上1200棟未満

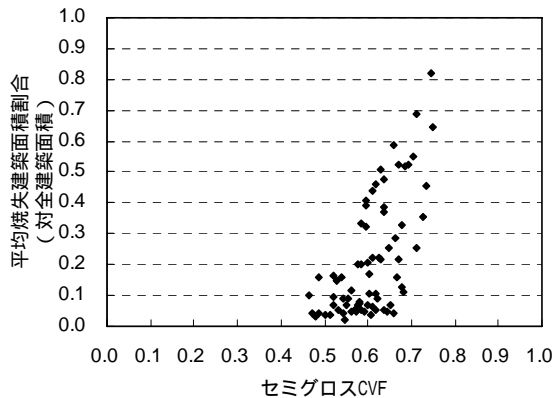


図 1.1.45 セミグロスCVFと平均焼失建築面積割合（対全建築面積）：棟数1200棟以上

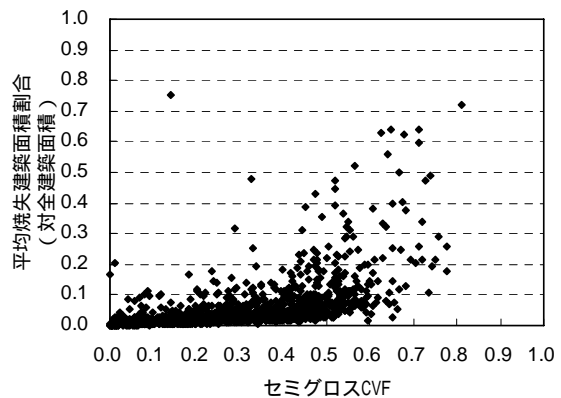


図 1.1.46 セミグロスCVFと平均焼失建築面積割合（対全建築面積）：棟数500棟未満

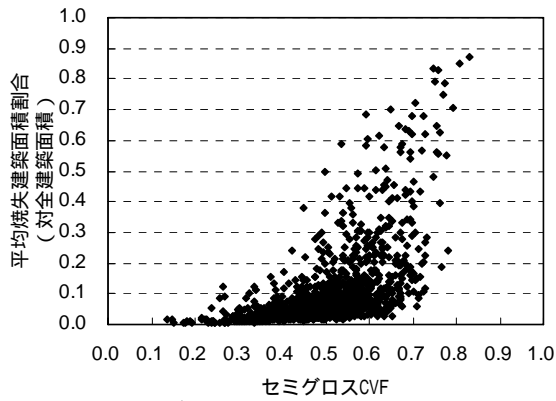


図 1.1.47 セミグロスCVF と平均焼失建築面積割合 (対全建築面積): 棟数 500 以上 1000 棟未満

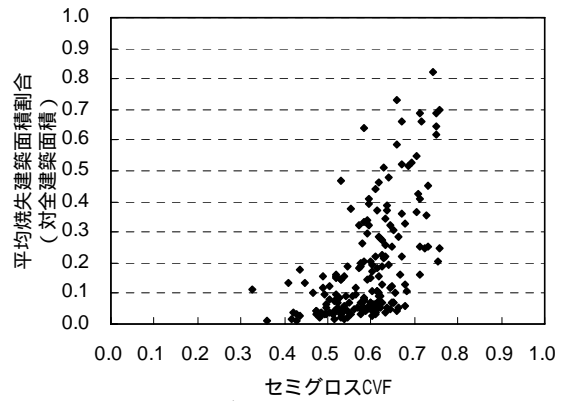


図 1.1.48 セミグロス CVF と平均焼失建築面積割合 (対全建築面積): 棟数 1000 棟以上

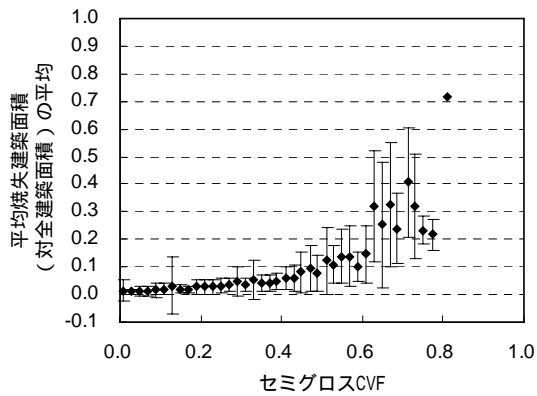


図 1.1.49 平均焼失建築面積割合 (対全建築面積割合) の平均値と標準偏差 (500 棟未満)

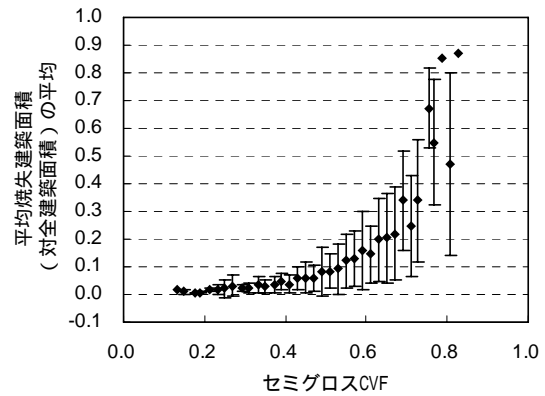


図 1.1.50 平均焼失建築面積割合 (対全建築面積割合) の平均値と標準偏差 (500 棟以上 1000 棟未満)

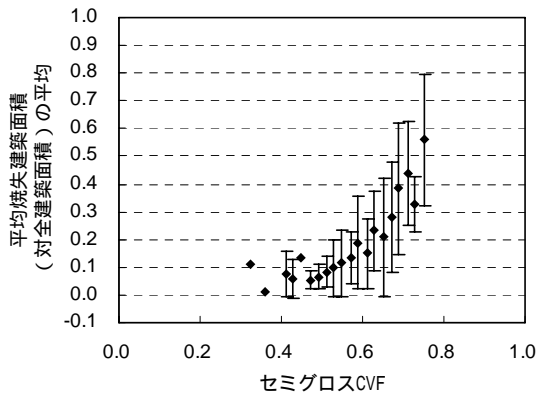


図 1.1.51 平均焼失建築面積割合 (対全建築面積割合) の平均値と標準偏差 (1000 棟以上)

(e) セミグロス CVF により市街地防火性能指標を説明する関数形

以上の検討結果から、セミグロス CVF により市街地防火性能指標を説明する関数形を求めることとする。これまで見てきたように、同程度のセミグロス CVF の値でも市街地防火性能指標の値にはバラツキがあり、一定値を取るものではない。これは、即地的な建物の配置や構造についてそれぞれの地区の特性が反映されているからである。換言すれば、市街地防火性能指標は 1 つのセミグロス CVF の値に対して確率分布するともいえる。

とは言っても、ある一定のセミグロス CVF の値に対して、

- ・「平均的には」どの程度の市街地防火性能指標になるのか
- ・「最大限悲観的に見積もった場合」どの程度の市街地防火性能指標になるのか

について予測できるようにしておくことは意味のあることである。

そこで、ここでは一定のセミグロス CVF に対して「平均的な市街地防火性能指標」と「計画的安全側に見なした場合の市街地防火性能指標」を説明する関数形を求めることとする。

平均的市街地防火性能評価関数

下記の図 1.1.52 ~ 1.1.55 の左段は、平均焼失建築面積以外の 4 つの防火性能指標の平均値と標準偏差 × 1 の範囲をセミグロス CVF を 0.02 刻みでプロットしたものである。それぞれの防火性能指標の平均値は比較的なめらかな曲線を当てはめることができそうに思われる。その曲線の傾向について考察すると、セミグロス CVF の値が大きくなるにしたがって、防火性能指標の値は 1.0 に近づき、やがて頭打ちになり 1.0 に収束することが想定される。様々な関数形について検討の結果、下記の関数形で防火性能指標の説明が可能であることが判明した。

$$\text{市街地防火性能指標} = 1 - \exp\left(-\frac{A_i}{CVF^{\alpha_i}}\right)$$

ただし、市街地防火性能指標：平均焼失建築面積以外の 4 指標の平均値
値は[0.0, 1.0]をとる。

CVF：セミグロス CVF の値 [0.0, 1.0]

A_i ：市街地防火性能毎に定まるパラメータ値

ニュートン法による非線形回帰分析の結果、平均的な市街地防火性能指標は、表 1.1.4 の式で精度良く表現されることがわかった。図 1.1.52 ~ 1.1.55 の右段には、市街地防火性能指標の実測値（平均値）と上記で求めた平均的市街地防火性能評価関数を示す。説明力は良好であるといえよう。

表 1.1.4 平均的市街地防火性能評価関数一覧

No.	市街地防火性能指標	関数形	分散比	重相関係数
1	平均焼失建築面積割合(対市街地面積)	$1 - \exp\left(-\frac{0.00477}{(1 - CVF)^{2.67}}\right)$	0.981	0.991
2	セミグロス平均焼失建築面積割合	$1 - \exp\left(-\frac{0.00562}{(1 - CVF)^{2.60}}\right)$	0.972	0.986
3	平均焼失建築面積割合(対全建築面積)	$1 - \exp\left(-\frac{0.01497}{(1 - CVF)^{2.67}}\right)$	0.972	0.986
4	最大焼失建築面積割合(対全建築面積)	$1 - \exp\left(-\frac{0.04016}{(1 - CVF)^{2.19}}\right)$	0.982	0.991

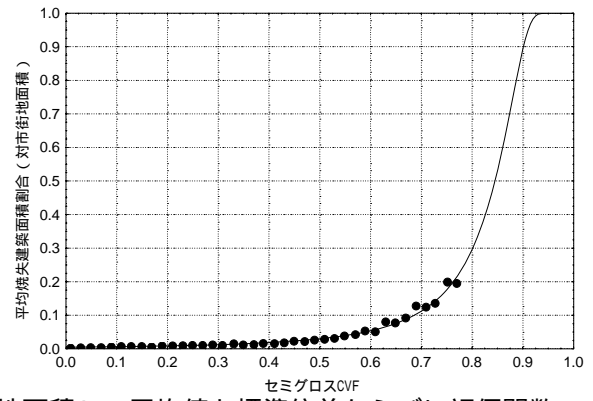
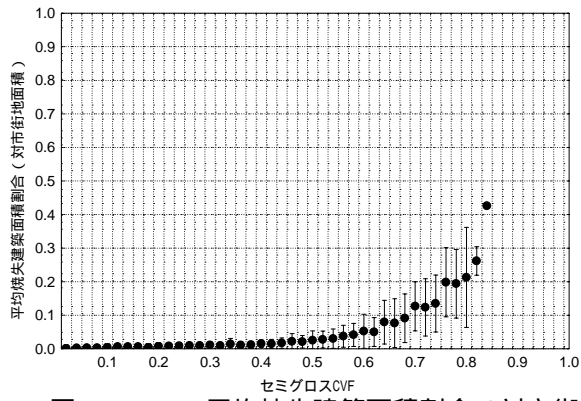


図 1.1.1.52 平均焼失建築面積割合（対市街地面積）の平均値と標準偏差ならびに評価関数

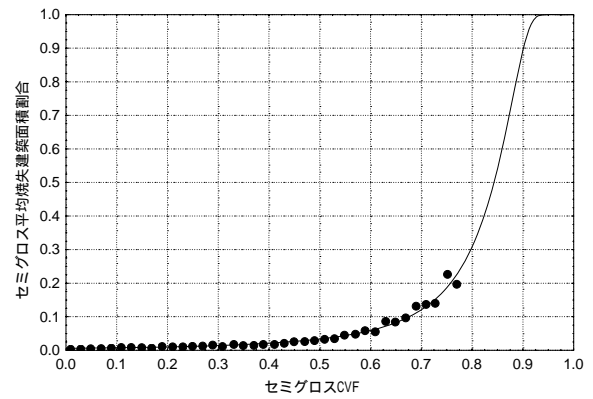
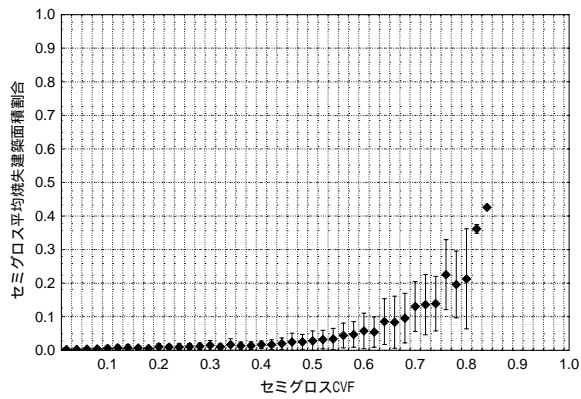


図 1.1.1.53 セミグロス平均焼失建築面積割合の平均値と標準偏差ならびに評価関数

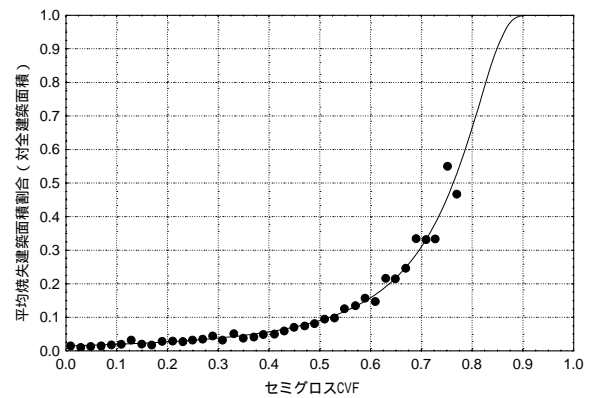
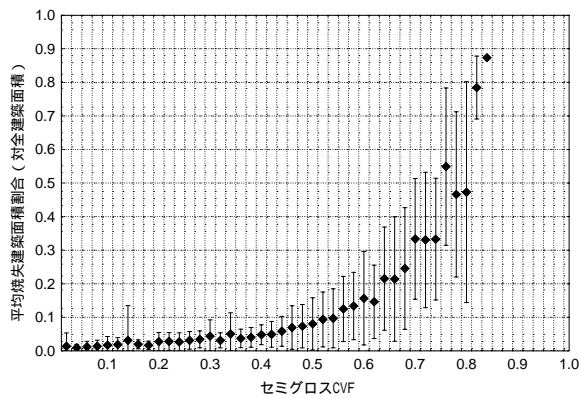


図 1.1.54 平均焼失建築面積割合（対全建築面積割合）の平均値と標準偏差ならびに評価関数

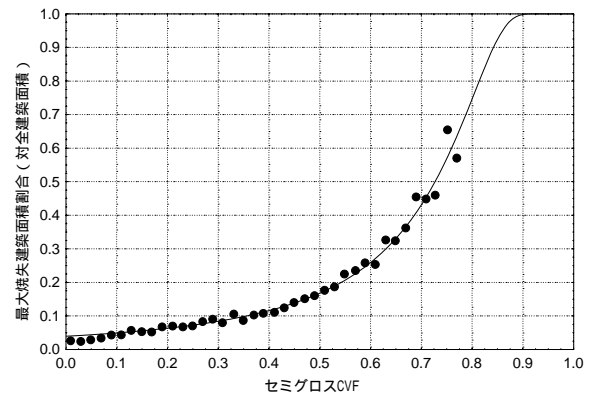
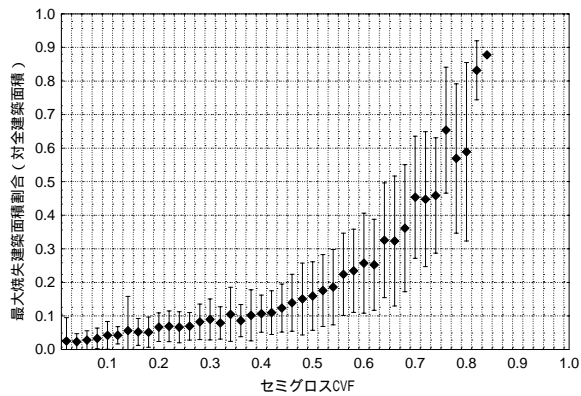


図 1.1.55 最大焼失建築面積割合（対全建築面積割合）の平均値と標準偏差ならびに評価関数

安全側市街地防火性能評価関数

ある正規母集団から選ばれた大きさ n の確率標本の平均値を \bar{X} 、分散を s^2 とするとき、次式で定義される変数、

$$t = \frac{(\bar{X} - \mu)\sqrt{n-1}}{s} \quad (23)$$

は、自由度 $n-1$ の t 分布をする。ただし、 μ は母集団平均値である。従って、 t 値の値を自由度 $n-1$ と確率 α に対応した値 $t_{\alpha, n-1}$ を用いれば、 $-t_{\alpha, n-1} \leq t \leq t_{\alpha, n-1}$ であれば、 \bar{X} という平均値を用いることは検定論では棄却されない。すなわち、

$$-t_{\alpha, n-1} \leq \frac{(\bar{X} - \mu)\sqrt{n-1}}{s} \leq t_{\alpha, n-1} \quad (24)$$

を満足する \bar{X} は確率 $1-2\alpha$ で採択される。言い換えれば、推計すべき母集団平均値 μ の値は確率 $1-2\alpha$ で、

$$\bar{X} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (25)$$

の範囲にあると言える。

この統計的議論での母集団平均値 μ を市街地防火性能の観点からとらえると、あるセミグロス CVF の値に対して市街地防火性能指標が確率分布する場合、市街地防火性能指標値を統計的安全側に推計することを考えると、その安全側推定値 $\hat{\mu}_{\alpha, n-1}$ は有意水準 $1-\alpha$ で、次式となる。

$$\hat{\mu}_{\alpha, n-1} = \bar{X} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (26)$$

ここで問題は母集団平均値 μ であるが、一般に標本平均値は母平均の一致推定量であり標本数 n が十分大きければ、母平均 μ にほぼ等しいと考えて良い。すなわち、次式で代替が可能である。

$$\bar{X}_{\alpha, n-1} = \bar{X} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (27)$$

そこで、今回は $\alpha=0.95$ として、図 1.1.52 ~ 1.1.55 の左段に示したように、平均焼失建築面積以外の4つの防火性能指標に対して、セミグロス CVF を 0.02 刻みとして平均値 \bar{X} と分散 s^2 を求め、上式から $\bar{X}_{\alpha, n-1}$ を計算し、安全側市街地防火性能指標値とした。計算結果を図 1.1.56 ~ 1.1.59 の左段に示す。

同図には、 \square 印で市街地防火性能指標値の安全側推定値を示し、 \circ 印で市街地防火性能指標値の平均値を示してその差もあわせて表示している。

各市街地防火性能指標の安全側推計値をセミグロス CVF で説明するための関数形については、平均値の推計の場合と同様に、下記の関数形で防火性能指標の説明が可能であることが判明した。

$$\text{安全側市街地防火性能指標} = 1 - \exp\left(-\frac{B_i}{CVF^{\beta_i}}\right) \quad (28)$$

ただし、市街地防火性能指標：平均焼失建築面積以外の4指標の安全側推計値
値は[0.0, 1.0]をとる。

CVF：セミグロス CVF の値 [0.0, 1.0]

β_i 、 B_i ：市街地防火性能毎に定まるパラメータ値

平均値でのモデル構築と同様、ニュートン法による非線形回帰分析の結果、安全側市街地防火性能指標は、表 1.1.5 の式で精度良く表現されることがわかった。ただし、セミグロス CVF 値が高いところ（セミグロス CVF 0.78）のサンプルは標本数が 1 もしくは 2 であり、十分有意な分析とはならないので、回帰分析の対象から除いて分析を行っている。図 1.1.56～1.1.59 の右段には、市街地防火性能指標の安全側推計値と上記で求めた安全側市街地防火性能評価関数を示す。説明力は良好であるといえよう。

表 1.1.5 安全側市街地防火性能評価関数一覧

No.	市街地防火性能指標	関数形	分散比	重相関係数
1	平均焼失建築面積割合(対市街地面積)	$1 - \exp\left(-\frac{0.00457}{(1 - CVF)^{2.94}}\right)$	0.993	0.996
2	セミグロス平均焼失建築面積割合	$1 - \exp\left(-\frac{0.00549}{(1 - CVF)^{2.84}}\right)$	0.987	0.994
3	平均焼失建築面積割合(対全建築面積)	$1 - \exp\left(-\frac{0.01307}{(1 - CVF)^{3.036}}\right)$	0.985	0.992
4	最大焼失建築面積割合(対全建築面積)	$1 - \exp\left(-\frac{0.03958}{(1 - CVF)^{2.41}}\right)$	0.990	0.995

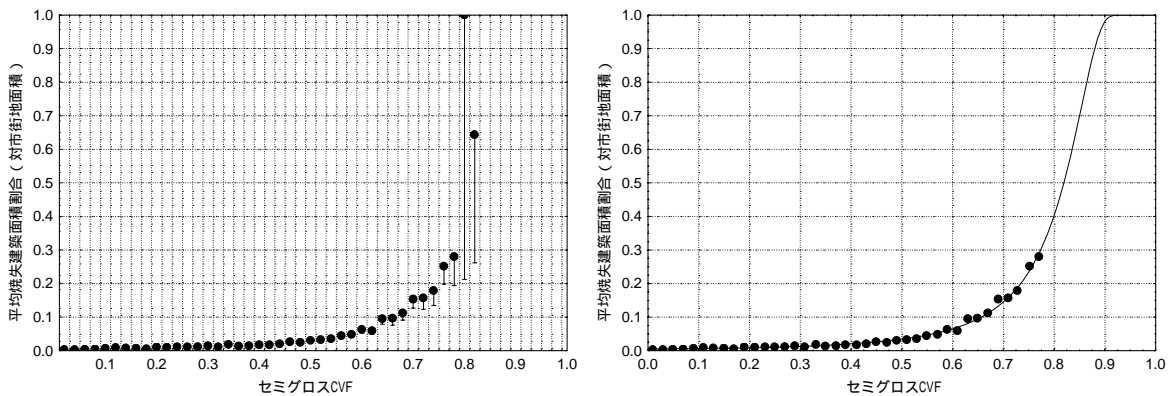


図 1.1.56 平均焼失建築面積割合（対市街地面積）の安全側推定値ならびに評価関数

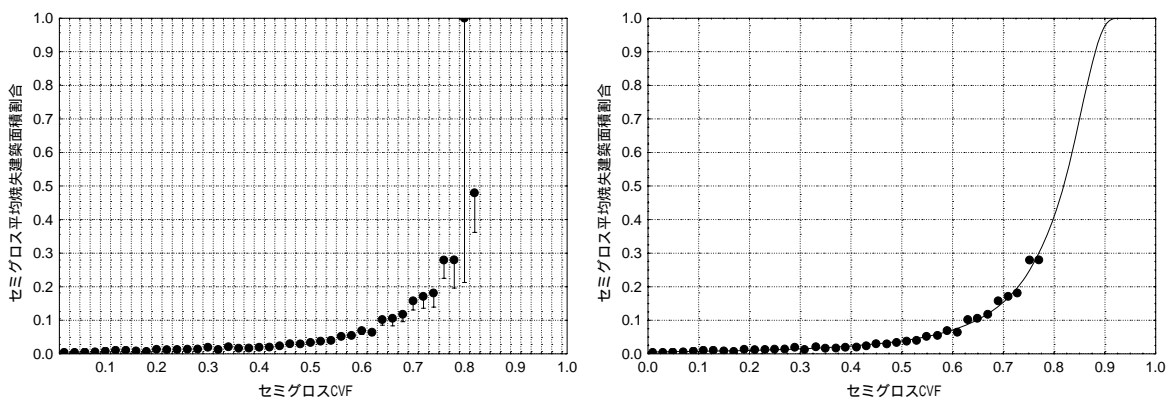


図 1.1.57 平均焼失建築面積割合（対市街地面積）の安全側推定値ならびに評価関数

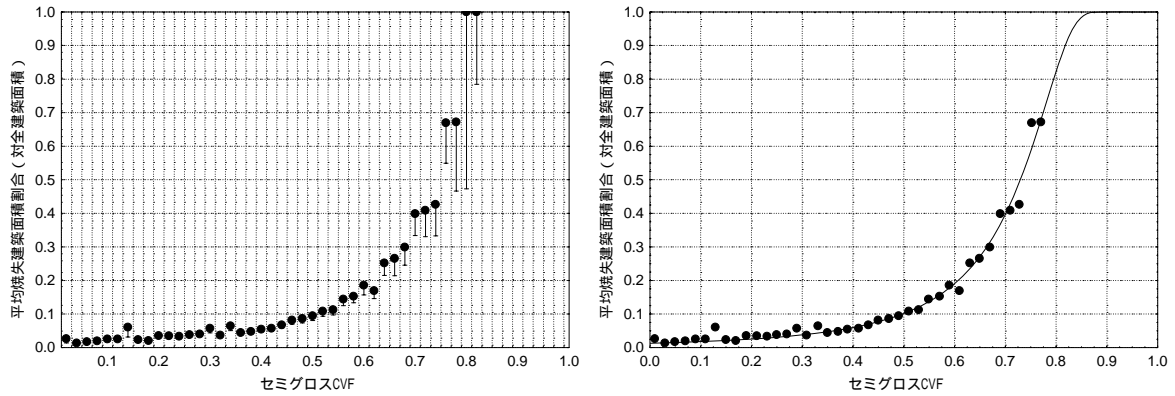


図 1.1.58 平均焼失建築面積割合（対市街地面積）の安全側推定値ならびに評価関数

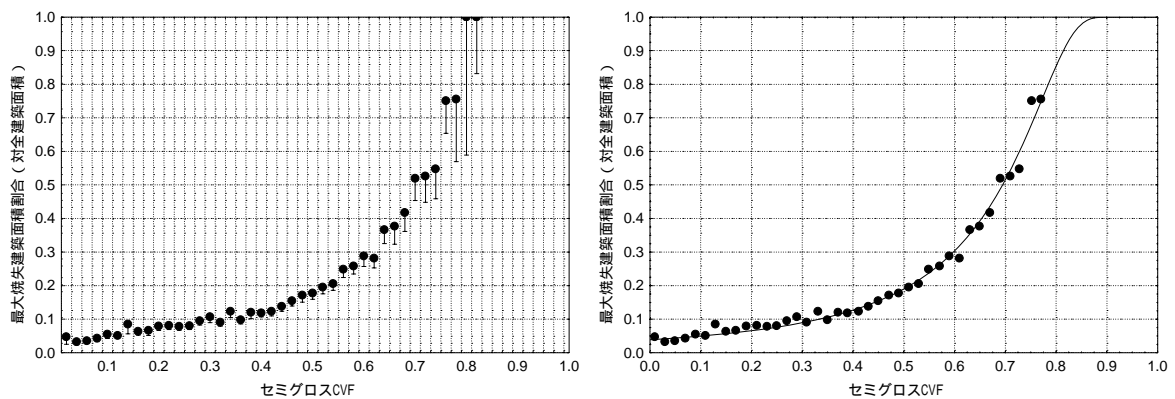


図 1.1.59 平均焼失建築面積割合（対市街地面積）の安全側推定値ならびに評価関数

(3)CVF 指標の予測手法

ここでは、容易に入手可能な市街地指標から CVF を推計する手法を構築することを目指す。これまでの議論から、既往の市街地防火性能指標とセミグロス CVF の間には比較的密接な関連性を見取ることができた。特に、木防建ぺい率（セミグロス）とは非常に近い関係にあるが、セミグロス木防建ぺい率は、裸木造、防火造、準耐火造の建ぺい率の重みを同一として算定している。これに対して、セミグロス CVF はそれぞれの建物の防耐火性能に応じて延焼限界距離が異なるためある種の重み付けがなされていると考えることができる。

そこで、以下のモデルを設定し、セミグロス CVF と裸木造建ぺい率（セミグロス）、防火造建ぺい率（セミグロス）、準耐火造建ぺい率（セミグロス）の間の関係を吟味することとした。

$$CVF = a \cdot m_a + b \cdot m_b + c \cdot m_c \quad (29)$$

ただし、	CVF : セミグロス CVF	閾値[0.0, 1.0]
	m_a : セミグロス裸木造建ぺい率	閾値[0.0, 1.0]
	m_b : セミグロス防火造建ぺい率	閾値[0.0, 1.0]
	m_c : セミグロス準耐火造建ぺい率	閾値[0.0, 1.0]

- セミグロス裸木造建ぺい率 = 裸木造建築面積 ÷ (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)
- セミグロス防火造建ぺい率 = 防火造建築面積 ÷ (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)
- セミグロス準耐火造建ぺい率 = 準耐火造建築面積 ÷ (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)

なお、これらの式で、“一定規模以上の空地面積”は既述のものと同じである。

原点を通る重回帰分析を前進ステップワイズ法により行った結果、上記の全ての変数を組み込むことになった。分析結果は下記の通りで、良好な下記モデルを構築することができた。次式で、回帰係数の右に記載されている()の数値は回帰係数の標準誤差、[]内の数値は自由度 2602 に対する t 値である。

$$\begin{aligned} \text{セミグロス CVF} = & 3.293 \times \text{セミグロス裸木造建ぺい率} & (0.033281) & [98.9544]^{***} \\ & + 2.136 \times \text{セミグロス防火造建ぺい率} & (0.008415) & [253.1637]^{***} \\ & + 1.340 \times \text{セミグロス準耐火建ぺい率} & (0.013513) & [99.1637]^{***} \quad (30) \end{aligned}$$

***1%有意

$$R = .997 \quad R^2 = .994 \quad \text{自由度調整済 } R^2 = .994$$

なお、各変数の相関行列は下記の通りである。

表 1.1.6 セミグロス CVF 予測に用いた変数の相関行列

	m_a	m_b	m_c	CVF
m_a	1.000	0.445	-0.371	0.688
m_b	-	1.000	-0.062	0.890
m_c	-	-	1.000	0.212
CVF	-	-	-	1.000

参考文献

- 1) Broadbend, Hammersley, J : Physics(1957)
- 2) G.E.Pike : percolation and conductivity, Phy.Rev.(1974)
- 3) 堀素夫 : 火災の伝播とパーコレーションモデル, 数理科学, (1974)
- 4) 橋房夫 : 市街地の延焼 - 乱配置を用いたシミュレーションの試み - , 火災 23, No.4, (1973)
- 5) 橋房夫 : でたらめ分布を用いた延焼の計算機実験(3)木造家屋, 耐火家屋, 空地の3者が混在している場合(1974)
- 6) 橋房夫 : 家屋配置の充填分布モデルと平均焼失率の算出,(1977)
- 7) 橋房夫 : 防火造り家屋の混在率が市街地の平均焼失棟数におよぼす影響, 火災 27, no5.(1975)
- 8) 建設省 : 都市防火対策手法の開発報告書, 国土開発技術研究センター,(1982)
- 9) 糸井川栄一, 塚越功, 青木義次 : 防火地域性と市街地の防火目標に関する一考察, 都市計画学会学術論文報告集, no.22,(1991)
- 10) 佐々木弘明・神忠久 : 都市火災の延焼確率, 災害の研究, 日本損害保険協会,(1978)
- 11) 青木義次 : 都市火災拡大の確率論的分析研究その3, 日本建築学会論文報告集, 第46号,(1988)
- 12) 糸井川栄一・塚越功・青木義次 : 防火地域性と市街地の防火目標に関する一考察, 都市計画学会論文報告集 no.22,(1991)
- 13) 加藤孝明他 : 市街地延焼からみた市街地整備のための性能基準に関する基礎的考察 - 不燃領域率による性能基準の一般化 - , 日本建築学会計画系論文集, vol. 516, (1999)
- 14) 加藤孝明他 : 市街地延焼からみた市街地整備のための性能基準に関する基礎的考察(その2) - 有限領域への展開 - , 日本建築学会計画系論文集, vol. 525(1999)
- 15) 加藤孝明他 : 市街地延焼からみた市街地整備のための性能基準に関する基礎的考察(その3) - 逐次充填分布に関する考察 - , 日本建築学会計画系論文集, vol. 534(2000)
- 16) 加藤孝明 : 延焼危険からみた市街地の防災性能の評価理論に関する基礎研究, 東京大学博士論文(1999)