1999年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

被災率を用いた避難施設の配置評価について

02004050 筑波大学 ＊石井 儀光 ISHII Norimitsu
01102840 筑波大学 腰塚 武志 KOSHIZUKA Takeshi

1. はじめに

地震時の同時多発出火を考えると消防能力を上回ることや消防設備が正しく機能しないことなどが予想されるため，消火作業だけで延焼の拡大を阻止することは困難であると予想される．そこで，広幅員道路や不燃建築物群などの延焼遮断帯によって囲まれた区画をつくる都市防火区画計画が進められている．延焼遮断帯の効果の測定に関する既存の研究はコンピュータによるシミュレーションが主流であるため，様々なデータをそろえたケーススタディーは可能であっても，より一般的にその効果を論じることは困難な状況にある．そこで，延焼遮断帯や避難路，避難所の整備状況が同時多発出火時の避難に関してどのような影響を与えるかということについて解析的に考察を行い，大局的にその構造を把握することができれば，都市防災対策の効果についてより一般的な考察を加えることができる．そこで，本研究では都市防災対策事業に対するマクロ的評価関数の例として，被災率 (文献 [2]) を用いて考察を行うこととする．

2. 被災率の導出

2.1. 同時多発出火モデルの定義

被災率を定義するために，被災距離分布及び避難距離分布という 2 つの距離分布を定義しておく．まず，モデル化のためにいくつかの仮定を設ける．都市領域の中で人は一様に分布しており，速度 v で移動するものとする．都市内で平均的に密度 ρ で出火点が一様にランダムに分布し，時刻 $T=0$ で出火すると同心円状に拡大を開始する．延焼領域の半径が拡大する速度を人の歩行速度の α 倍とすると，時刻 t における延焼領域の半径は αvt と表される．ここでは避難者の移動距離の分布に着目したいので移動距離 l を $l=vt$ と定義し，明示的に時間 t を用いることなく，被災距離 l で移動距離と同時に時間の経過も示すこととする．なお，避難者は出火と同時に任意の方向に向かって避難を開始する．これらの仮定の下で避難者が延焼領域に入るまでの移動距離が l 以下である確率 $F(l)$ および確率密度関数 $f(l)$ は，文献 [1] より，

$$F(l) = 1 - e^{-\rho\beta l^2} \quad (1)$$

$$f(l) = 2\rho\beta l\, e^{-\rho\beta l^2} \quad (2)$$

と表せる．ただし，表記を見やすくするために

$$\beta = \alpha\sqrt{1-\alpha^2} + (\pi - \arccos\alpha)\alpha^2 \quad (3)$$

とおいている．以下ではこの $f(l)$ を被災距離分布と呼ぶこととする．

2.2. 避難距離分布の導出

次に，そこまで来れば生命が担保されるような要求を満たす避難路や避難所等の施設に向かって避難する場合の避難距離分布を導出する．実際には対象地域毎に避難距離分布を計算するのであるが，ここでは一例として図 1 に示すような長辺 a，短辺 γa の矩形都市領域 D の中心に避難所 P がある場合について考察する．避難所までのレクティリニア距離が r 以下である確率を $G(r)$ とおくと，避難距離分布 $g(r)$ は，

(i) $0 \le r \le \gamma a/2$ のとき

$$g(r) = \frac{4}{\gamma a^2} r \quad (4)$$

(ii) $\gamma a/2 \le r \le a/2$ のとき

$$g(r) = \frac{2}{a} \quad (5)$$

(iii) $a/2 \le r \le (1+\gamma)a/2$ のとき

$$g(r) = -\frac{1}{\gamma a^2}\{4r - 2(1+\gamma)a\} \quad (6)$$

と計算できる (文献 [1])．

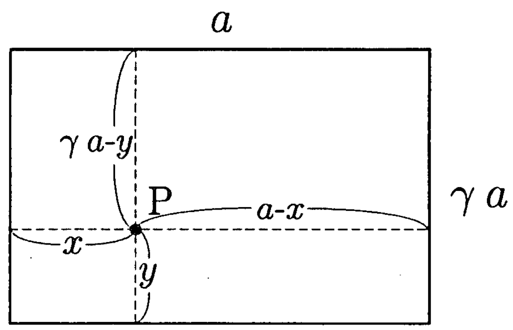

図 1: 都市領域 D と避難所 P

ここで，得られた距離分布を元にして，避難距離 r の平均値 $\mathrm{E}(r)$ を計算すると，

$$\mathrm{E}(r) = \frac{1}{4}(1+\gamma)a \quad (7)$$

と求められ，平均値が領域の周長の 1/8 となることが分かる．

次に，避難所Pの位置が変化した場合を考えてみる．避難距離分布 $g(r)$ は避難所Pの位置 (x,y) の変化に応じて変化するのであるが，そのときの避難距離の平均値を $E(x,y)$ とおくと，

$$E(x,y) = \frac{1}{\gamma a}\left(\gamma x^2 + y^2\right) - (x+y) + \frac{1}{2}(1+\gamma)a \quad (8)$$

という比較的簡単な式で表すことができる．一例として，領域Dが長辺1000m，短辺500mのときの $E(x,y)$ のグラフを図2に示す．

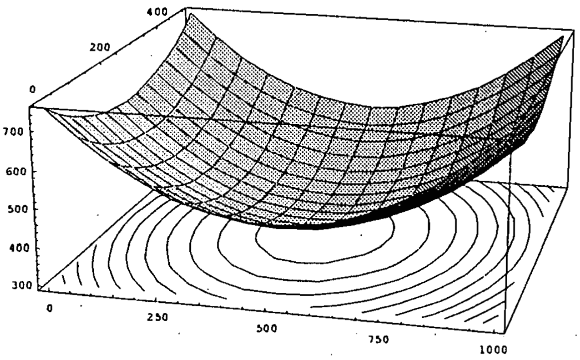

図 2: 平均距離 $E(x,y)$

直感的にも明らかであるが，避難所が領域の中心部にある場合に避難距離の平均値が最小となる．また，避難所の位置が領域の中心から少々外れても平均距離の変化は少ないことが読みとれる．

2.3. 被災率の定義

安全な場所に辿り着く前に火災に巻き込まれてしまう確率を被災率 H と呼ぶこととする．先ほど定義した被災距離分布と避難距離分布の式を用いて被災率を，

$$H = \int_0^\infty (1 - G(l))f(l)\mathrm{d}l \quad (9)$$

と定義することとする．都市防災対策事業などによって避難路や避難所を整備すると，避難距離の分布が変化することになるが，それに応じて被災率も変化してくる．そこで，都市防災対策事業によって被災率がどう変化するか，例を用いて考察してみる．

3. 被災率の比較

前節の例において，避難所が領域Dの中心にある場合の被災率を計算してみる．簡単化のために，領域Dが正方形であると仮定すると被災率 H_1 は，

$$\begin{aligned} H_1 &= \int_0^a f(l)(1 - G(l))\mathrm{d}l \\ &= \frac{1}{a^2\rho\beta}\Big(-2 - 2e^{-\rho\beta a^2} + 4e^{-\frac{1}{4}\rho\beta a^2} + a^2\rho\beta \\ &\qquad + 2a\sqrt{\pi\rho\beta}\left(\mathrm{Erf}\left(\frac{a}{2}\sqrt{\rho\beta}\right) - \mathrm{Erf}\left(a\sqrt{\rho\beta}\right)\right)\Big) \end{aligned}$$

と計算できる．ここで，$\rho\beta$ の級数展開による近似を行うと，

$$H_1 \sim \frac{7}{24}\,\beta\rho a^2 \quad (10)$$

と計算できる．

次に，避難所を通るような十字型の避難路と，領域を取り囲むような避難路を整備した場合について考えてみる．この場合，直接避難所に向かうのではなく一旦最寄りの避難路に逃げることで安全を確保した後に避難所に向かうことが出来る．この場合の被災率 H_2 を計算すると，H_1 と同様に近似的に，

$$\begin{aligned} H_2 &\sim \frac{1}{96}\beta\rho a^2 && (11) \\ &\sim \frac{1}{28}H_1 && (12) \end{aligned}$$

と計算でき，避難所に直接向かう場合に比べて被災率が1/28に減少することが分かる．簡単な例ではあるが，このようにして避難路を整備したことによる効果を被災率の減少によって捉えることが出来るのである．なお，ρ に関しては出火率の予測式と対象地域の世帯密度から出火密度を計算すればよく，β に関しては平均風速などが分かれば導出することが出来る (文献 [2])．

4. まとめ

本研究では簡単なモデルを用いて被災率の変化を見たが，被災率を現状の評価に用いる場合には具体的な対象地域における避難所あるいは避難路までの避難距離分布を計算することになる．このとき領域の形状は矩形である必要はなく，式は煩雑になる可能性があるものの，領域の形状に応じて避難距離分布を導出すれば被災率を計算することが出来る．また，現状の評価に限らず，避難所や避難路の整備計画を立てる場合には，代替案毎に避難距離分布を導出し，被災率を計算すればその効果を比較することが可能となる．限られた資本の中で事業を行う場合にはその効果に対する評価基準を設け，より効果的な事業に対して資本を投下していくことが重要であると考えられる．そのため，被災率のようなマクロ的指標を現実の事業評価に適用する可能性を探って行きたい．

5. 参考文献

[1] 石井儀光，腰塚武志 (1998):同時多発出火時における直線的避難距離の分布に関する理論的考察．日本都市計画学会学術研究論文集, 第33号,pp.331-336.

[2] 石井儀光 (1999):同時多発出火時における避難距離の分布に関する理論的考察．筑波大学大学院社会工学研究科学位論文.