

同時多発出火時の避難可能時間に関する基礎的考察

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

都市における同時多発出火時の避難に関して、避難行動が直線的であると仮定した場合の被害率が出火件数に比例するという事は分かっているが(文献[1])、現実の避難において火災が発生している方向に向かって自発的に移動することは考え難い。そこで、本研究では直線的な避難ではなく、火災のない方向を選択して避難が行われると仮定する。さらに、都市領域内にどこにも避難場所がないと仮定し、火災から逃げ続けたとき、最終的に火災に巻き込まれてしまう時間を避難可能時間と定義する。避難者が助かるためにはこの避難可能時間以内に救助がなされる必要がある。本研究ではこの避難可能時間について考察を加える。

2. 避難可能時間の導出

2.1. 同時多発出火モデルの定義

まず、都市領域内のあらゆる地点から出火する可能性があると仮定して、出火点の分布を特定せずに密度 ρ で一様にランダムに出火点が分布しているものとする。延焼動態に関しては、出火してから同心円状に等速度で延焼が拡大し続けるものとする。なお、延焼領域の半径が拡大する速度は人の歩行(避難)速度を v とし、その α 倍 ($0 \leq \alpha < 1$) とする。よって、時刻 t における火災1箇所当たりの延焼領域の半径は αvt と表される。避難者は留まることなくレクティリニアに移動し、方向転換の際に後戻りはしないこととする。また、都市領域は無限に広がっており、安全な避難場所はないものと仮定し、避難者は拡大し続ける延焼領域に巻き込まれるまで移動する。このときの移動距離を被災距離 L とし、延焼に巻き込まれる時刻を避難可能時間 T と定義すると、 $L = vT$ である。

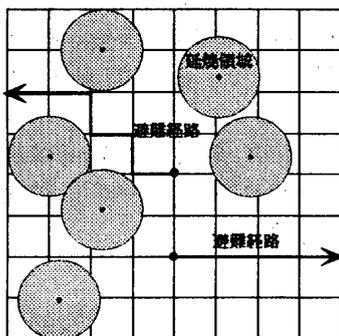


図 1: 選択移動イメージ図

2.2. 被災距離分布の導出

都市領域内のあらゆる地点を避難開始地点として東西南北のうち任意の方向に向かって移動した場合に、延焼領域に入るまでの被災距離 $l(t)$ の分布を求める。最終的に延焼領域に巻き込まれる状態を考えると、移動可能な3方向すべてを延焼領域に囲まれた状態であると考えてよい。図2においてある時刻 t において位置 P_t にいたとして、そこから更に微小時間 Δt だけ移動することを考える。移動をレクティリニアとしているので、移動後の位置としては図中の P_{t1}, P_{t2}, P_{t3} が考えられる。これらの地点に安全に移動できないということは、それぞれの地点から半径 $\alpha v(t + \Delta t)$ の円内に出火点が少なくとも1つ入っているということになる。そこで、図2において太い実線で示している領域を S とおき、 S 内に少なくとも1つの出火点が含まれている確率を計算する。

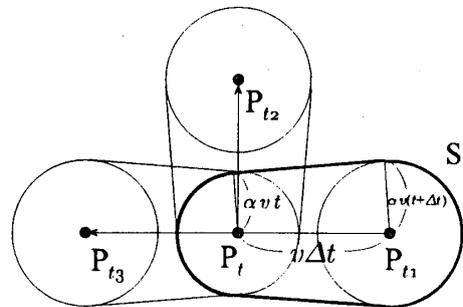


図 2: 領域図

S の面積を被災距離 $l (= vt)$ を用いて表現し、 $S(l)$ とおくと、

$$S(l) = \pi \alpha^2 l^2 + 2\alpha (\sqrt{1 - \alpha^2} - \alpha \arccos \alpha) l \Delta l - \alpha (\sqrt{1 - \alpha^2} - \alpha \arccos \alpha) (\Delta l)^2 \quad (1)$$

である。よって、 S の中に出火点が少なくとも1つ入っている確率を $G(l)$ とおくと、

$$G(l) = 1 - e^{-\rho S(l)} \quad (2)$$

である。

ここで、各移動方向に出火点が少なくとも1つ含まれている確率はそれぞれ独立であり、それまでに辿ってきた経路に依存しないと仮定すると、被災距離 L が l 以下である確率 $F(l)$ は、3つの移動方向すべてに少なくとも1つの出火点が含まれていればよいので、

$$F(l) = G(l)^3 \quad (3)$$

である。

ここで、避難時の方向転換が随時可能であると仮定し、 Δl が十分小さいとすると、(1)式は、

$$S(l) = \pi\alpha^2 l^2 \quad (4)$$

とかけるので、(3)式は、

$$F(l) = \left(1 - e^{-\rho\pi\alpha^2 l^2}\right)^3 \quad (5)$$

と表せる。よって、被災距離分布 $f(l)$ は、

$$f(l) = 6\rho\pi\alpha^2 l \left(e^{\rho\pi\alpha^2 l^2} - 1\right)^2 e^{-3\rho\pi\alpha^2 l^2} \quad (6)$$

と求められる。被災距離 l の期待値 $E(l)$ は、

$$E(l) = \frac{3\sqrt{6} + \sqrt{2} - 3\sqrt{3}}{2\sqrt{6}} \frac{1}{\alpha\sqrt{\rho}} \quad (7)$$

$$\approx 0.728 \times \frac{1}{\alpha\sqrt{\rho}} \quad (8)$$

と計算でき、延焼速度比と出火密度の平方根に反比例することが分かる。

ここで、出火密度 $\rho=0.0001$ 件/m²、延焼速度比 $\alpha = 0.017$ とした場合の被災距離分布 $f(l)$ のグラフを図3に示す。図中の $f_0(l)$ は、避難路の選択をせずに直線的に避難を行った場合の被災距離分布であり、避難路を選択した方がより長く避難していられることが分かる。

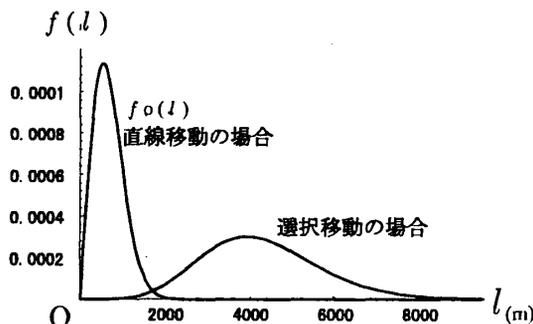


図3: 被災距離分布の比較

2.3. 被災距離分布から避難可能時間分布へ

図4は、本モデルのシミュレーションプログラムにおいて1人の避難者の避難経路をプロットしたものである。途中から避難者は同じ場所をぐるぐると回るように行動していることが分かる。これは、移動した距離としては長くても、位相的にはそれほど移動していないことを示している。このような状況は四方を延焼領域に囲まれた結果であり、囲まれた同じ領域内に避難所がない限り自力での脱出は不可能となる。このような状況では救助活動が行われなくてはならないが、どれだけ早く救

助活動を行わなくてはならないかという指標として避難可能時間 T を指標として用いることができる。このモデルでは移動速度を一定としているため、先ほど導出した被災距離 l を v で割ると避難可能時間 T を導出することが可能である。

なお、本モデルにおいてはどこにも避難場所がないと仮定しているため、進路を選択する際の基準としては安全なところを探すのではなく、基本的には直進し、直進できなくなった場合には左折するものとしている。

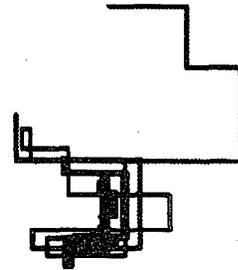


図4: シミュレーションの出力例

3. おわりに

本研究では単純な仮定を設けることによって、出火密度と延焼速度比が分かれば、選択移動を行った場合の避難可能時間分布を計算可能であり、延焼速度比と出火密度の平方根に反比例することを示した。

ここで導出した避難可能時間は、最悪の状況において人が延焼領域をよけながら逃げ続けたとして、どれくらいの時間生存可能であるかを示すものである。人が無事に避難できるためには、避難可能時間に達する前に自力で安全な領域に到達するか、あるいは救助が行われる必要がある。今回は避難所を設置しないモデルであるため、救助してもらうことを前提として避難可能時間に着目して考察した。今後は避難所を設置したモデルをつくり、避難所の数やその配置をどのようにすれば自力で避難できる状況になるかを考察していく予定である。

4. 参考文献

- [1] 石井儀光, 腰塚武志 (1998): 同時多発出火時の避難と街区面積に関する基礎的考察. 日本 OR 学会春季研究発表会アブストラクト集, pp.220-221.
- [2] 石井儀光, 腰塚武志 (1997): 有限領域内の直線的避難距離について. 日本 OR 学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp.158-159.
- [3] 腰塚武志 (1985): 都市施設の密度と利用者からの距離との関係について. 日本都市計画学会学術研究論文集, pp.85-90.
- [4] 日本建築学会編 (1992): 建築・都市計画のためのモデル分析の手法. 井上書院.