

ビルにおける避難の数理モデル

東京大学工学部計数工学科数理コース 伯野卓彦 (指導教官 伏見正則教授)

1. はじめに

本論文では、ビル火災における居住者の避難経路に關する実用的な最適化の方法を提案する。過去に提案された種々のモデルは、延焼過程を考慮しておらず、静的ネットワーク上でシミュレーションをしているものが多い。そこで本論文では、延焼過程を考慮した動的ネットワークを用いて、ネットワークフロー問題として定式化を行ない、これにもとづいて、各フロアーの避難可能人数、各出口からの避難分布等を求める。さらに、横浜新都市ビルでの計算を通して、ここで提案する手法が、現実の問題に対しても適切な結果を与えることを示す。

2. 従来のモデル

建物の構造は、静的ネットワーク $G=[\mathcal{N}:\mathcal{A}]$ として表現する。ここで、 $\mathcal{N}=\{a_i|i=1,2,\dots,N\}$ は点の集合、 \mathcal{A} は枝の集合である。ネットワークにおける点は、ビルの仕事場、ロビー、階段、廊下等に対応し、居住者はその場にとどまっていられるものとする。また、枝 (i,j) には、容量 $C(i,j)$ 、および推移時間 $t(i,j)$ が存在する。

従来のいくつかのモデルでは、居住者の総避難可能人数を目的関数として、これを最大にするような定式化(最大流問題)が行なわれていた。このモデルを図1に適用してみる。図1は、地上3階建てのビルで、1階の出口および屋上からのみ逃げられるものとする。また、各階の居住可能人数は200人、各階段部分の通過可能人数は50人とする。最大流問題を解いて得られた結果が図2である。各時刻における各出口からの避難人数には、時刻によっていちじるしいばらつきがみられる。これは火が間近にくるまで居住者が逃げようとなしにことに対応し、非現実的である。

3. 動的ネットワークモデル

2. で示した建物の静的ネットワーク G 上での人の流

れを表現するため、 G に対応する動的ネットワークを下記のようにして生成する(シミュレーションの時間は、 p 単位時間とする)。

- 1) $a_i(t)$ を頂点とする。
($i=1,2,\dots,N;t=0,1,\dots,p$)
- 2) $a_i(t)$ から $a_i(t+1)$ へ容量 $C(i,i)$ の枝をかける。
($t=0,1,\dots,p-1$)
- 3) 静的ネットワーク上で、 a_i から a_j にゆく枝が存在する時、 $a_i(t)$ から $a_j(t+t(i,j))$ へ容量 $C(i,j)$ の枝をかける。

このアルゴリズムでは、3)で、元の静的ネットワークにおける枝の切断時刻の情報を導入することで、延焼過程を反映できる。すなわち、各通路の切断時刻に応じて、その時刻以後の t に対応する頂点を終点とする枝を除けばよい。ただし、現実の延焼過程を数式化することはわきめて困難であり、それ自体が大きな研究課題であるので、本論文では、単純化した延焼過程を導入した。

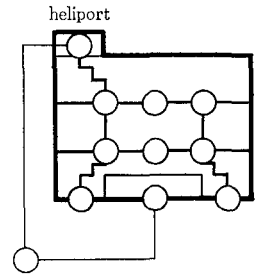


図1 3階建てビルのネットワーク構造

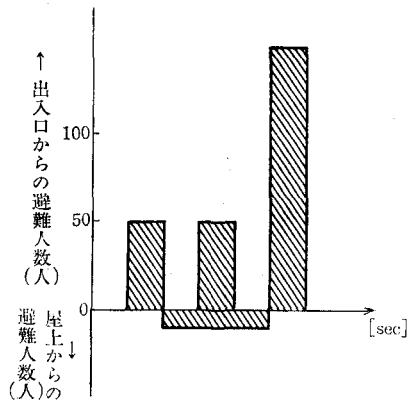


図2 従来のモデルによる解析例

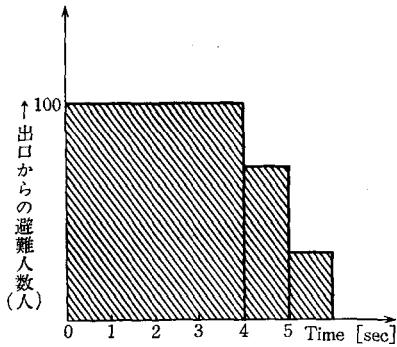


図3 本モデルによる解析例

4. 一般最小費用流問題の適用

このようにして得られたネットワークモデル上で、延べ総避難時間を目的関数として、これを最小にする流れを最適解とした。すなわち、各居住者の避難時間を費用とした時の一般最小費用流問題として、定式化をした。これを図1のモデルに適用した結果が図3である。この場合、動的ネットワークの点の数は88、枝の数は100であった。図3を、2.で得られた結果(図2)と比べてみれば、避難分布は、各時刻での避難者数に偏りが少なく、一様に避難している。このように、本論文で提唱された避難モデルを建物に適用すれば、避難分布が現実的なものになることが確認された。

5. 横浜新都市における計算例

本節では、4.で述べた手順を大規模な建物に適用して、避難分布の解析を試みる。モデルケースとして、横浜新都市ビルを用いた。これは、指定避難出口が建物内に数個点在していて、例として適当であろうと思われたことによる。この建物から生成された動的ネットワークの枝の数は8094個、点の数は2295個であった。このネットワークモデルを用いて行なった最適避難計画の結果を図4に示す。図2と比べてみると、各時刻における各出口からの避難人数のばらつきが少なく、きわめて現実的な避難分布となっている。なお、横浜新都市ビルの防災計画は常に防火シャッターが作動することを前提としたものであるが、計算の結果、防火シャッターが停電等の原因で作動しなかった場合の安全性には疑問が持たれた。

6. まとめ

本論文で示したモデルは、煙の流動シミュレーションなどと有機的に結合することにより、ビル設計時にお

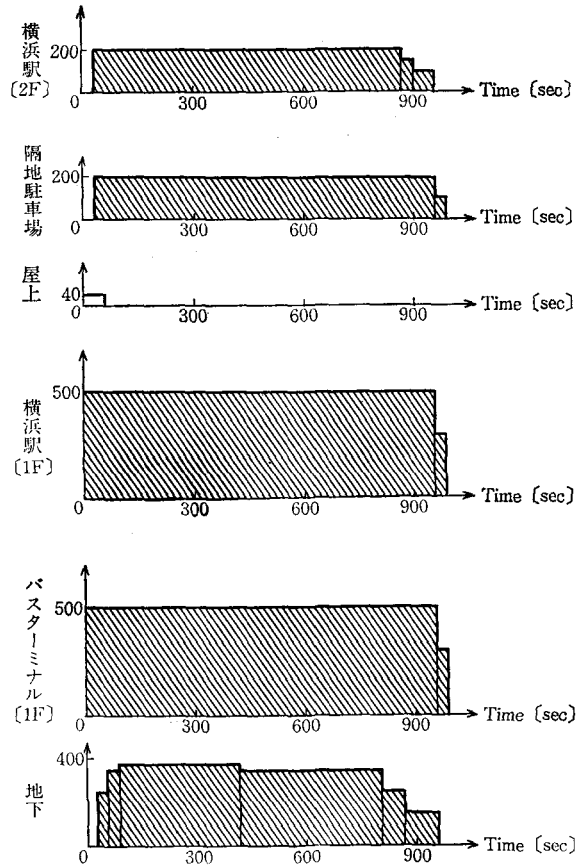


図4 横浜新都市ビルにおける解析による避難人数分布

ける防災計画の作成、避難誘導計画の立案などに有効であろうと思われる。

参考文献

- [1] 林 陽一, 西田直矩: 辞書式最適の流れ問題とそのビルにおける居住者の避難モデルへの応用, 計測自動制御学会論文集, 第20巻, 第7号, pp. 34-40 昭和59年7月.
- [2] Francis, R.L. et al.: Network Models for Building Evaluation, Management Science, Vol. 28, pp. 86-105, 1982.
- [3] Ford, L.R., Jr., and D.R. Fulkerson: Flows in Network, Princeton University Press, Princeton, 1962.