

# 室内火災を対象とした火災と避難のシミュレーション

辻本研究室

4109014 入谷 真樹

4109073 高橋 亮太

## 1. 研究背景と目的

様々なスケールの室内火災において避難安全性を検証するのに模擬実験をするのは事実上困難であるため、シミュレーションに頼らざるを得ないと言える。

本論では、空間のスケール(床面積)の変化が避難安全性にどう影響するかをEVATUSで検証する。その際に用いる二層ゾーンモデルの計算結果を、流体力学的により精緻なフィールドモデルを用いるFDSで再計算し、両者の比較でより精度の高い検証法の可能性を検討する。

## 2. 火災・避難シミュレーションモデル

### 2.1 EVATUS

EVATUS (Evacuation program of Tokyo University of Science)は東京理科大学総合研究機構火災科学研究センターで、東京消防庁と共同で開発された建物の火災時の避難安全性評価を行うための火災避難シミュレーションである。煙流動は二層ゾーンモデルにより、主に煙暴露人数、避難完了時間の解析に用いる。

### 2.2 FDS

FDS (Fire Dynamics Simulator)はNIST(米国国立標準技術研究所)により開発されたフリーの火災避難解析ソフトウェアである。CFD(数値流体力学)で与えられた発熱条件で、温度、煙濃度などの空間分布及び時間変化などの解析に用いる。

## 3. 解析概要

### 3.1 計算条件

FDSとEVATUSのシミュレーションを行う上で空間の規模が避難安全性に及ぼす影響を検証するため、正方形の室の一辺だけを図-1のように変化させ、他は共通のパラメーター(表-1,表-2)を用いた。

火源位置は中央とし、2つの開口部の位置は4つの対象空間が相似関係とする。ただし2つの開口部の大きさは同じとした。火源の発熱速度の変化には、 $\alpha t^2$ モデルを用いた。(図-2)

$$Q = \alpha t^2 \quad (\text{発熱速度 } Q[\text{kW}], \text{ 火災成長率 } \alpha, \text{ 時間 } t[\text{s}])$$

FDSでは図-4に示した位置で対象空間の温度変化に注目した。また、EVATUSでは二層ゾーンモデルを用いているため、上層部、下層部共に均一な性状であり、上層部の煙層の温度変化を求める。

火災発生からの計算時間はFDS、EVATUSともに $t=180\text{s}$ までとする。

### 3.2 避難シミュレーション

EVATUSを用いて避難のシミュレーションを行う。各対象空間内に人口密度 $0.1\sim 0.5$ 人/ $\text{m}^2$ の在室者をランダム配置した。在室者特性は、最大歩行速度を $1.0\text{m/s}$ 、BS(ボディサイズ)を $0.25\text{m}$ 、PS(パーソナルスペース)を $0.5\text{m}$ とした。(表-3)

今回在室者は火災発生後、煙層の厚みが天井高の10%に達した場合、若しくは火源からの最も近い在室者の輻射熱による受熱量が $2\text{kW}/\text{m}^2$ を超えた時点で、出火室の在室者全員が熱さを感じ、その場に留まる状態でないとして、一斉に避難を開始する。また、煙層高さが $1.8\text{m}$ 以下となった時点で避難が完了していない在室者を煙曝露者として扱い、避難に失敗したものとする。本論では延焼や避難の際の障害物の有無を考慮しないものとする。

表-1 各対象空間の変化項目

室面積	100 $\text{m}^2$ , 400 $\text{m}^2$ , 900 $\text{m}^2$ , 1600 $\text{m}^2$
人口密度	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5[人/ $\text{m}^2$ ]

表-2 各対象空間の共通項目

初期温度	20 $^{\circ}\text{C}$	初期相対湿度	50%
開口部	2.0m $\times$ 1.5m	開口部数	計2ヶ所
天井高さ	2.5m	壁・床材質	普通コンクリート
火災成長率	0.2 $\text{kW}/\text{s}^2$ <sup>註1)</sup>	単位面積当たりの発熱速度	1000 $\text{kW}/\text{m}^2$
最大発熱速度	13237 $\text{kW}$ <sup>註2)</sup>	燃料	ウレタンフォーム
		計算時間	$t=180\text{s}$

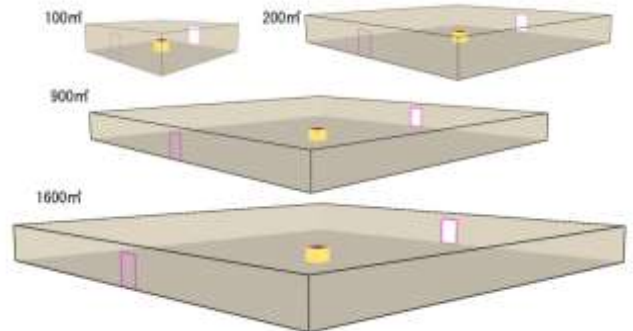


図-1 対象空間レイアウト

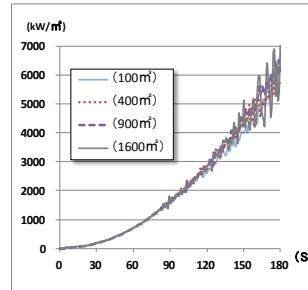


図-2 FDSでの発熱速度

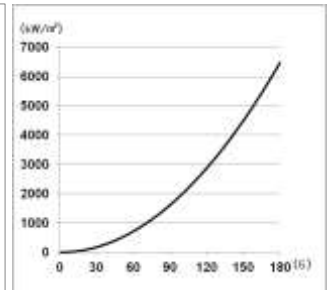


図-3 EVATUSでの発熱速度

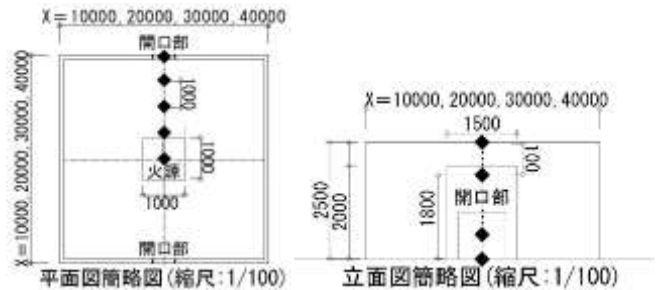


図-4 ◆温度計算位置

表-3 在室者特性

在室者のBS(半径)	在室者のPS(半径)	在室者の最大歩行速度
0.25m	0.5m	1m/s

## 4. 結果及び考察

### 4.1 避難について

避難シミュレーション結果を表-4、表-5に示す。室面積が100 m<sup>2</sup>、400 m<sup>2</sup>の対象空間では避難完了までの時間は長くとも60(s)程度であり、煙による曝露者も発生することはなかった。しかし、室面積が900 m<sup>2</sup>、1600 m<sup>2</sup>の対象空間の場合、人口密度の増加につれて避難完了までの時間は増加し、同時に煙による曝露者が発生するようになった。このことは、避難に利用する開口部の面積が変化しなかったために、避難者がスムーズに避難を行えず、開口部に密集したことによって避難が遅れたものと考えられる。また、各条件で煙曝露者が発生した場合の煙曝露者の t=0 での位置(図-5~図-7)から、室内の隅など、開口部から離れた位置にいた在室者が煙により曝露したとみられる。以上から、避難の際に室面積と人口密度、開口部の数、配置が大きく影響を及ぼすと考えられる。

### 4.2 煙について

EVATUS のシミュレーション結果から得られた、火災により発生する煙層の時間的変化を図-8に示す。グラフは緩やかな曲線を描き、煙の降下速度は発熱速度が同じであれば空間の規模が大きいほどゆっくり降下していることが分かる。FDS のシミュレーションによる煙層を可視化した結果、壁面に沿って、特に四隅では急速に降下する結果となった。

### 4.3 温度について

図-9から開口部付近の温度は天井に近いほど急激に上昇する。図-10では90(s)まで温度変化はほとんど変化しないが、120(s)後に30℃、150(s)後に40℃、180(s)後には50℃近くに達する。この温度程度では避難安全上直ちに問題にはならないと考えられる。図-11、図-12からEVATUS(二層ゾーンモデル)での均一な煙層温度に対しFDS(フィールドモデル)では最高温度は同じように時間変化するものの煙層下部に相当するところでは、温度が低い傾向が見える。

## 5. まとめ

本研究により、以下の知見が得られた。

- 1) EVATUS のシミュレーション結果から空間のスケールが大きくなるほど煙曝露者が増加することが分かった。
- 2) FDS のシミュレーション結果から空間のスケールが大きくなるほど煙はゆっくり降下し、さらに四隅に近づくほど急速に降下するので実際の煙曝露者数は増えると考えられる。
- 3) 煙曝露開始時刻において開口部付近の温度では避難安全上直ちに問題にはならないと考えられる。
- 4) EVATUS(二層モデル)とFDS(フィールドモデル)では上層部での温度は同じように変化すが中層部で大きく温度変化に違いがでることが分かった。

今後は、さらに火源の火災成長率も変化させ、シミュレーションを解析することで2つのシミュレーションの検証法の可能性を明らかにしていく。

### 脚注

- 註1) 火災成長率  $\alpha = 0.2 [kW/m^2]$  は NFPA (米国防火協会) において、火源の成長速度が大きな物の成長率を「Ultra-Fast」としている。  
 註2) 最大発熱速度  $13237kW$  は  $Q=3000m_a = 3000 \times 0.52A\sqrt{H} [kW]$  ( $m_a$ : 開口から流入する空気の質量流量,  $A$ : 開口面積  $m^2$ ,  $H$ : 開口高さ  $m$ ) 室内で燃焼可能な発熱速度の上限を与える理論式を用いた。

### 参考文献

- 1) 森田 昌宏: 大規模施設の避難安全シミュレーション 2010年
- 2) 原田 和典: 建築火災のメカニズムと火災安全設計 2007年12月
- 3) 田中 喙義: 小規模建築物の火災のモデル化に関する研究 1980年
- 4) 田中 喙義 他: 建物火災時の避難安全評価シミュレーションプログラムの開発(その1-その3)  
 日本建築学会大会学術講演梗概集 2005年 P219-220
- 5) 安部 伸之: CFDを用いた火災の数値シミュレーション 2004年
- 6) NIST: Fire Dynamics Simulator User's Guide

表-4 人口密度毎の曝露人数と避難完了時間

10m			20m		
人口密度	曝露人数	避難完了時間(s)	人口密度	曝露人数	避難完了時間(s)
0.1	0(10人中)	22秒	0.1	0(40人中)	32秒
0.2	0(20人中)	25秒	0.2	0(80人中)	41秒
0.3	0(30人中)	27秒	0.3	0(120人中)	48秒
0.4	0(40人中)	27秒	0.4	0(160人中)	65秒
0.5	0(50人中)	29秒	0.5	0(200人中)	70秒
30m			40m		
人口密度	曝露人数	避難完了時間(s)	人口密度	曝露人数	避難完了時間(s)
0.1	0(90人中)	60秒	0.1	0(160人中)	93秒
0.2	0(180人中)	67秒	0.2	0(320人中)	117秒
0.3	0(270人中)	94秒	0.3	0(480人中)	161秒
0.4	0(360人中)	115秒	0.4	78(640人中)	177秒(避難失敗)
0.5	4(450人中)	139秒(避難失敗)	0.5	268(800人中)	177秒(避難失敗)

表-5 煙曝露開始時刻

室面積	100m <sup>2</sup>	400m <sup>2</sup>	900m <sup>2</sup>	1600m <sup>2</sup>
煙曝露開始時刻(s)	56	99	139	177

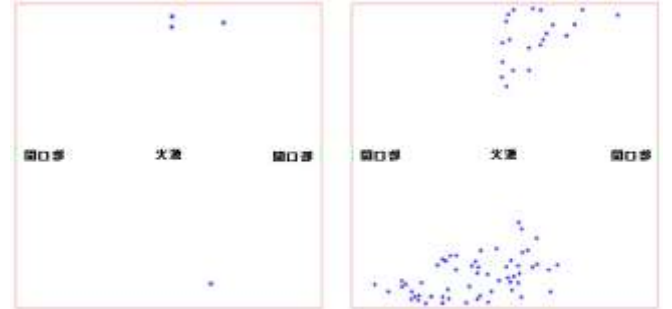


図-5 900 m<sup>2</sup>人口密度 0.5 人/m<sup>2</sup> 煙曝露者の t=0 位置

図-6 1600 m<sup>2</sup>人口密度 0.4 人/m<sup>2</sup> 煙曝露者の t=0 位置

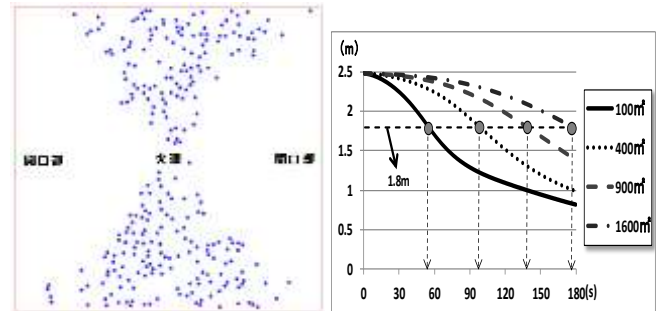


図-7 1600 m<sup>2</sup>人口密度 0.5 人/m<sup>2</sup> 煙曝露者の t=0 位置

図-8 煙層厚さ変化

※1.8mを煙曝露開始の基準線とする

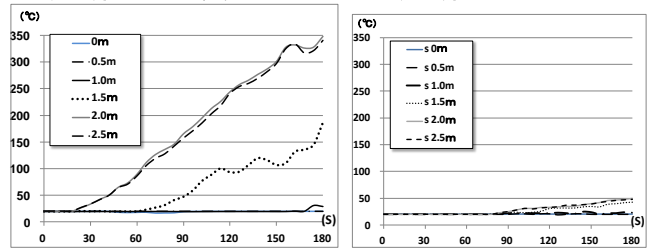


図-9 FDSでの100 m<sup>2</sup> 開口部における高さ方向の温度変化

図-10 FDSでの1600 m<sup>2</sup> 開口部における高さ方向の温度変化

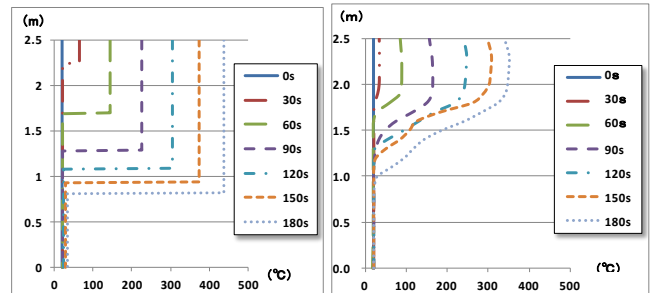


図-11 EVATUSにおける開口部直下100 m<sup>2</sup>の30s毎の温度変化

図-12 FDSにおける開口部直下100 m<sup>2</sup>の30s毎の温度変化