

避難シミュレーションと設計過程におけるその役割

矢代嘉郎
野口富佐子

§ 1. はじめに

本報は、最近の建築の大型化、複雑多様化に対する防災計画の要求に対して、建築の基本設計段階から安全を計画することが重要と考え、基本設計に影響の大きい避難計画を評価する技術としての避難シミュレーションプログラムの開発と、設計過程におけるその利用可能性を報告するものである。

最近の建築の火災は、日常の利便性を基にした複合用途ビルや大型ビルに各種防災設備等が設置されているものの、一度不測の事態になると、建物利用者は対処できず、人的被害も大きくなるという特徴がある。安全の問題は、日常の機能が保たれていれば顕在化しない。そのため、設計においても日常の使い方を基に建築を計画し、後から法令に規定される対策を施すに留まり、体系的に防災計画を行なっていない実情がある。逆に、必要以上に防災的にしても日常の利便性が落ち、安全の意味が損なわれる。こうした安全性は把え方により異なるから¹⁾、設計者の意図を施主や利用者に明示する必要があるが、必ずしも現状は明らかにはされていない。

こうした実態に対し、まず防災計画として体系化するには、非常時にも避難し易い等の、人の安全に対して基本となる避難の側面を考慮したプランとし、その上で防災の各種側面²⁾を構成する考え方が望ましい。このように基本設計の段階に安全に関する設計条件を設定し、安全の側面を配慮した基本計画とすることが望ましいと考える。そこで、避難計画に対する設計者の意図の計画案への反映を評価する技法として、避難シミュレーションプログラムの開発を行なった。併せて、有効利用の方法を見るため、実際の計画に適用した事例からその扱われ方の実態を観察調査した。本報は、この開発過程から、設計計画の面からの避難行動のモデル化の考え方と、設計過程におけるシミュレーションの位置づけについて報告する。

なお、プログラム開発に当っては、設計者が中心の7

人を主にしたチームにより、避難行動の想定や利用方法等の検討を行った。また、避難シミュレーションの扱われ方の調査は、汎用プログラム作成過程で、3つの設計過程に個別のプログラムを適用した。そして、計画担当者によるモデルおよび条件の設定と、結果の評価の筆者による打合せ記録から実態を記述した。

§ 2. 避難シミュレーションの考え方

一般にシミュレーションは、計画対象のある側面の特性を表わすモデルによって計画対象の動向を模擬実験する。そして、あらかじめ設定した評価方法で計画案相互を比較し、計画にフィードバックすることによりその側面について適正化を図る使い方をする。すなわち、モデルと適用目的・方法、評価方法がシミュレーションの要素といえる。避難についてみれば、避難行動が定量化されておらず、またその状況を実験検証できないことから計画の評価に有効な技法である反面、モデルの信憑性を確認し難い。したがって、計画への適用のしかた、評価のしかたが主な問題と考えられる。

火災時の避難のシミュレーションは、'73年頃から提案され始めた。これらは避難行動のモデル化の方法の提案³⁾もあるが、比較的定常的な流れのモデルで計画への適用を問題とするものが主である。これらは、適用目的に計画案相互の比較による各々の特性の把握や、避難誘導パターン⁴⁾の検討があげられ、その評価要素には避難時間や待ち人数、各施設の利用程度があげられている。

これらに対し、設計過程における避難計画の観点からは2つの問題点があげられる。1つは、避難行動モデルが避難実態や一般に想定される特性とは異なっていると思われる。もう1つは、計画の評価とフィードバックという大きな適用方法があげられるが、設計過程のいかなる段階で、いかなる性格を持つかが明確でなく、シミュレーションの計画的意味づけに問題がある。そこでプロ

グラム作成に当っては、この計画的側面の2点に重点を置き、次の要件を目標とした。

- 設計者の避難計画に対する意図（設計目標）の、計画案への反映度を評価し、空間を規定する設計条件を変更するという、設計条件と空間との対応を把握し、計画の適正化を図る。
- そのためには、設計者の把握している避難行動特性を入れた避難行動モデルとする必要がある。したがって、各種のモデルを用意し、設計者の意図に従って変換できるしくみとする。

§ 3. 避難行動の捉え方

3.1 避難行動特性

避難特性については、火災時の行動の調査研究が行われ始めたのみで、定量的には未だ把握されていない。避難速度についてのみ、戸川の日常群集歩速が計画には妥当なものとされているに留まる。一方、定性的には避難方向などいくつかがあげられている。因みに、大洋デパート火災(73)において、被災者の状況説明を基に行動の方向が変わる点から整理すると、表一があげられた注13)。比較的冷静に判断できる段階と、パニック的に行動する段階があり、煙と炎に加え避難ルートの分りにくさが、正常状態から非常状態に変らしめる要因となっていると思われる。

一方、設計担当者を主にした当プログラム開発チームにより、表二の特性があげられた。これは、設計過程で一般に意識される機会の多い特性と考えて良いであろう。表一にほぼ類した特性があげられており、「避難」について、かなり逼迫した状況の想定といえよう。

3.2 避難行動の構造の設定

こうした避難特性は、避難者個人の行動関連図として図一で表わせよう。すなわち、避難行動に影響する基本的要素は、年齢層、常時滞在者かどうか、歩行速度や避難前までの行動履歴等々の避難者個人の特性と、出口や階段の位置・幅・通路等の計画の対象である空間特性と、火や煙という人に害を加える要因である。そして、空間特性と火煙により起こる煙拡散状況と、空間特性と他の避難者により生じる（各個人の行動の集積）待ち人数や混み具合という避難状況と、さらに、個人の避難行動履歴や心理状態（パニックへの移行）という個人の避難状況により、避難行動が制限されると考える。

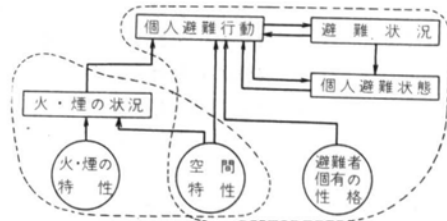
注1) 熊本市消防局のデータを筆者がまとめたもの。

火・煙を確認する	
非常を知り、とっさに動く	……ランダムな動き
煙の拡大に対し、逆方向に逃げる	……加害要因から避ける
既知の経路、出口に向かう	……日常動線をたどる
うろつく	……判断が決らない
人の後を追い群集行動を起こす	……追従行動
出口間を往き来する	……早く出られる出口を探す
窓側へ向かう	……煙充滿、視界小から脱出
狭い所に閉じこもる	
出口で先をあらそう	……パニック状況

表一 避難行動特性（大洋デパート火災より）

特定の利用者は最寄りの出口へ向かう
 不特定多数の利用する用途ではランダム性が強い
 煙から逃げる
 日常動線をたどって逃げる
 流れに方向性ができると、それに追従する
 より早く出られる出口を選択する、方向を変える
 視界のある範囲内で判断し行動する
 来た所には戻らない等の行動履歴に左右される
 群集行動、パニック
 避難誘導による行動開始時点、避難方向の制御
 廊下等、狭い所では追い越しができない
 複数方向流の合流、逆流、直交流
 群集密度、避難者の性格と避難速度の関係

表二 避難行動の想定（当チームによる想定）



図一 避難行動の概念

§ 4. 避難行動のモデル化

4.1 モデル化の考え方

図一に示す避難行動の系の扱いは一般に2つの考え方があり、1つは避難者を総体的・統計的に扱い、系のある事実のみに着目し、その状況を経時的に把握するもの(event-oriented)である。もう1つは、避難者個々(transaction)の動きを一点ずつ追跡し、それらの状態の集積したものを系の状況とするもの(transaction-oriented)である。今回は、系や避難特性を具体的に表現できる後者により、図一の系をモデル化した。

(a)避難者(個人)の動き:ある時点の行動は「位置」「速さ」「方向」で表わしうる(すなわち,位置ベクトルと速度ベクトル)。この各要素が図-1の関係から,一単位時間ごとにセットされる。ここで,位置は空間を構成するエレメント,速度はそのエレメントの通過時間,方向は次に進むエレメントとし,図-2の流れで制御する。

(b)行動規制要因のモデル化:図-3のように居室,廊下,附室,階段等の空間単位を適度に分割し,出入口と共に個々を空間エレメントとする。各エレメントの大きさ,壁や通路を表す相互のつながり状況,出口までの距離や各エレメントの建築機能等により空間特性がセットされる。

他の影響要因として,避難者個々に係わるものはtransaction 個々の持つパラメータにストアし,火煙は避難者と性格を異にする transaction として表わす。避難状況や煙の拡散状況は,避難者の現在地エレメント番号から引き出せるよう,モデル中に統計量をとるようにする。

4.2 避難行動モデル

避難行動に係わる要因から,避難行動の3要素について,各種特性は次のようにモデル化しうる。

4.2.1 位置

位置は,現在いる空間エレメントの中央とし,その番号をパラメータにて表わし,移動することに更新する。

位置を詳しく出すにはメッシュを小さくすれば良いが避難計画におけるシミュレーションの役割りや計画対象により適度に設定すべきである。例えば百貨店では売場レイアウトから4~8mが考えられ,避難上の特性が均質な事務所では居室を1エレメントとしても良かろう。

4.2.2 速さ

歩いて避難するものとして,式(1)のように日常の群集歩速を基にした標準歩速(拘束がない場合)に,速さ決定の各因子の低減割合を乗じて決める。

$$V(t+1) = v_0 \cdot x(t) \cdot r_s(t) \quad \dots(1)$$

v_0 : 拘束なしの状態の歩速(標準歩速)
 $x(t)$: 避難者の性格,およびt時点の避難状態の低減割合
 $r_s(t)$: 現在地Sの避難状況による低減割合

(a)空間種別の影響:拡がりのある平面も出入口も,移動自由度により同一モデルで扱うべきであるが,便宜的に空間種別により標準歩速を設定している¹⁾。

平面	1.5m/sec.	出入口(平面)	1.5人/sec./m
階段	3段/sec.	出入口(段)	1.3人/sec./m

(b)避難者個々の特性:避難者の性格としては下記の値を設定している。ハンディキャップのある人は一般の人とグループで行動し,遅い方にセットする必要がある。

男女成人	1	ハンディキャップのある人	0.5
------	---	--------------	-----

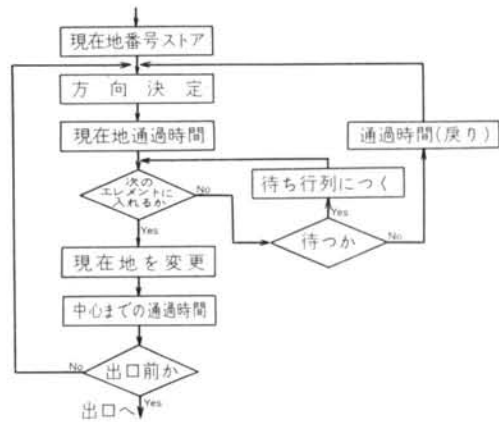


図-2 避難行動要素の決定の流れ

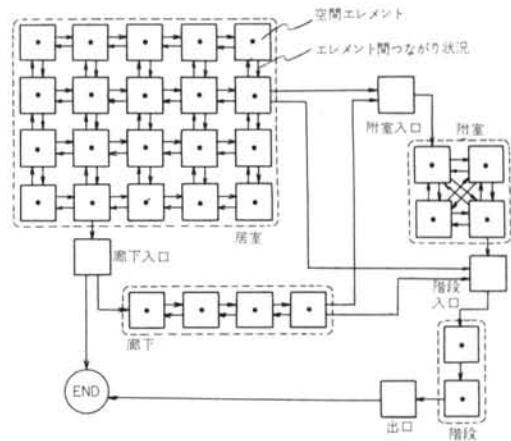


図-3 空間の表現

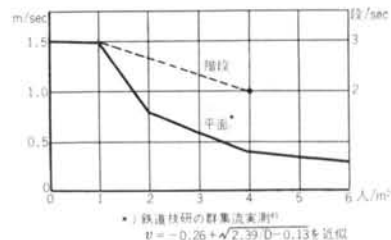


図-4 密度一步速の関係

(c)避難状況:現在地の群集密度や逆流,直交流に影響される。

この流動速度の他に時間に関わるものとして,廊下や階段等の狭い所では追い越しができないこと,満員状態で流れている時の出入口部における合流比を考慮する

必要がある。

(d)汎用プログラムでは、群集密度、合流比、追い越しなしの因子を入れたに留まり、他は個別にモデルを変えねばならない。この速度決定方式により、空間エレメント中央と端部にて通過時間を決め、時間を進めることとした。

4.2.3 方向選択

避難方向決定は避難行動のモデル化の主要な要素であり、避難計画に対する意図を確認するため、設計者の想定する避難特性を入れる対象となる。方向選択に当っては、下記の特性を入れ、現在地から次の空間エレメント中央に進むまで拘束する方向を決定する。

(a)避難者個々の特性

避難者の性格：百貨店における店員と客のように、ある建物に常時いる人と不特定の人を区分する。前者は最も近い出口を一義的に選択するが、後者は避難誘導または避難の流れができるまでランダムに動く方式とする。

避難開始前の行動履歴：いわゆる日常動線を帰る性質に対し、各避難者が入口から避難初期位置までたどったルートをストックし、その逆順で戻らせる。

(b)個人の避難状態

避難ルート：避難開始後の行動軌跡により行動が制限される（マルコフ過程の概念）ことに配慮し、その軌跡をストックする。視界のきく範囲内の同じ地点に戻らないこと、進行方向の遷移確率に重みをつけて、進行方向を維持し易くする等に考慮する。

(c)空間特性

出口の方向：出口の近さをグラビティモデルのポテンシャルの概念から、距離の n 乗の逆数で表わし、各方向を経由する出口のポテンシャル比を遷移確率とする。ポテンシャル次数 n はランダム性を表わし、避難開始初期には低く（1次）、流れに方向性が出るに従い高く（2～3次）することにより、避難状況を表わす。

$$P_i = \frac{\sum_{\alpha=1}^{\alpha} \frac{1}{l_{i\alpha}}}{\sum_{\beta=1}^{\beta} \frac{1}{l_{j\beta}}} \quad \dots\dots(2)$$

P_i : i 方向の遷移確率

l_i : i 方向を経由する出口 (α 個) までの距離

l_j : 各出口 (β 個) までの距離

n : ポテンシャル次数

避難路あるいは通路：空間エレメント間のつながり状況を一方のみとしてインプットする方式とする。

(d)周辺の避難状況

周辺の人数：状況が逼迫するまでは、避難距離が同条件ならば密度が小の方向に向かう。一方、平常の判断を失う非常状態では、群集行動として人の多い方向に向かう。これらは、空間エレメント内の人数比較により決める。

る。

避難誘導：避難誘導者1人に多人数分を割り当てて、エレメント間の人数比較により多い方向を選ぶこととする。

出口の待ち人数：視界内に複数の出口がある場合、現時点にてより早く出られる方向、すなわち、待ち人数と出口までの所要時間により決る。出口利用に片寄りがある場合は、途中で方向を変える場合も起こることになる。

(e)火・煙の状況：煙の transaction が専有する空間エレメントから離れるよう、避難の方向を決める。煙の拡散は濃度を考慮せず、壁がない場合一様に拡がる(1.0m/sec.)と想定して、避難を制御する。

(d)方向選択は、こうした諸因子、諸特性を統一した論理で合成し(ex.ポテンシャル)、方向を選択する方式が望ましい。しかし、今回の汎用プログラムにおいては、統合化に至らず、避難行動の実態および設計者の想定から得られた主な特性を組み合わせた、次の個別のモデルに留まっている。

<方向選択モデル1(図-5)>：これは、空間エレメント間の遷移確率と記憶長さ1の行動履歴を主にしたモデルである。遷移確率ではポテンシャル次数を1次と3次にし、避難状況(流出人数、ドア待ち人数)により変換する方式とした。行動履歴は現在地へきた直前の空間エレメントには戻らず、進行方向の遷移確率を n 倍とする方式としている。移動可能な方向は4方向を基本とし、つながり状況で壁等を表わす。

<方向選択モデル2(図-6)>：あらかじめ設定した時間(ex.30sec.)まではモデル1で制御し、その後は人の多い方に追従するモデルである。現在地が最多人数の場合は、モデル1と同様に方向を決める。避難誘導者がいる場合には、避難誘導者(ex.50人分)に従うモデルになる。

<方向選択モデル3(図-7)>：日常動線をたどるモデルとして、日常の入口から避難者を発生させて、主要な通路をランダムにたどらせ、現在地までのルートをストックする。避難開始後、最寄りの出口までの距離(15～20mは視界内として出口に向かう)を参照しつつ、日常動線をたどるように制御する。このモデルは、不特定の人が主となる建築(ex.商業施設)に適するものであり、設計においても平面の明確化を狙って想定される機会が多い。

<方向選択モデル4>：廊下あるいは廊下に相当する部分に複数個の出口がある場合、現時点において早く出られる方向に向かうものである。プログラム上は2個の出口としているが、多数の出口がある場合は、判断に当

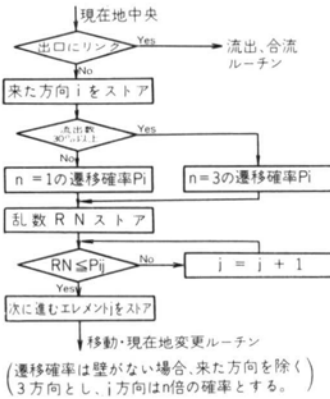


図-5 MODEL 1: 流動の方向性

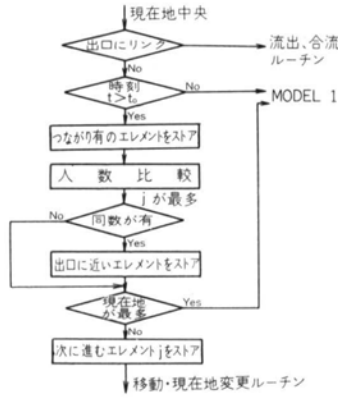


図-6 MODEL 2: 追従行動

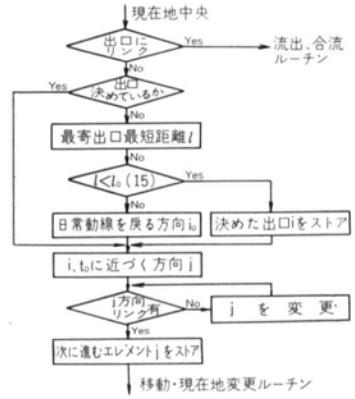


図-7 MODEL 3: 日常動線をたどる

って比較の対象とする出口を指定する必要がある。

§ 5. シミュレーションプログラム概要

プログラムは transaction-oriented のシミュレータで代表的な、待ち行列モデルタイプの GPSS を使っている。避難行動モデルに適用すると、基本的には避難者としての transaction (Xact) と空間エレメントとしての Storage と、Storage 通過時間 advance time により避難行動の系が記述され、単位時間を更新しながら、Xact 個々を動かし、系の状態がシミュレートされる。また、Xact の動きを制御する演算式は定義カードで行ない、モデルの中で引き出される。

プログラムは、§ 4. のモデルを建築の空間の構成に合わせ、図-8のように各ルーチンを構成する。この各ルーチンに入るいくつかのモデルは互換性を持たせ、設計者が選択したり、シミュレーション実行中に避難状況により Xact が別のモデルに移項できる方式をとる。

適用可能な建築の範囲は、平面が20×10のメッシュに収まり、出入口が15個以内とし、避難者も一応2,000人としている。GPSS では避難者個々を扱うため、系を大きく取れない。したがって、平面と垂直部分は分け、階段前に到着した Xact の情報をいったんストアし、同質の階は同じデータを複製して、階段部をシミュレートする。そのため、階段の混み具合の居室に及ぼす影響は見られない。

シミュレーションを進める時間は0.5秒としている。

(a) インプット

シミュレーションの条件設定に当っては、使用する方向選択モデルにより多少異なるが、次のデータをインプットする。

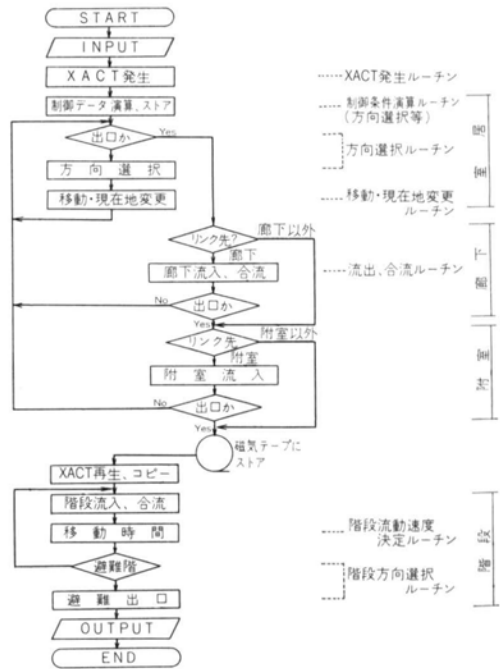


図-8 プログラム構成

避難者: 人数, 初期配置方式 (ランダム, 均等, またモデル3では, 入口別人数, 通過エレメント個数分布), 性格づけの割合

空間: エレメント (メッシュ) の大きさ (縦, 横), エレメント間リンク状況, 各エレメントの許容人数, 出口にリンクするエレメント出口の大きさ, 階高

制御方式: 避難開始時間, 合流比, 行動特性変更条件, 視界

(b) アウトプット

GPSS の標準仕様 (各 Storage の使用状況の統計値) の他, 出入口の待ち状態の統計, 待ち人数と通過人数の経時変化および各エレメント内の人数的経時変化を標準のアウトプットとする。Xact 個々を動かす GPSS では P

プログラム変更機能により、容易に各種の避難状況を取り出せる。また、FORTRAN にリンクさせ、図として表現できる。

図-9~11は、中規模のスーパーマーケットの1フロア(売場1,500㎡, 300人, 6人/sec. で居室退出)を模式化し、3つの方向選択モデルを比較したものである。出口別の流出人数はモデルによる大差は表われないが、出口への収束のしかたは異なる。図-11の壁際9人中5人は4分経過後も同じ状況が続くことは、日常動線と出口の関係が壁により阻害されているためである。居室出口の待ち状態は中央左の出口が最大となるが、平均待ち時間は図-9で6.5sec., 図-10で9.5sec., 図-11で6.5sec. である。経路エレメント数平均, すなわちうろつき状況は、各々、4.5ヶ, 3.7ヶ, 5.7ヶである。この場合は、追隨行動の収束が早いこと、日常動線と出口を見較べる行動の避難距離の長いことを表わしている。計画的には、中央の出口を約半数が利用し上部右が少ないことは、出口位置あるいは中央の出口の幅が問題となり、

また、図-11で残留者があることは、動線の設け方あるいは壁の設け方が悪いといえる。これもポテンシャル次数や、視界(判断の対象)の変更により、3つのモデルによる傾向は大きく変わる。

こうした例からも、設計過程に避難シミュレーションを行なうには、その計画案に考慮した避難特性の設定と計画意図に対する評価の考え方、計画へのフィードバックのしかたを明らかにしておく必要があることが分る。

§ 6. 避難シミュレーションの設計過程における役割

6.1 避難シミュレーションの扱われ方

避難シミュレーションの設計過程における適用のしかたが、その計画的意味を左右することに対し、実際の設計過程にシミュレーションを適用し、実態を調査した。その事例は表-3の3つのプロジェクトである。なお、

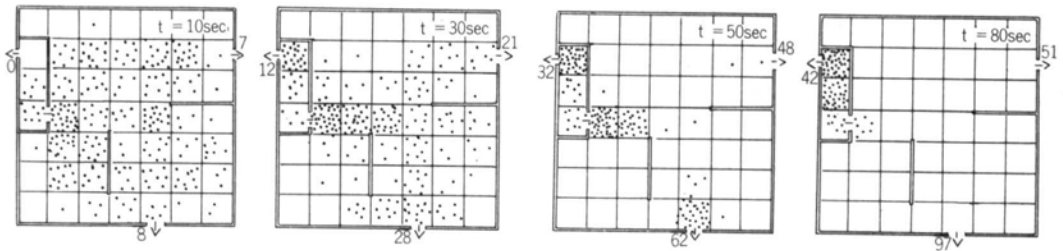


図-9 MODEL 1: 流動の方向性

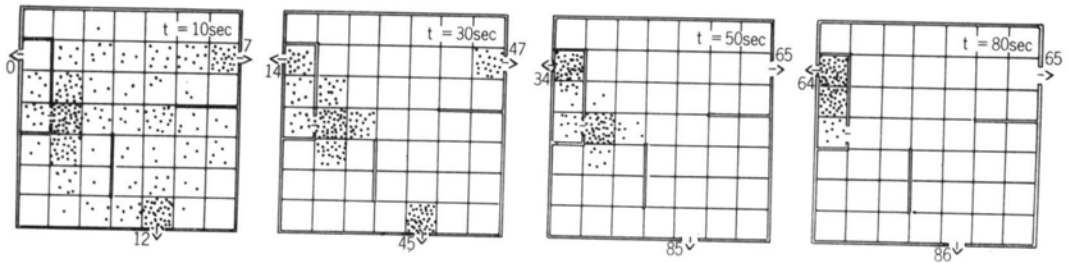


図-10 MODEL 2: 追隨行動

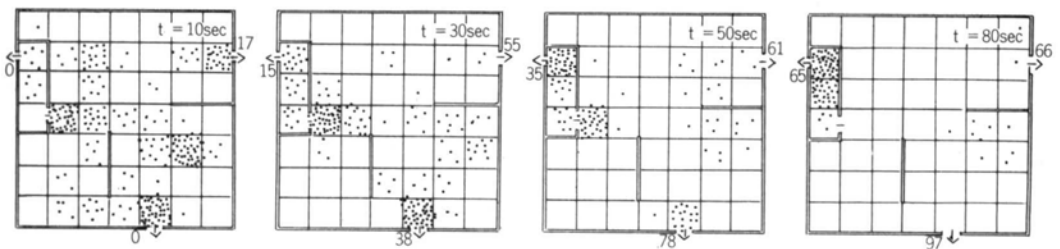


図-11 MODEL 3: 日常動線をたどる

事例2と3は当避難シミュレーション検討チームを主にしたメンバーにより行なわれたものである。以下、モデルと条件の設定と、結果の評価のしかたについて経過を記述する。

(a)〈事例1：超高層建築の基準階について〉基本となる平面計画案に基づき、防災計画をまとめる段階で、図-12(a)居室A側に廊下がないことが問題にされた。そして、避難上より有利と判断して代替案図-12(b)が提案され、表-4のケース5についてシミュレーションを行なった。

ケース1では、特に行動特性には配慮せず「一般的なもの」として表-4の右欄の条件が設定された。このケースの評価では、「避難終了時間」は65秒と短かく、また待ち時間も最大15秒で特に問題はなからうとされている。一方、当初避難上良いとされている図-12(b)を扱ったケース2では「避難経路数」が多いため、「居室退出時間」は短くなるが、避難終了には約10秒長かくなり、また「各出口の使われ方」に差が生じている。すなわち、「火災階では経路数から有利となるが、下階の火災により廊下に煙が伝わった場合は不利となる」ことが確認されている。ここで、図-12(b)を良しと考えていた避

難計画の評価の狙いが、居室内火災に対する火災階の早期居室退出と経路選択可能性にあることが確認された。

この特性をさらに明らかにするために、より早く出られる方向選択モデルを使ったケース3（居室退出は約15秒短となる）、ケース4、ケース5では居室内火災による一方の出口の利用制限について検討されている。これらのケースを経て、コア・シャフト部からの煙噴出に対しコアに隣接する安全区画としての廊下の意味が問われるとともに、煙噴出の程度の把握がプラン決定に必要であるとしている。

(b)〈事例2：超高層建築の垂直避難誘導〉避難すべき状況としてはエレベータシャフトからの煙拡大を想定し、避難段階を(1)火災階のみ、(2)同一エレベータのサービスする階層、(3)火災階より上階全てまたは全館、の3段階を設定して、避難誘導の影響の把握を目的とした。

モデル設定に当っては「より避難のイメージに近い」ということと「事務所用途」で特に居室内の混乱はないとし、「階段における合流比」「廊下流入時点で安全な方向を選ぶ（廊下各部の危険度設定と避難所要時間を合成）」「階段での追い越しなし」を入れ、その他の方向選択は取り入れていない。シミュレーションは避難段階(2)と(3)について行なわれ、階別階段流入開始の条件（時間或いは避難状況）と合流比を避難誘導の要素と見ている。階段内の流動は階段入口のドア幅に制限され、ほぼ定常流になる。そして、附室内の待ち時間が数十分にも及ぶから、避難順序を決めるためにも煙流動の把握が必要とされている。

この事例における評価には、「火災階以下に降りる時間」、狭い所での長時間滞留がパニックにつながるとした「附室の待ち人数・待ち時間」、うろつき状態として「方向変更回数、経由エレメント数」、階段に煙が入る場合を考え「火災階と上階の扉が同時に開いている時間」が、ケースを重ねていく間に検討されている。しかし、避難終了時間を早くさせる方式とするか、合流に当たっての混乱および最上階への煙伝播可能性から避難順序を決めるかは、この段階では方針が出ていない。また、中間避難階の意味が(2)段階避難では、階段内の多少の密度低下による速度上昇分の効果に留まることが問題にあげられている。

(c)〈事例3：地下街〉避難の観点から現施設の問題を探り、防災設備の計画方針に役立てる目的としている。避難

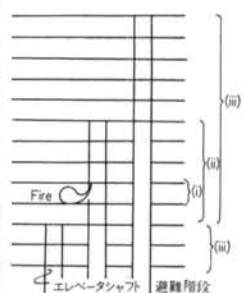


図-13

適用事例	規模	チーム、評価に加わった人数
〈1〉超高層建築Aの基準階	2200 m ²	チームA, 5人
〈2〉超高層建築Bの階段	地上39F, 基準階312人	チームB, 6~9人
〈3〉地下街	9600 m ² (通路部4500 m ²)	チームB', 5人 (チームBの一部)

表-3 避難シミュレーション適用事例

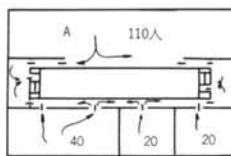


図-12(a)

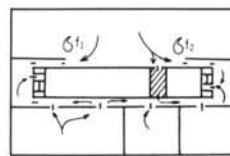


図-12(b)

ケース1	図-12(a), 右欄のモデル	速さ：居室：1 m/sec. 廊下：密度を考慮
ケース2	図-12(b), 右欄のモデル	出口：1.5人/sec./m
ケース3	図-12(b), より早く退出できる方向選択	初期位置：ランダム
ケース4	図-12(b), f_1 で火災, d_1 利用不可	合流比：50：50
ケース5	図-12(b), f_2 で火災, d_2 利用不可	方向選択：出口までの距離の2乗比

表-4 〈事例1〉のシミュレーション条件

ケース1 人数の多い、最上階を含む同一エレベータサービス階層

ケース2 同一エレベータサービス階層

ケース3 火災階より上階、全館

避難速度：廊下：密度—速度関数

階段：密度—速度関数

方向選択：危険度設定と、その時点の退出所要時間の合成

合流比：50：50，40：60，30：70

居室出口からスタート

廊下、階段での追い越しなし

表一5 〈事例2〉のシミュレーション条件

ケース1 避難者1,000人 (0.10人/㎡)

ケース2 1,500人 (0.16人/㎡)

ケース3 2,000人 (0.21人/㎡)

空間は 12m×9m メッシュに分割

避難速度：密度—速度関数

方向選択：メッシュ間の危険度と退出所要時間の合成

表一6 〈事例3〉のシミュレーション条件

行動の想定では「日常動線の利用」「追随」「合流や逆流」「煙拡散と避難」があげられるが、まず基本的なものとして、近い出口と待ち人数を考慮して出口を選択するモデルが作られた。結果からは、階段幅が大で階段間の間隔も小であるから「方向選択の混乱」が一部にしか生じないこと、その負担人口の多い階段は他と比べ「階段利用人数の不均衡」が生じることがあげられた。しかし、1,000人 (0.10人/㎡) で160秒、1,500人 (0.16人/㎡) で210秒、2,000人 (0.21人/㎡) で280秒と、普段想定されるものよりかなり早く終了していることがあげられた。すなわち、一般に避難状況は混乱状態やパニック等の非常状態で意識されている。そのような状態を想定しつつも、基本的に安全な方向を計画することが志向されているといえる。その場合の避難シミュレーションの位置づけも問題にあがっている。

6.2 避難計画とシミュレーションの役割

事例1～3において、評価に取り上げられた項目は以下の4つに分類できる。

- (1)避難者の状態：待ち人数、待ち時間、うろつき状況
- (2)煙や火に対する避難限度：通過時間
- (3)避難により生じる空間の状況：煙拡大につながる扉開放
- (4)避難施設の使われ方：出口への収束状況、出口・階段別の利用状況

これらの評価項目は、何回かシミュレーションを繰り返すことにより一般の避難時間以外にも各種の項目が出

されている。また、避難行動モデルもアウトプットと自己の避難イメージの比較から、修正が加えられるという過程が見られる。すなわち、日常の計画を行なって始めて避難に対するテーマが計画過程に顕在化するものの、その時点では、避難行動の想定も評価の方法も漠としたままで計画との対応は明確ではない。そして、計画案に対する自己の避難イメージから、逆に避難行動に対する意識を確認している。すなわち、避難シミュレーションが避難の側面を計画過程に顕在化させる道具となっており、この過程を通して事例2の中間避難階のように計画案の避難上の意味が問われ、シミュレーションの目的も認識される。しかし、こうした認識の過程のベースが設計条件ではなく、計画案であるから、基本的にはフィードバックをうまくできないことになる。

また、事例1で見られるが、計画案に対して持っていた自己の潜在的評価を、シミュレーション結果による計画案の特性と関連づけ、自己の避難計画の狙いを確認する使われ方がある。

こうした使われ方の実態から、行動特性を各種用いて計画案の特性、避難の状況の把握ができるよう、プログラムも各種の特性を選択できる仕組みが必要なことが分かる。

避難シミュレーションのこうした使われ方は、当初設定した避難についての設計目標の実現化として、空間条件と避難の側面の効果の対応を、シミュレーションを通して把えるという使い方と異なっている。具体的評価を除けば、むしろ、その前段階の計画過程における避難計画の側面の明確化という、避難計画の目標設定、設計条件（実現可能な生活条件）設定過程に位置づけられるものである。この使い方を有効にするには、設計初期段階から実行し、各段階の防災に対する問題を把える必要がある。この過程を経て計画意図、評価項目間の関係づけを設定すれば、計画案への設計条件の反映度合いを評価できる。

避難シミュレーションを実行するに当たっては、如何なる考え方で行なうかを把えた上で使う必要がある（目標設定過程では、各種のモデルを試し、条件の空間への変換過程ならば設計条件を明らかにし、計画へのフィードバックを主とする）。こうして、避難の側面からの評価ができれば他の防災対策の必要性能が設けられ、防災の体系化の方向となる。また、他の計画側面（ex. 機能、コスト、etc）との関係も図り得る方向となる。

§ 7. おわりに

避難シミュレーションプログラムについては、避難実態あるいは設計者に想定される機会の多い特性、特に方向選択の概念を、定性的ではあるが取り入れた。避難行動の想定を基に、計画意図の計画案への反映を評価できよう。ただし、居室から避難階までの全体構成をとった場合の適用可能範囲や、煙の拡散モデルの汎用化等にまだ問題は残されている。実際の計画への適用を通して、モデルを改良していく必要がある。

また、避難シミュレーションの設計過程における役割りとしては、従来明らかにされていなかった避難に対する認識、目標の顕在化、設計条件の設定という使われ方の実態が見られた。避難シミュレーションを実行するに当たっては、計画案を評価する道具として使うか、実態に見られるように避難の側面を設計過程に顕在化させる道

具とするかを明らかにして適用する必要がある。

今回伝えられた避難に対する考え方の実情は、設計過程における安全の捉え方の1つとして考えられる。したがって、避難シミュレーションプログラムは、顕在化したい⁵⁾設計過程における安全の扱われ方を把握する道具になり得ることが分かった。

今後は、避難行動モデルにおいて、本報であげた各種特性によるポテンシャルの考え方で統合化し、方向を選択するモデルとして、避難実態のシミュレートによる避難行動の構造を把握することである。

なお、本報は設計部芝浦総合開発プロジェクトチーム、富国生命プロジェクトチーム、設計計画部、技術開発本部の協力を得たものである。プログラミングについては、計算センター今尾氏の協力を得ている。

<参考文献>

- 1) 建設省監修：“建築防災計画指針総論” 財団法人日本建築センター（1975）（総論：矢代記）
- 2) 渡辺仁史：“オートマタ理論による建物からの避難行動の解析” 日本建築学会昭和48年度大会学術講演梗概集 No. 516
- 3) 建設省監修：“建築防災調査報告・資料集” 日本建築総合試験所（1976）
- 4) 坂井義生：“群集流動の基本型のシミュレーション” 日本建築学会昭和48年度大会学術講演梗概集 No. 5035
- 5) 矢代嘉郎：“基本設計段階における安全の捉え方” 日本建築学会昭和49年度大会学術講演梗概集 No. 5058

