

ビル避難群集流のシミュレーション

A Simulation Model of Crowd Flow in Emergency

近年、建築物の大形化に伴い火災等災害時の避難が特に問題となっている。最適な避難誘導計画を作成するには、避難誘導を行なった場合の群集の流れ方を推定し、計画の事前評価を行なう必要がある。日立製作所は、このような防災計画策定のための群集流シミュレータを開発した。

従来のモデルでは、群集の流れの方向を条件として与えなければならなかったが、本稿のモデルでは、周囲の状況が群集の動きに及ぼす影響を力学的手法で記述することにより、群集流の方向をも含めてシミュレートすることを可能にした。その結果、流れの方向を直接与えなくても、避難時間や滞留人数の経時的变化を求めることができる。

吉原郁夫* *Yoshihara Ikuo*
 中尾和夫** *Nakao Kazuo*
 大成幹彦* *Ōnari Mikihiko*
 小栗正裕*** *Oguri Masahiro*

1 緒言

火災など災害時の避難誘導計画は、各種の災害状況に応じた最適な避難の道順をあらかじめ決めておき、その道順に沿って誘導する方式が望ましい^{1),2)}。最適な道順は、いろいろな避難路選択の代替案を比較評価して決定する。この評価には、群集流の滞留(待ち)や避難時間を推定するための、避難群集流シミュレーションが不可欠である。

従来は、群集流をネットワーク流とみなし、交差点部で分岐する人数比を与える手法により群集流の模擬が可能であった^{3)~5)}。この手法では、ネットワークを作る段階で群集の流れの方向を外生的に与えなければならないが、大規模なビル、地下街、コンコースなどでは、群集流の方向を予想しにくいいため、この手法を適用することが困難である。

このような避難方向選択の自由度が大きい場所で、避難群集流を模擬するため、群集流の方向をモデル内で生成し、群集流をシミュレートするモデルを作成した⁶⁾。

2 群集流のモデル

群集の流れを表わすには、流れの方向と流れの量を求める必要がある。

2.1 群集流の方向

群集の流れ方は、周囲の状況に依存するが、本モデルでは、これを「各種状況要因が群集を特定の方向に移動させる力として作用する」と考え、人を質点、各種状況要因の影響を力とする力学モデルで人々の動きを表わす。

すなわち、群集流は力場の中の質点群の運動として記述する。力場は各種状況要因ごとに定義された力 F^1, F^2, \dots, F^n の和で与えられる^{6),7)}。

$$F = \sum_k F^k \dots\dots\dots(1)$$

具体的な状況要因としては、次に挙げるようなものがあり、それらが避難群集に及ぼす影響は、火災、地震などの事例調査から知ることができる^{8)~10)}。

(1) 火災

人は火煙を見ると恐怖心から避難行動をとる。このことから、火煙が人に及ぼす影響は、煙濃度 $Cs(r, t)$ をパラメータとし、 Cs の最も小さい方を向き大きさが Cs に比例する力として表現する。

(2) 避難誘導

誘導灯の群集制御力は、矢印の方向に向かった一定の力で表わす。

一方、人による現場誘導には人々がよく従うが影響する範囲が限られているので、その影響は誘導地点を中心にある範囲だけ有意な値をもつ関数で表わす。

(3) 混雑度

群集の流率は、群集密度がある程度以上大きくなるとかえって低下することから、群集密度の高い所から低い所へ人を向かわせる力が働くと考える。

この力は、群集が混雑している地点を回避して通る性質を表わしている。

(4) 避難路

群集が避難する際、最も分かりやすい道は、日常多くの人が通っている道すじ、すなわち日常動線である。ここでは、日常動線に沿い出口に向かう力を導入することにより、特定の道を選んで避難する傾向を表わす。

2.2 群集の流量

群集の流量は、フロアを区画に分割し、区画と区画の境界を通過する人数で表わされる。例えば、ある区画 R から隣接区画 R' に Δt 時間内に流出する人数 $\Phi_{R'}^{R'}(t)$ は次のように求める(図1)。

$\Phi_{R'}^{R'}(t)$ は、区画 R にいる人のうち、 R と R' の境界に到達できて、かつその境界の幅員を通過できる人数である。 R と R' の境界に到達できるのは、図1の○印を施した領域にいる人である。

この領域の長さ l は、 Δt 時間内の群集歩行距離の RR' 方向への射影 $V_R \cos(RR', F_R) \Delta t$ で与えられる。ここで V_R は群集歩行速度であり、これは図2のように群集密度に依存して変化する¹¹⁾。

R と R' の境界の幅員 $W_{R'}^{R'}$ を通過できる人数は $\phi W_{R'}^{R'} \Delta t$ である。ここで ϕ は、単位時間当たり単位幅員を通過できる人数(群集流出係数)であり、その値は $1.5 \text{人}/\text{m} \cdot \text{s}$ である^{8),10)}。

以上のことから、隣接区画への遷移人数は次式で与えられる。

$$\Phi_{R'}^{R'}(t) = \min \left[\frac{N_R(t)}{a} V_R \cos(RR', F_R) \Delta t, \phi W_{R'}^{R'} \Delta t \right] \dots(2)$$

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所機電事業本部

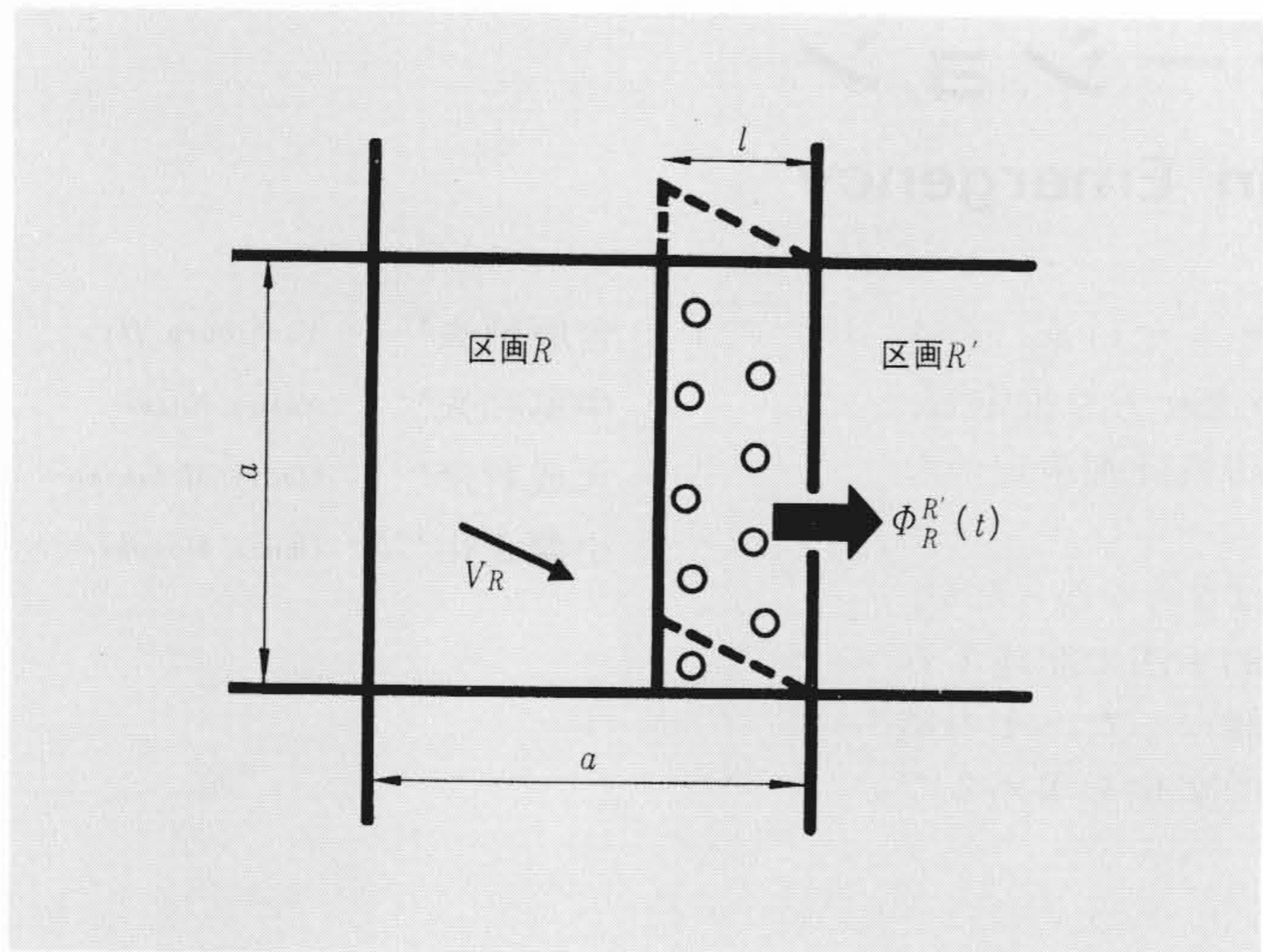


図1 隣接区画への群集流出領域 Δt 時間内には、○印の領域内の群集が右側の区画R'へ流出できる。

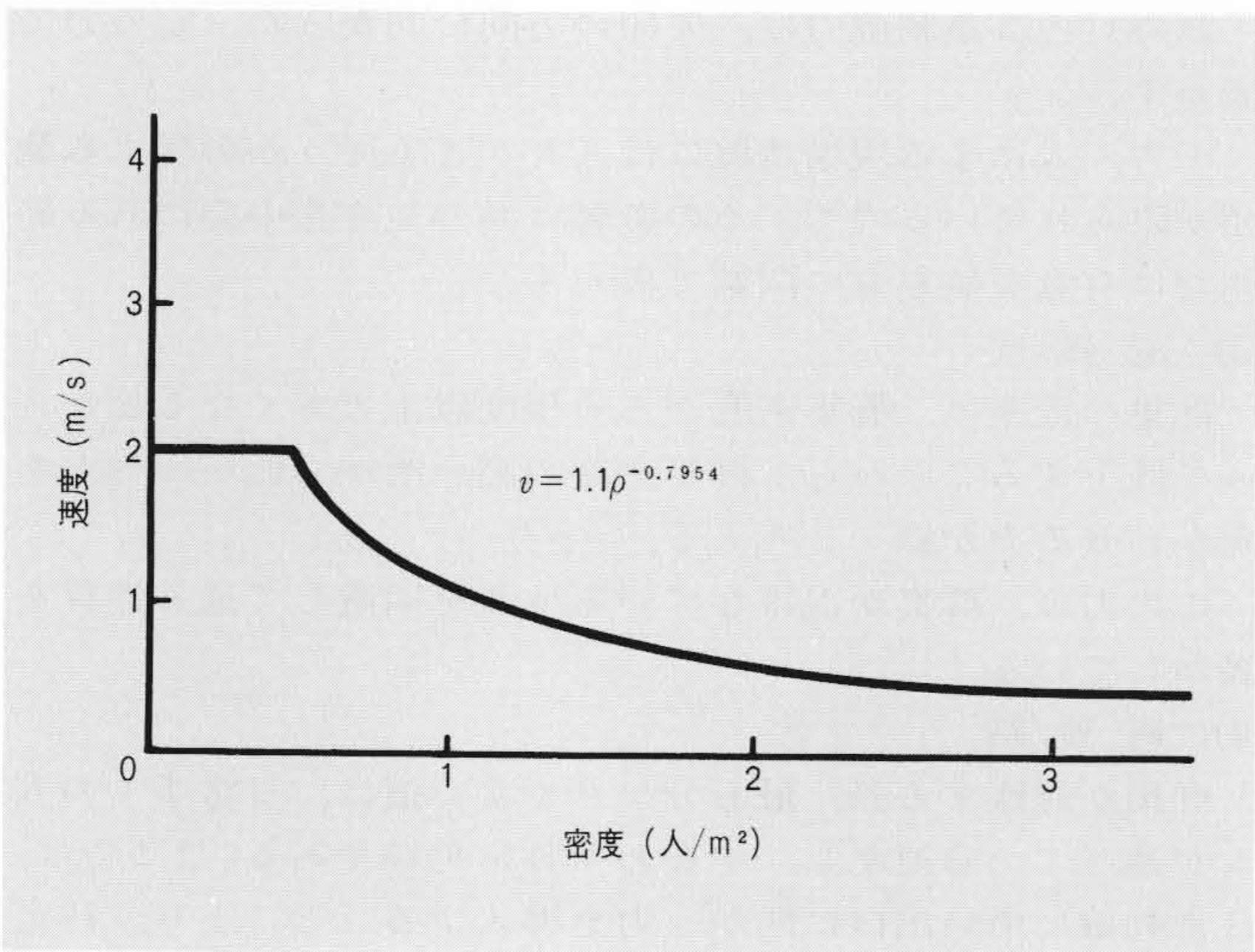


図2 群集歩行速度¹¹⁾ 群集歩行速度は群集密度に依存する。

3 避難群集流のシミュレーション

避難群集流のシミュレーションは、2.のモデルを骨子とし、図3のフローに示す手順で行なう。以下、同図に従いシミュレーションの方法を説明する。

(1) 想定する災害条件に基づき、各区画の初期人数データや力場の関数(煙の動き、避難誘導の方向など)を与える。

初期人数は、実測値がなければ、建物の用途別群集密度をもとに、乱数で各区画のばらつきを加味して与える¹²⁾。力場は2.1で述べた考えに基づき、時間 t 、空間 R の関数で表わし与える。

なお、建物自体に関するデータは、プログラム作成時にパラメータとして与えている。これには縦方向、横方向の区画数、各区画の一边の長さや面積、区画間の幅員などがある。

以上のデータをもとに、 Δt 時間(0.5~2秒程度に選ぶ)間隔で、以下の手順(2)~(6)を繰り返す、群集流をシミュレートする。

(2) 毎時刻ごとに、各区画の力場を算出し、群集が流出して行く方向を求める。

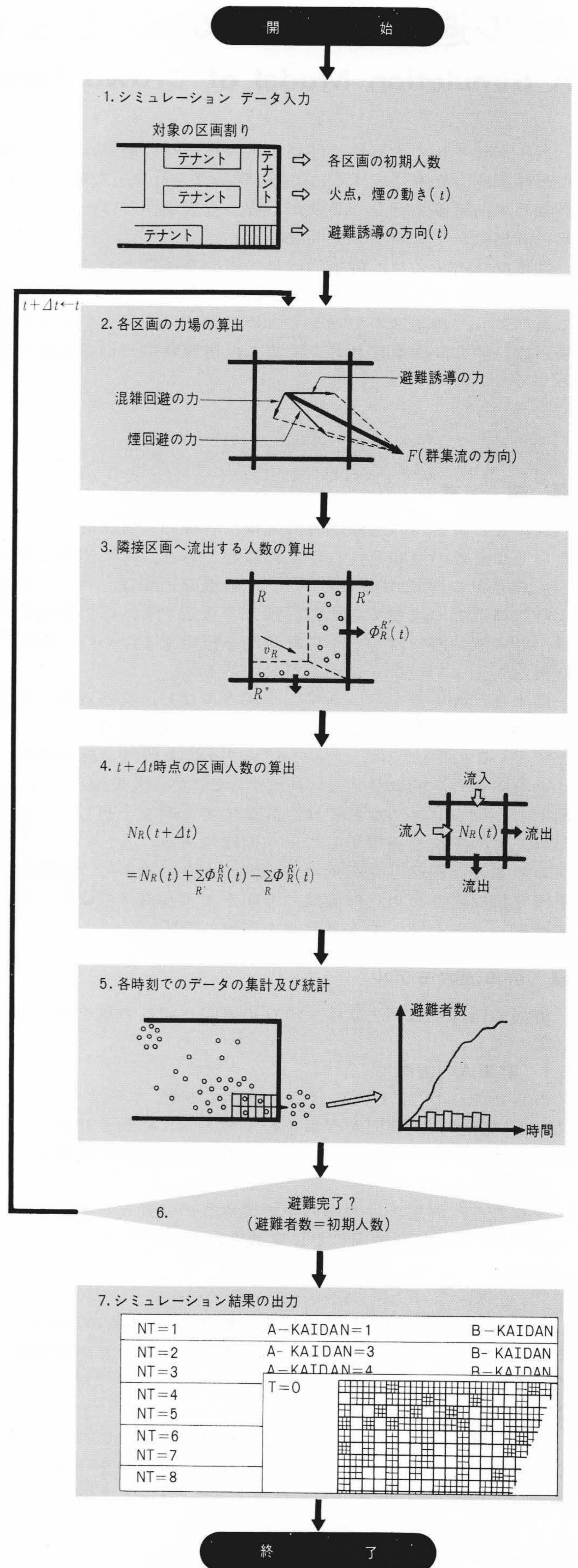


図3 シミュレーションの手順 初期人数、火点、避難誘導の方向等を与えると、群集流モデルに従い Δt 時間ごとの群集移動を計算する。

- (3) 各区画に対し、隣接する区画に流出する人数を(2)式から算出する。
- (4) すべての区画にわたり、 t 時点の人数に、隣接区画からの流入人数を加え、かつ流出人数を減らすことにより、 $t + \Delta t$ 時点の人数を算出する。
- (5) 毎時刻ごとに、避難場所到着者数、滞留者数などの集計と統計的処理を行なう。
- (6) 避難場所への到着者数と初期人数とを比較し、全員避難したか否かを判定する。避難が完了していない場合は先の(2)にもどる。
- (7) 指定した時刻での避難群集の分布や滞留の時間変化など、シミュレーション結果を出力する。群集分布は、直観的に分かりやすくするため、各区画を区画群集数に応じた濃淡図で表わす。滞留は各地点ごとの人数の時系列的変化のグラフから知ることができる。

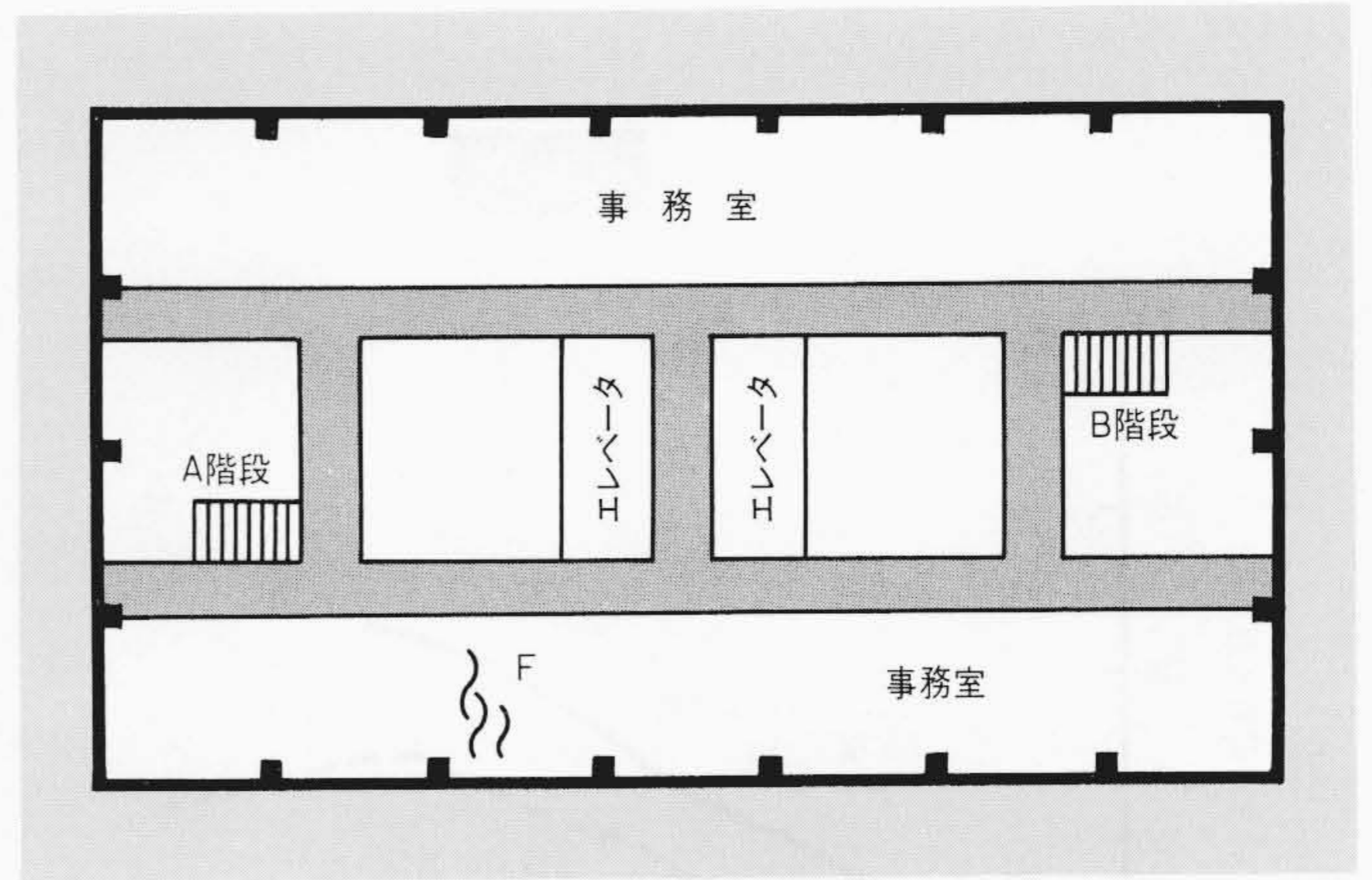


図4 高層事務所ビル この階のF点で出火し、人々がA階段、B階段へ避難する状況を模擬する。

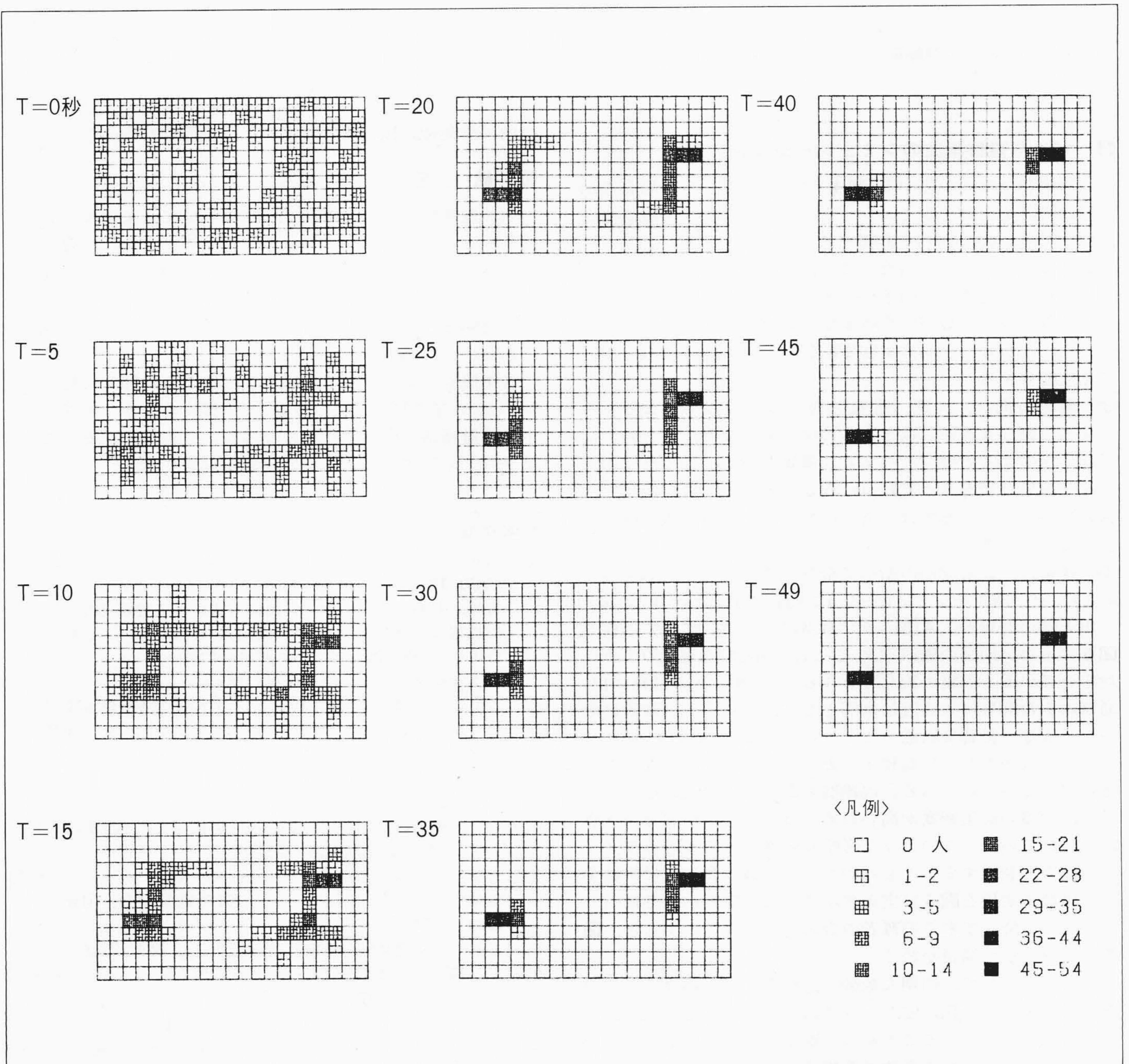


図5 群集分布の推移 出火階での各時刻の群集分布を濃淡図で表わす。

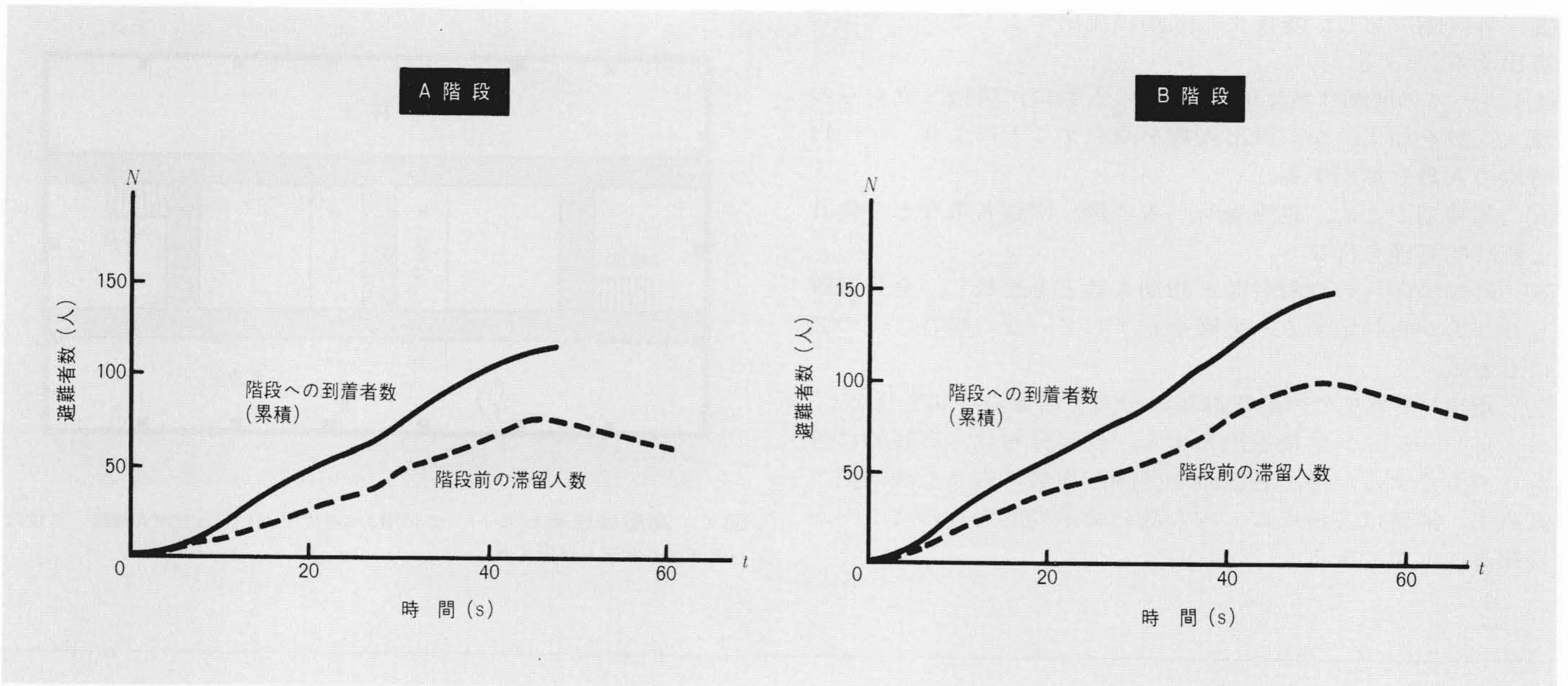


図6 A, B階段への群集集結 階段が詰まっているときは、階段前に破線で示すような滞留が生ずる。

4 ビル避難群集流のシミュレーション

高層事務所ビルの途中階(図4)で火災が発生した場合の出火階内の群集流動をシミュレートし、初期人数や避難誘導が滞留や避難時間に与える影響をみる。

シミュレーションに当たっては、次の仮定を設けた。

- (1) 火点は、図4の図面下側のF点とし、この階からの避難には、A階段及びB階段だけが用いられる。
- (2) 初期人数は、平均群集密度0.125人/m²とし、乱数を用いて分散配置する。
- (3) 避難方向は、火煙、避難誘導、混雑度から決まるものとする。煙は火点から遠ざかるに従い薄くなり、各方向には一様に伝搬すると仮定し与える。避難誘導には誘導灯が用いられ、群集は最寄りの避難口に向かうものとする。混雑度の影響については、群集は非常に群集密度の高い地点を回避しようとすると考えられる。
- (4) 群集は、非常放送の指示で全員同時に避難を開始するものとし、その時点をシミュレーション時間の原点 $t=0$ とする。

出火階の群集が、A階段及びB階段に集結して行く過程を図5に示す。同図の濃淡パターンは、各区画の人数の多少に対応している。群集の流れ方をみると、まず室から通路に出、通路に出た群集は火点近傍は別として、近いほうの階段に向かう。火煙の影響は火点のごく近傍にしか現われていないが、これは出火後ただちに避難するという仮定のため煙が遠方に届いていないからである。混雑度の影響は、階段に近い室の人が、通路の群集密度が高いためしばらく室にいるという点に現われている。このような考察から逆にモデルのパラメータの適否を判定することも可能である。A, B階段に集結する群集数の累積を図6に実線で示す。この階からの避難者と上階から下降して来る避難者の合流比が3:7とすると、図6に破線で示す滞留が続く。

このようにして、初期人数分布、火点、避難誘導の方向など、避難条件の変化に応じた、滞留の場所的・時間的変動や避難時間が把握できることから、避難誘導計画の事前評価が可能となる。なおビル全体の群集流は、各階に対し上例のような模擬を行ない、各階からの群集流を階段口を接点とし階

段内の群集流に接続することにより模擬される。

5 結 言

ビル避難群集流のシミュレータについて、モデルとシミュレーション方法について述べた。本稿のモデルは、力場の概念を導入することにより群集の置かれた周囲状況から群集流を推定することを特徴としている。このモデルにより、群集流の方向を外生的に与えなくとも、避難群集流の模擬が可能である。

群集流シミュレータを用いることにより、様々な避難の道順の選び方に対し、「どこに、どの程度の大きさの滞留が発生し、避難時間がどの程度になるか」を推定できる。この結果から、避難誘導方向の事前評価が可能である。

参考文献

- 1) 山元、赤沢ほか：「避難誘導システム」、日立評論、58、971(昭51-12)
- 2) 吉原、中尾ほか：「パターン制御方式による避難誘導システムの提案」、昭和51年電気学会全国大会、1672(昭51-4)
- 3) 吉田：「建物全体を考慮した避難時間のシミュレーション」、日本建築学会大会、621(昭48-10)
- 4) 吉原、中尾ほか：「待ち行列型モデルによる避難群集流動のシミュレーション」、昭和50年電気学会全国大会、2072(昭50-4)
- 5) 藤田：「大震火災時における住民避難の最適化」、生産研究、Vol. 27, No. 3, 501(昭50)
- 6) 吉原、中尾ほか：「避難環境の力場表現による群集流のモデル化」、電気学会論文誌(投稿中)
- 7) 吉原、中尾ほか：「メッシュポテンシャル型モデルによる群集流動のシミュレーション」、昭和51年電気学会全国大会、1673(昭51)
- 8) 彰国社編：建築学大系21(建築防火論)、329(昭48)
- 9) 東京都防災会議：大震災時における地下街のパニック対策に関する研究(昭47)
- 10) 日本火災学会：災害時の心理と行動(昭48)
- 11) 木村、伊原：「建築物内に於ける群集流動状態の観察」、日本建築学会論文集、Vol. 5, 307(昭12)
- 12) 日本火災学会：建築防火教材、87(昭51)