在館者の行動にもとづく火災フェイズのとりえ方

火災フェイズの概念にもとづく避難安全性の評価方法に関する研究 (その1)

THE ESTABLISHMENT OF THE PHASES OF FIRE SPREADING
PROCESS FROM A POINT OF VIEW OF HUMAN BEHAVIOR—A study on evaluation method of life safety in case of building
fire based on the fire phase model; No. 1—

矢代 嘉郎*

Yoshiro YASHIRO

This paper describes the fire phases which I propose through analyzing the records of occupant's behavior in the building fires.

The purpose of this analysis is to establish the fire phases as a fire spreading process model in order to set conditions of the analytical evaluation method of life safety. The method of this analysis is to understand the relation between human behavior and fire situation from the fire records. Fire phases are defined as different aspects about behavior through evaluating the indices of variety of behavior to the category of fire situation.

The data for the analysis are the records of occupant's behavior in the 2 severe fires, these are "Sennichimae Building Fire" and "Taiyo Department store Fire". As the result of the analysis, the 7 phases are established as the different aspects in building fire from a point of view of human behavior, and the causes which develop a building fire from phase to phase are determined.

This fire phase model is applied to the 81 fire records. It is explained that there are 5 types of building fire spreading process which have respective characteristics of life safety.

Keywords : fire phase, building firesafety, human behavior

1. 研究の目的と視点

1.1 研究の目的

本報は、建築の火災対策を合理的に計画する方法の確立をめざす研究の一環をなすものであり、避難安全性評価の基礎として、火災時の人の行動から、様相の異なる火災の局面（以下、火災フェイズという）を設定したものである。

近年、建築の多様化や大規模複合化により、従来の防災対策の前提を超えるような空間の出現や、より合理的な対策をめざした新たな対策の提案が増加している。こうした背景により建築の防災計画も転機を迎えつつある。それは、従来の法令対応の計画から性能論的計画方法をめざして、火災性状の予測にもとづき避難安全性などを評価する手法が開発され、実用化の段階にいたったことである²⁾。しかし、実際の設計ではまだこの方法を一般的に利用できるまでには至っていないのが実状で

ある。その原因は、防災計画にもとづいて火災性状を予測評価する状況や防災対応などを条件として設定しなければならないが、その方法が一般化されていないためであると考えられる。

こうした問題にたいして、本報は、火災拡大過程のモデルを防災対策の体系化と防災計画のストーリーにもとづいた避難安全性評価のシナリオ³⁾の設定方法に資するため、火災の拡大過程を非連続的な局面の進展としてとらえる視点にたち、火災時の行動を基準にして、火災フェイズを設定することを目的としている。すなわち、防火ならびに他分野における災害状態のとりえ方を考察し、火災フェイズの概念と要件を設定する。そして、2例の火災事例における行動記録から、火災時の現象と行動とのかわりをとらえ、行動種類の分布にもとづいて火災フェイズを設定する。さらに、この火災フェイズを火災事例81例に適用することによって、火災拡大過程

* 清水建設(株)技術研究所・工修

Senior Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation

の類型と特徴を把握し、火災フェイズの避難安全性評価における機能を確認する。

1.2 防災計画方法に関する既往の研究と課題

建築計画分野における防災計画研究を振り返ると、避難などの要素技術の先駆的な研究^{2)~4)}に引き続き、昭和40年代後半より総合的な防災計画の研究が始まった。すなわち、昭和47年、建築学会大会連合研究協議会で、それまでの防災対策の法規定が必ずしも建築の特性に適合せず、個別的、仕様書的事であることや、設計が法令を遵守するにとどまっている現実をたいして、総合的な計画の必要性が提起された⁵⁾。また、同時期に大火災が相次いだ。これらを契機として、避難計画や対策のシステム化や安全性評価などが研究されてきた⁶⁾。

このような防災計画研究の一方で、行政面では昭和56年、建築防災計画評価制度の発足により設計実務における防災計画が方向づけられ、現在では標準といえるまでになっている⁸⁾。

こうした経緯を経て現在は、防火性能の評価にもとづいて対策を計画するという性能評価手法が開発され、実用化の段階にいたっている。すなわち、これまでの燃焼性状や煙挙動の解析手法の発達や、避難計算手法の普及⁹⁾を背景に、昭和62年火災性状の予測にもとづく防火性能の評価手法がまとめられた（建設省総合技術開発プロジェクト「防火設計法の開発」）¹⁰⁾ことである。この手法は、従来の仕様の対策の規定にたいして、火災性状の予測にもとづいて防火性能を評価するという画期的なものではある。しかし、火災性状を予測評価するにあたって、避難時の状況や非常時における防災対応などの、防災計画にもとづいて予測評価する状況にいたる過程とその状況下における要素を条件として設定する必要がある。これは防災計画のストーリーにもとづく評価のシナリオの設け方といえるものであり、その方法が一般のビル火災の拡大過程とのかかわりをもたせた形で確立されているとはいえないことが課題であると考えられる。

この問題に関連しては、辻本 誠と志田弘二は火災拡大過程のシナリオの発生確率にもとづいてリスクを評価する方法を示した⁷⁾。室崎益輝ほかは避難時間を左右する覚知手段と避難開始時間を分析している⁸⁾。また、筆者は評価にあたって設定する条件が結果に及ぼす影響度合いを考察し、排煙設備の起動時間などの条件設定のしかたが結果を左右する要素を抽出した⁹⁾。しかし、ある条件下で評価はできても、その前提となる防災計画のストーリーと評価の条件を結ぶシナリオの設け方を提案するまでにはいたっていない。

一方、火災拡大過程の時系列的なとらえ方として、火災フェイズの考え方が提案されている。これは、燃焼の様相の変化という特性から考えられたモデルであり、火

災拡大の尺度ともされている¹⁵⁾。また、火災の局面に対応させた形で対策が位置づけられる。そのため、火災フェイズによって火災拡大過程をモデル化することは、防災計画のストーリーと評価の条件を結ぶシナリオの基礎となる考え方でもある。しかし、火災フェイズについては2章に記すように、計画的意図からいくつかのモデルが提案されているが、建築物の実際の火災との対応が明確でなく、計画の考え方にとどまっているのが実状である。

このような実状に対して、避難安全性の評価にもとづく合理的な対策の計画方法を確立するためには、防災計画と火災性状の予測評価のシナリオとを結ぶフレームとなる火災拡大過程のモデルが必要と考えられる。これを、避難行動の側面からモデル化することが課題であると考ええる。

1.3 火災のとらえ方としての建築の状態の視点

建築計画とは生活行為と空間の関係を体系的にとらえる研究分野とされている¹⁰⁾。この視点からみた安全性の問題は、非常時という状態を軸にした生活行為と空間とのかかわりを問題にする分野と規定できる。そして、安全性の指標は、生活行為に与える影響からみて、建築の安定的な状態から緊急な状態、災害といわれる状態までの「状態の緊急度」に相当する。また、防災計画は、目標とする状態を超えて進展しないように対策機能を計画することと規定できるであろう。

一方、災害の特性について論じた佐藤武夫ほかによると、災害は局面を変えながら拡大し、大災害になるという主旨が論じられている¹¹⁾。建築の火災についても、高野公男ほかによるビル火災の特異現象の報告¹²⁾によると、避難の観点からみた火災状況は、煙の噴出などにより非連続的な様相を呈するものと考えられる。

つまり、避難安全性を計画する観点からは、火災の拡大過程を、「様相が異なる局面」（火災フェイズ）が段階的に進展するという非連続的な過程としてとらえることが有効であろう。この局面を行動の緊急度の観点から区分してとらえることによって、火災フェイズは避難安全性を評価するうえでの火災拡大過程のモデルになるものと考えられる。

2. 避難安全性評価における火災フェイズの考え方

2.1 災害状態の区分の実例

火災は様相の異なる局面の進展過程としてとらえるために、防火分野ならびに他分野における計画対象の状態の区分を示した例を摘出したものが表—1である。

表—1を概観すると、守屋秀夫はeの温度に表れる火災の物理性状をモデル化し、防災対策の機能を位置づけ、防災計画の規範とした¹³⁾。これに対して、H. E. Nelsonはcのモデル¹⁴⁾を、森下弥三郎も住宅火災につい

表—1 災害ならびに計画対象の状態区分の例

事例 段階	a. Hazard Class	b. コンビナート 緊急状態	c. Fire Behavior Sequence	d. 住宅の 火災フェイズ	e. 火災 進展フェイズ	f. 消防庁の 火災フェイズ	g. 意識の フェイズ	h. 避難行動 フェイズ
I	Safe	不調	Ignition Initiation	着火物燃焼	(無炎着火) 爆焼	真火災か 否か不明	睡眠状態	平常状態
II	Marginal	故障	Initial Item Development	室内局部燃焼	(有炎着火) 火面拡大	火災初期 & 避難開始	居眠り状態	緊張状態
III	Critical	異常	Intra-Room Development	天井面拡大	(F O) 全体火災	室内盛期 & 消防到着	正常 リラックス状態	興奮状態
IV	Catastro- phic	事故	Inter-Spacial Development	全室内的燃焼	(火災荷重焼失) 余燼	他区画へ 延焼	正常 緊張状態	
V		災害	Inter Compar- ment Develop.	空間拡大	(鎮火)		緊急状態	
VI				棟全焼	()内は現象			
指標	システムの 緊急度	システムの 緊急度	火災の 拡大領域	火災の 拡大領域	燃焼性状	対策の対応 する現象	脳波の 特性	心理状態
出典	U.S.Army ²¹⁸ '74	高圧ガス ²¹⁹ 協会 '74	Nelson ²¹⁴ '76	森下 ²¹⁶ '77	守屋 ²¹³ '78	消防庁 ²¹⁷ '86	橋本 ²²⁰ '84	渡辺 ²²¹ '73

で同様な概念のdを提案した²¹⁵⁾。これらは、火災の燃焼域から拡大過程をモデル化したもので、火災拡大の確率的分析につなげている²¹⁶⁾。また、消防庁では火災フェイズを「建築物総合防災システムを火災対処機能として対応させるうえで、火災成長の時系列的展開を示す必要があることから設定した概念」として「発災時に予想される各々の事象」と定義し、fの4段階を設定し、防災設備の対応を規定している²¹⁷⁾。

一方、システムエンジニアリングの分野においては、aのHazard Classificationの考え方²¹⁸⁾がある。これはシステムの緊急度あるいは機能の度合いを示しているものである。bのコンビナートの安全指針²¹⁹⁾もこれに同様である。

行動安全にかかわるものをみると、橋本邦衛は脳波の型が異なるgの緊急度合いのフェイズ²²⁰⁾が存在することを解明し、人間工学分野での安全設計の基礎をなした。また、避難行動においては、渡辺仁史は心理状態をhのように区分した避難モデルを提案している²²¹⁾。

なお、三村由夫は出火防止、感知覚知警報、初期展炎防止初期消火、拡大延焼防止、避難、煙制御、消火救助という区分に対策を位置づけた²²²⁾。これも一般には火災フェイズとされているが、むしろ、火災の拡大過程にほぼ対応した対策の機能的分類であると考えられる。

2.2 火災フェイズの考え方と要件

災害状態の区分の例では、災害の性状と計画対象の状態との組み合わせから3つの類型がみられる。一つは、物理的あるいは生理的な性状の段階的変化を示すという計画の基礎となるものであり、eやgがこれにあたる。第二には、空間概念を入れたc、dや火災時の対応を示すfであり、防災対策と対応がとれるように火災拡大を段階づけている点に特徴がある。第三には対象の状態を

示すa、bであり、災害の状況ではなく、システムの緊急度のレベルを設定している点が特徴である。以上の類型は、安全性を計画するに際して与える機能により性格づけられるものと解釈できる。つまり、災害の進展過程の区分は計画的概念であるとみなされる。

そこで、1.3に示すように、避難安全性を行動と状態のかかわりでの視点にたつと、火災フェイズは、安全性の指標として行動に対する緊急度を表し、かつビル火災の実状を記述でき、対策機能を位置づけられるように設定することが要件となる。

この観点から火災における状態区分の例をみると、以下のようなものである。eは防災計画の考え方を示しているが、実火災への適用には難しい面がある。cとdは、典型的な燃焼拡大過程に限られ、ビル火災における避難などの問題に適用するには改良を必要とする。また、fは防災設備の面で現象と防災機能を対応づけているが、フェイズがある現象をさすか、局面を意味するか明確ではない。また、避難段階が大きくまとめられ、避難で問題となる現象と行動との関係がとらえにくいと考えられる。

以上にたいして、ここでは避難安全性を評価する状況とその状況にいたる過程のモデルとして、火災拡大過程を非連続的な局面の進展でとらえることを意図し、火災フェイズを「行動に変化を及ぼす現象を契機とした行動の様相の異なる火災の局面」と定義するものとする。この火災フェイズの概念では、ある現象によって行動が変化するまでは同じ火災状態が続いているものと仮定しており、複雑な現象もフェイズ内では定常的にみなそうとするものである。また、あるフェイズを避難安全性の目標レベルとし、そのフェイズまでの進展過程と進展の条件を防災計画のストーリーにもとづいた安全性評価のシナリオにしようとするものである。

3. 行動実態にもとづく火災フェイズの設定^{注3)}

3.1 行動記録の分析ならびにフェイズ設定の方法

3.1.1 行動記録の分析対象と分析方法

行動と火災状態の関係についての分析対象は、表—2に示す昭和47年の千日前ビル火災（以下＜千日＞と記す）の被災者35人の行動記録^{文23), 注4)}と、昭和48年の大洋デパート火災（以下＜大洋＞と記す）における被災者46人の行動記録^{注5), 注6)}である。

この火災事例を分析対象としたのは、被災者のことばによる記録であって、被災時点の行動が詳述されていること、破局的な段階にまでいたった火災であること、さらに1人当たりの記述内容が多く、火災状態と行動の関係を見いだしうる可能性が高いことによる。

行動記録の分析にあたっては、図—1の図式のように、局面を形成する火災現象と行動が対応するものと仮定する。この図式にもとづき、行動記録文を分解し、行動の変化とその起因を抽出する^{注7), 注8)}。そして、起因と行動を、おのおの同種のをまとめる方法でカテゴリを設定し、起因カテゴリと行動カテゴリの関係による

記述数を分析のデータとする。

なお、火災時の在館者の行動について、小林正美と堀内三郎はオフィスビルの火災事例における行動を分析し、非常時の行動は避難者の社会的属性に影響されるとともに、潜在的な危険回避の行動があることを報告している^{文24)}。しかし、本報では、主に従業員が対象となっているデータであるため属性には配慮せず、単純に現象と行動のみを関係づけて分析する。この点については、非常時の対応などの行動に変化を起こす現象をとらえるという限定した目的であるため、各種の行動が予想される従業員を主とした分析であっても支障は少ないものと考えた。

3.1.2 類似度による火災フェイズ設定方法

起因にたいして行動種類の分布が類似していれば、その起因は同じ局面にあるものと考え、起因カテゴリ別の行動カテゴリの記述の分布から、起因カテゴリ間の類似性によって局面を形成する起因を識別する。すなわち、行動の様相を基準として、ある起因から次の起因までの局面を設定し、これを火災フェイズとする。

ここで、類似の判断には地域の生態的類似性を指標化した(1)式に示す森下正明の類似度^{文25), 注9)}によって指標化する。さらに、各起因カテゴリ間の類似度の逆数 $1/C_{ij}$ をユークリッド距離とみなして、群平均法を分離基準としたクラスター分析により、行動分布が類似する起因をまとめる。

$$C_{ij} = \frac{2 \sum_{k=1}^m n_{ik} n_{jk}}{(\lambda_i + \lambda_j) N_i N_j} \dots \dots \dots (1)$$

$$\lambda_i = \frac{\sum_{k=1}^m n_{ik}(n_{ik}-1)}{N_i(N_i-1)} \dots \dots \dots (2)$$

C_{ij} : 起因カテゴリ i, j 間の類似度

λ_i : 起因カテゴリ i の多様度

n_{ik} : 起因カテゴリ i の中の行動種 k の数

N_i : 起因カテゴリ i の中の総数

m : 行動カテゴリ数

3.2 非常時の行動と起因との関係

火災時の状況と行動の記述から、行動とその起因となる現象（または状態）を抽出し、グルーピングした。その結果、行動については表—3の23項目にまとめた。これらは防災上の行動目的からみると10種類になる。行動の起因については、単に火煙の状況のみだけでなく、避難誘導や周辺の群集の状態なども挙げられている。これらと同じ状況を示していると判断されるものをグルーピングし、表—4の16項目にまとめた。

この起因と行動のカテゴリによって行動記述をプロットしたのが表—5である。その結果、＜千日＞では時系列的に発生する現象にそって、火災確認の行動から、避難、脱出という行動へ順次変化している傾向がみられ

表—2 分析対象者の属性

<千日> ()は女性、内数				
階	防火 管理者	従業員	工事 関係者	客
7		14 (5)		4
6			3	
5				
4				
3			5	
2				
1	3	3 (3)	1	
B 1	2			
合計	5	17 (8)	9	4

<大洋> < >は女性の推定数、内数				
階	防火 管理者	従業員	工事 関係者	客
9			1	
8			1	
7		4 <4>		
6		6 <6>		
5		4 <2>		
4		3 <3>		
3	1	7 <5>		
2		2 <1>		
1		6 <5>	2	
B 1		2		
地上		1	6	
合計	1	35 <26>	10	-

図—1 火災現象と行動との対応についての仮説

る。しかし、〈大洋〉では、火災初期段階では煙の発見や叫び声などによる確認や初期対応行動に特定されるが、その後はかなり分散しており、火災が進展したと考えられる現象にたいしても消火や避難などの行動がみられる。

両者の相違は、〈千日〉では分析対象者が集中している7階に火煙が噴出し、全員が同時に緊急な事態になったことにたいし、〈大洋〉では営業中の百貨店の火災のため、従業員や工事関係者による対処行動が行われているためであろう。

なお、〈千日〉の客4人は煙発見により、直ちに避難

していることから、客の行動は従業員とは大きく異なることが十分予想されることを注記する。

3.3 起因間の類似度による火災フェイズの設定

火災フェイズの契機となる起因として、表—4の16項目のままでは火災フェイズに対する行動の様相を識別できない。そこで、類似した起因をまとめるために、起因間の行動分布の類似性を指標化したものが表—6の類似度 C_{ij} である。

これを、各起因間の類似度の逆数 $1/C_{ij}$ を距離として、群平均法を分離基準としたクラスター分析によりまと

表—6 行動分布にもとづく起因間の類似度 ($100 C_{ij}$) 千日/大洋

E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	<大洋>
E 1		15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	E 1
E 2			210	43	85	19	3	19	13	43	15	13	0	0	0	0	E 2
E 3				188	282	36	0	68	0	50	0	0	0	0	0	0	E 3
E 4					98	89	65	89	78	68	68	73	2	5	0	7	E 4
E 5						70	49	28	15	23	4	0	0	0	0	0	E 5
E 6							111	60	46	40	42	47	2	0	0	34	E 6
E 7								48	34	15	20	15	14	15	0	57	E 7
E 8									99	92	99	94	2	5	0	12	E 8
E 9										90	103	126	18	60	10	24	E 9
E 10											98	138	15	24	17	31	E 10
E 11												120	4	31	17	14	E 11
E 12													13	43	0	21	E 12
E 13														71	10	88	E 13
E 14															52	126	E 14
E 15																34	E 15
E 16																	E 16
<千日>	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E 12	E 13	E 14	E 15	E 16	

表—3 記録文中の行動のカテゴリー

平常 : B1; 平常	避難作業 : B13; 避難口を確保する
異常感知 : B2; 通報する	B14; 避難誘導する
B3; 叫ぶ	避難 : B15; 避難する
確認行動 : B4; かけつける	B16; 避難方向を変える
B5; 火元の確認	脱出 : B17; こもる、うろつく
B6; 周囲を見る	B18; 脱出口を探す
防火作業 : B7; 非常放送する	B19; 脱出する
B8; 待機する	救助 : B20; 助けを求める
B9; 重要物の持出し	B21; 救助される
B10; 延焼防止の作業	救助する
消火作業 : B11; 消火作業の準備	その他: B22; 見ている
B12; 消火する	B23; 知人を探す

表—4 記録文中の行動起因のカテゴリー

E1: 平常	E9: 避難路なし、避難の指示
E2: 煙発見	E10: 黒煙が噴出、拡大
E3: 火事の声、音、臭い	E11: 人が殺到
E4: 火災確認、煙の確認	E12: 避難誘導、避難群集殺到
E5: 防火作業者の指示	E13: 脱出口なし、救助者の声
E6: 防火作業の完了、失敗	E14: 黒煙充満、窓明り、先導者
E7: 炎があがる(消火失敗)	E15: 飛び降り
E8: 煙の噴出、火の噴出	E16: 救助隊の到着

表—5 行動と行動起因との関係による記述文数<千日>/<大洋>

行動 起因	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	計
E1	35	46																						35
E2	4	3		3	10	5			2	2					3									23
E3		2	1	1	2	15									3									44
E4			5		2	2	1		1	2	6	1	3	3	3	1	1							23
E5											2	4	1	2	4									28
E6			3		3	2	3			1	2	4	1	2	4									2
E7			2		3	1		1	1	3	11	10	2	2	5		1						2	12
E8											3	1	2	1	1	6	1						1	44
E9			3							3	1	2		1	9	1								3
E10					1		1			2	1			1	6	4	3	1		1	1	1	1	12
E11										2			1	3	1	3	7	1	2	1	2			20
E12													1	2	1	2	1	1		2				4
E13														2	2	2	3	1	1	1	10			6
E14															2	1	1	3	1	4	2			12
E15																1	1	1	1	2	2			7
E16									1			2		1						3	12			12

図-2 起因間の類似度によるクラスター〈千日〉

図-3 起因間の類似度によるクラスター〈大洋〉

め、デンドグラムで表したものが図-2、図-3である。

図-2、図-3にみられるように、〈千日〉では大きく距離が変わる点 ($1/C_{ij} \geq 8.2$) がある。しかし、この基準で〈大洋〉をみると、〈千日〉8区分と〈大洋〉4区分となり、局面の区分が大幅に異なる。そこで、両者に共通する区分とするために、両者の起因区分が対応するように各々に別の基準 (〈千日〉; $1/C_{ij} = 8.2$, 〈大洋〉; $1/C_{ij} = 2.0$) によって区分すると、以下に示すような〈千日〉で8段階、〈大洋〉で6段階の区分で、起因もほぼ相互に対応するようになる。

〈千日〉

〈大洋〉

(1) • E1	(i) • E1
(2) • E2, E3	(ii) • E2, E3, E4, E5
(3) • E4, E5, E6	(iii) • E6, E7
(4) • E7, E8	
(5) • E9, E10, E11	(iv) • E8, E9, E10, E11, E12
(6) • E12, E13, E14	(v) • E13, E14, E16
(7) • E15	(vi) • E15
(8) • E16	

以上の手続きから求めた〈大洋〉と〈千日〉における区分の相違点は、以下の3点である。

- ① 〈千日〉では主に避難行動にかかわる起因が (4) (5) の2区分となるが、〈大洋〉では (iv) の1区分で。
- ② E4, E5, E8やE12のように〈千日〉〈大洋〉間で起因の属する区分にずれがある。
- ③ 〈大洋〉ではE16救助活動が独立していない。

上記の①の避難行動を引き起こす段階の相違については、〈千日〉では主に避難準備と避難行動に分割されたものが、〈大洋〉では避難や避難誘導などの作業が火災が進んだ現象にたいしてもみられるため、分割できない結果となっているものと考えられる。②の起因現象の属する区分のずれについては、〈千日〉に比べて〈大洋〉では火災への対応は早い、危険に対する回避行動が遅れており、従業員の責任を果たす目的行動が続いている傾向となっている。③の救助活動については、〈大洋〉では消防隊が到着後も工事関係者は救出作業等に従事しているため、他の起因と結びついているものである。

これら3点の相違の原因には、〈千日〉では、分析対象者の多い階に急激に煙が噴出したため、在館者が一般的な行動をしている傾向があるのにたいし、〈大洋〉では全館が同時に危険になったのではなく、火災が進んだ段階でも従業員と工事関係者の各種の対処行動が続けられていたことが影響しているものと考えられる。

両者には以上のような相違がみられるため、一概には共通の火災フェイズを規定できない。そこで、両者に共通の火災フェイズとするために、火災フェイズは火災拡大の時系列的局面であることと、行動にとっての状態の緊急度を表すものであるという点から、状態区分の防災計画への適用性を判断して設定するものとする。

この考え方をとると、〈千日〉の主に避難行動にかかわる段階の2区分が緊急度の違いによっているものと解釈され、〈大洋〉の主に従業員の特性によって細分できない結果となっていると判断される1区分よりも防災対策を位置づけやすく、防災計画上有効であると考えられる。また、個々の起因の属する区分の違いについては、起因が1段階進んだ区分に含まれている〈千日〉を基準にするのが安全側となる。さらに、救助活動については、時系列的にみて脱出の失敗から救助されるか、あるいはパニックになるものと考え、救助とパニック的行動とを同じ局面とすることが妥当であると考えられる。

以上の手続きにより、平常状態も入れて、表-7の7段階の火災フェイズを設定した。

この設定した7段階の火災フェイズごとの行動の様相がそれぞれ固有であるか否かを確認するために、表-6の16項目の起因を、この7区分にまとめてフェイズ間の行動分布の類似度をとったものが表-8である。表-6と表-8の類似度の平均を比較すると、〈千日〉では $C_{ij} = 0.230$ が 0.162 に、〈大洋〉では $C_{ij} = 0.360$ が 0.251 というように約7割に減少している。つまり、従業員の多様な行動のため、避難にかかわるⅢⅣ段階では必ずしも区分の固有性は明確ではないが、全体として設定した火災フェイズごとの行動の個性が増し、様相の異なる局面を設定するという趣旨が生かされたものと解釈できる。

表一 行動にもとづく火災フェイズと主な起因

火災フェイズ	主な行動	起因 E1-E16	主な起因	
			火煙の現象	避難等の状況
0; 平常状態	平常行動	E1		
↓	↓	↓	↓	↓
I; 異常発生確認状態	確認行動 駆けつけ	E2 E3	煙発見	何か異常 火事の声
↓	↓	↓	↓	↓
II; 初期対処状態	消火準備 避難準備	E4 E5 E6	煙確認	対応者指示、 防火・消火作業失敗
↓	↓	↓	↓	↓
III; 避難状態	避難誘導 消火、避難	E7 E8	炎があがる 煙拡大、煙噴出	
↓	↓	↓	↓	↓
IV; 緊急避難状態	煙中避難 避難口探し	E9 E10 E11	黒煙噴出 黒煙せまる	避難者殺到 避難路なし
↓	↓	↓	↓	↓
V; 危急状態	脱出 うろつき	E12 E13 E14	避難路に黒煙 黒煙充満	群集殺到、避難失敗 脱出口なし、窓明り
↓	↓	↓	↓	↓
VI; パニック状態 救助	飛び降り、閉じ 籠り、被救助	E15 E16		飛び降り先行者 救助隊

表一 行動分布にもとづくフェイズ間の類似度 (100 C_{ij}) 千日/大洋

	0	I	II	III	IV	V	VI	大洋
0	0							
I	0	15	0	0	0	0	0	0
II	0	28	41	18	20	2	2	I
III	0	28	37	91	48	2	14	II
IV	0	21	35	99	83	23	24	III
V	0	7	11	31	45	38	24	IV
VI	0	0	0	0	0	0	87	V
千日	0	I	II	III	IV	V	VI	VI

フェイズ毎の起因分類
 0: E1, I: E2, E3, II: E4, E5, E6, III: E7, E8
 IV: E9, E10, E11, V: E12, E13, E14, VI: E15, E16

3.4 火災フェイズ別の行動の特徴

図一4は分析に使った2つの事例について、設定した各フェイズごとの行動の多様性から火災拡大過程における行動特性を再整理したものである。ただし、行動は23項目ではなく、防災上の目的行動として表一3にする10種にまとめて、(2)式によって多様度 λ を求めた。

2つの事例とも、火災初期では一様な行動を示している。しかし、避難も行われているII IIIの状態では多様な行動がみられることがわかる。さらに危急の状態になると行動は再び一様化する。この傾向は<千日>で顕著で

図一4 火災フェイズ別の行動の多様度

ある。<大洋>でも明確ではないが、徐々に一様化する傾向はみられる。すなわち、火災初期と緊急性が増した段階では、被災者の属性にはかかわらない一様な行動となるといえる。また、緊急を要した<千日>でも一時的に多様な行動となることは、実際の火災における行動特性の一つとして避難安全性評価において配慮すべき事実であると考えられる。

以上の結果より、非常時の行動の観点からも火災拡大過程は非連続的な局面の進展としてみることができると考えられる。その火災フェイズごとの典型的な行動は、火災初期のI, IIのフェイズには在館者はすぐに避難するのではなく、火災を確認し、初期の対処行動をとる。煙の拡大などによって始まるIIIのフェイズでは避難する者、誘導する者、消火などの作業につく者など多様であり、避難開始を一律に規定することはできない。黒煙の噴出などによって始まるIVでは、避難口を探したり、殺到するなどの群集パニックに近い避難状態になり、行動も一様化する。さらに、黒煙充満や群集殺到や避難路に煙噴出などによるVのフェイズでは脱出に一様化する。また、飛び降りなどの先行者がみられると、それに続いてVIのパニックになる。

これは、ごく一般的に理解される過程ではあるが、様相の異なる局面が規定され、行動の特徴と避難安全性にたいして重要といえる局面がかわる起因が実態から確認されたといえるであろう。

4. 火災フェイズによる火災拡大過程の分析

4.1 火災フェイズの適用方法

設定した火災フェイズの適用性をみるために、火災事例の拡大過程の記述に適用し、フェイズの進展のしかたを考察する。そこで、東京消防庁でまとめた特異火災112例²⁶⁾のうち、表一9の特性をもつ2階建て以上の耐火造の火災記録81例を分析対象にして、在館者の行動についての記述とその時の火災状況から判断して、前節で設定した火災フェイズにプロットし、フェイズの進展のしかたを類型的にとらえる。

その際、同じ火災事例の中にも場所によりフェイズの進展に相違があるが、この分析においてはフェイズの進展過程に異なった記述があればそれも重複してプロット

表一9 火災拡大過程の分析対象事例の特性と件数

用途 (件)	延面積 (件)	焼損面積 (件)	死者発生有無 (件)
ホテル旅館 21	S< 3000㎡	28 S< 500㎡	25 死者発生火災 50
物販店舗 24	< 6000	17 <1500	20 避難成功火災 31
病院 8	<10000	11 <3000	19
劇場 5	<20000	14 <6000	6
複合用途 23	>20000	11 >6000	11

するものとする。また、初期の段階で避難を終了した人がいた場合でも、同じ過程をたどってさらに進展したフェイズにいたった避難者があれば、後者の進展過程に含まれるものとしている。

なお、分析対象は限定された特異な火災事例であるので統計的意味はなく、火災フェイズ進展の類型とその特性の傾向を把握するにとどまるものである。

4.2 火災拡大過程の類型

適用対象の81事例について、火災フェイズの進展過程と事例数を示したのが図—5である。分析した火災事例では25種類の異なった進展過程がみられた。このなかには、順次火災が拡大していく典型的なケースのみでなく、フェイズがスキップするという急激な進展過程のあるケースが多いことがわかる。特に、覚知段階や初期避難段階がないまま、緊急避難あるいは脱出段階という煙に直面するフェイズにいたっているケースが多い。

分析対象は主に特殊建築物の比較的大規模な火災が取り上げられているが、このようなビル火災における避難については、煙の噴出による緊急状態の発生などのように、燃焼域の空間的拡大に対応するような過程にはならないという特徴をものがたっている。

そこで、この25種類の火災フェイズ進展過程を、死者の発生にかかわりが深いと考えられるフェイズのスキップのしかたから類型化すると、以下に示す5類型に分類できる。

A; フェイズ連続型

B; 避難フェイズスキップ型

C; 初期フェイズスキップ型

D; 2段階スキップ型

E; 火煙急襲型

Aは典型的な火災拡大過程を示すもので、ほぼ火煙の空間的拡大に対応して避難行動などが生じるフェイズの進展を示している。Bは避難中に煙が拡大し、通常の避難ルートでは間に合わなくなる場合と、避難開始が遅れた場合と、煙に急激に直面した場合である。Cでは火災覚知はしたものの初期の対応をせずに避難した場合と、火災覚知が遅れている場合である。また、Dは火災覚知の遅れから、初期の対応はするものの、避難段階で火煙に襲われる場合である。さらに、Eは火災覚知も遅れ、火煙に急激に直面する場合である。

この5つの火災フェイズ進展の類型とその細分類別に事例数をみたものが表—10である。この表に示されるように、死者の発生している火災は、覚知フェイズのスキップ(覚知遅れ)やその後の避難フェイズのスキップが生じているものが約70%をしめ、避難に成功している事例の約30%と大きく差が生じている。なお、連続型で死者が発生しているのは、進展過程が異なるタイプと同じ火災事例のなかで生じている別の進展過程である場合と、その過程のある段階で避難できない人がいたことを示すものである。すなわち、警報などの初期の対応が成功せず、フェイズの緊急度に応じた全館での対応状態となっていなかったケースであるといえる。

フェイズ間の進展をマトリックスにした表—11からみると、通常の避難フェイズから緊急避難や脱出にいたるケースが、避難フェイズのまま避難終了する場合よりも多く、64ケース中37ケース、また緊急避難フェイズでも脱出に移っているのが46ケース中33ケースみられる。

分析対象が特異火災であるため、必ずしもこの表が一般的なビル火災の傾向を表すものではないが、1つある

No	フェイズ							死者なし 事例数	死者発生 事例数
	0	I	II	III	IV	V	VI	D	
1	○	○	○	○				△	13
2	○	○	○	○	○	○		△	1
3	○	○	○	○	○	○	○		1
4	○	○	○	○	○		○		1
5	○	○	○	○		○			1
7	○	○	○	○		○	○		3
8	○	○	○		○				2
9	○	○	○		○	○		△	-
10	○	○	○		○	○	○	△	2
11	○	○	○			○		△	-
12	○	○	○			○	○		1
13	○	○		○					1
14	○		○	○				△	4
15	○		○	○	○			△	1
16	○		○	○	○	○		△	-
17	○		○	○	○	○	○	△	1
18	○		○	○		○	○	△	-
19	○		○		○				-
20	○		○		○	○		△	-
21	○		○		○	○	○	△	-
22	○		○			○		△	1
23	○		○			○	○	△	1
24	○				○	○	○	△	1
25	○					○	○	△	1
計									36
									73

注; ・D欄の△は死者発生に至ったケースのあることを示す。
・複数の進展過程を有する事例では重複してカウントした。
・死者発生のみ△がなく、死者発生事例数に算入されている場合、死者発生のみ△も同時に生じた事例があることを示す。

図—5 火災事例(81例)における火災フェイズの進展過程

表—10 火災フェイズ進展の類型と事例数

類型	事例数	死者なし	死者発生
(1)連続型		15(41.6%)	11(15.1%)
(2)避難ｽｷｯﾌﾟ型		10(27.8%)	11(15.1%)
避難遅れ		5	1
避難開始遅れ		4	4
急激拡大		1	6
(3)初期ｽｷｯﾌﾟ型		7(19.4%)	20(27.4%)
初期対応遅れ		1	5
覚知遅れ		6	15
(4)2段階ｽｷｯﾌﾟ型		2(5.6%)	27(37.0%)
覚知&避難遅れ		-	5
覚知&避難開始遅れ		-	7
覚知&対応失敗		2	15
(5)火煙急襲型		2(5.6%)	4(5.4%)

表一11 火災事例におけるフェイズ間推移

from to	0	I	II	III	IV	V	VI
0	-						
I	48	-					
II	55	47	-				
III	-	1	63	-			
IV	3	-	15	28	-		
V	3	-	24	9	31	-	
VI	-	-	-	-	2	40	-
Success	-	-	-	18	3	3	12
Death	-	-	-	(9)	(10)	(24)	(30)

注；()の起点フェイズは死者発生火災の最終フェイズを示す

いは2つのフェイズを飛び越した火災の拡大が多いことと、通常の避難行動のままでは終了しない場合が多いという傾向を示していることがわかる。つまり、避難安全性評価にあたって、避難流動特性を評価する以前の状況設定が大きなウェイトをもつことを示している。

4.3 火災フェイズの避難安全性評価に対する機能

以上のように、火災フェイズの進展した段階とその過程によって、火災の特徴と重大さが記述される。特に、フェイズをスキップする過程を評価する必要があることがわかる。

このように、火災を非連続的な拡大過程として設定した火災フェイズの考え方は、避難安全性の面からのビル火災の拡大過程の把握を容易にしているといえる。これは、設定した火災フェイズが人の行動を基準にして、単一の指標ではなく、各種の起因によって形成されるとしているためである。この点は複雑ではあるが、火災フェイズを適用することによって、煙の噴出や情報の遅れや避難遅れなどのフェイズ進展の起因が発生するか否かという、避難安全性評価の状況と対策の位置づけが明らかにされる。

また、分析した火災事例にみられるように、一般に同一火災の中でも空間による異なったフェイズ進展過程がある。この火災フェイズと空間との関係については、建築の火災に対処すべき緊急状態という観点からみれば、最も進展したある空間のフェイズを全館で対処すべき火災フェイズとみなすことが防災計画上是適切であると考えられる。

避難安全性の評価にあたっては、建築の避難流動性を評価する以前の、防災計画で守ろうとする状態にいたる過程にウェイトがかかる。避難安全性の計画におけるこの課題にたいして、設定した火災フェイズの考え方は、行動の緊急度を示すフェイズを安全性の尺度に、フェイズの進展の要因（起因発生要因）に対して対策機能を位置づけ、どの段階のフェイズまで進展するかによって避難安全性を評価することである。また、火災性状の予測評価手法を適用するにあたっては、評価する状況（目

標レベルのフェイズ）までの進展の過程とそのフェイズの対策機能の状態を設定することが防災計画のストーリーにもとづく評価のシナリオとなるであろう。

5. 結 論

建築の火災拡大過程の時系列のモデルとして、生活環境の状態が非連続的に変化するという火災フェイズの考え方にもとづいて、行動の起因にたいする行動種類の分布の類似性から、表一7に示す7段階からなる火災フェイズを設定した。その結果、分析対象とした火災事例<千日>と<大洋>のうち、<大洋>については従業員と工事関係者の行動が多様であったため、必ずしもフェイズごとの行動の一樣性は明確ではないものの、人の行動についても火災拡大過程のなかで様相の異なる局面があることが確認された。

そして、火災拡大過程を火災フェイズの進展として典型的にとらえ、フェイズの段階とそれまでの進展過程により、避難安全性からみたビル火災の特徴が記述できた。したがって、設定した火災フェイズは避難安全性からみた火災拡大過程のモデルとすることができるものと考えられる。

この火災フェイズの特徴は、従来の火災拡大過程のモデルにたいし、人の行動を基準にした建築の緊急度の観点からフェイズを定義していることである。そのため、フェイズ進展は単一指標ではなく、各種の起因によって生じている。したがって、設定した火災フェイズを全館の避難安全性の評価に適用するには、起因をベースにしてフェイズ進展の要因分析を行うことが課題となる。

6. おわりに

行動記述から設定した火災フェイズは、ごく一般的に解釈される行動状態の変化と類似するものであるが、行動からみても様相の異なる局面があることと、その起因が確認され、ビル火災に適用できることに意義があると考えられる。

次報は、より火災フェイズを物理的現象と対応させるために、実火災からフェイズが進展する条件の要因分析により、対策機能の位置づけを明らかにする予定である。

末筆ながら、建築計画における安全性の考え方や防災計画の考え方などにご指導いただいた伊藤 誠千葉大学教授、守屋秀夫千葉大学教授、太田利彦清水建設（株）技術研究所所長、ならびに建築学会建築計画委員会安全計画小委員会の皆様に謝意を表します。

注

- 1) ここでは、防災計画のストーリーとは非常時の事態にたいする対策の組み立てとし、評価のシナリオとは安全性を評価する事態の発生過程の筋書を意味するものとしている。本報では、評価にあたっての条件設定を防災計画

のストーリーにもとづいたシナリオによって設定するという、設計的視点にたった計画方法を目指しているものである。

- 2) 主に、火災実態の調査、避難シミュレーション、防災対策のシステム論的アプローチ、安全性評価が研究の対象となった。これらの先駆的な研究のみを挙げると、建築計画からみた火災実態調査には村上處直、高野公男ほかによる「災害空間の考察、その1~3」(昭和47年度日本建築学会大会梗概)が挙げられる。避難シミュレーションについては渡辺仁史、吉田克之ほかによる「人間-空間系の研究、その1~4」(昭和48年度日本建築学会大会梗概)が先駆となった。防災対策のシステム論的アプローチについては、寺井俊夫による信頼性を考慮した防災システム構成の考え方として、「火災に対する建物の安全計画法に関する研究、その1, 2」(昭和47年度日本建築学会大会梗概)がある。安全性評価には建設省建築研究所による住宅性能総合安全システムの開発が挙げられる(昭和51年度建築研究所年報, 1977)。
- 3) 筆者による昭和56年日本建築学会学術講演梗概集 No. 5054「行動からみた火災の状態の段階づけ」は、この章の趣旨を記したものである。しかし、起因の分類を大きくまとめたことと、フェイズ設定にあたっての類似度によるまとめかたが定性的であったため、再度同趣旨で検討を加えたものである。その結果、火災フェイズの区分で避難段階が2つに区分されたことと、パニックと救助を同じ段階に位置づけた点で相違が生じた。
- 4) デパートとゲームコーナーとキャバレーからなる7階建のビルである。3階の工事中の階から昭和47年5月13日22:27ころ出火し、空調レタダクトやエレベータシャフトをとおして7階の営業中のキャバレーに煙が伝播した。7階には警報もなかったことから、在館者は逃げ場を失い、狭い所に閉じ込められる者、窓から飛び降りる者などパニックになり、118人の死者をだした火災である。
- 5) 9階建の基準階約2100m²の百貨店における営業中の火災で、当時は増築工事中であった。昭和48年11月29日13:15ころ、階段室の2階と3階の間に置かれていた物品の所から出火し、階段ならびに工事中の中央エスカレータ部分を伝わって火煙が全館に伝播した。客は少なかったが、非常放送がなされなかったこともあり、避難開始が遅れ、また窓も遮断されており、避難者は逃げ場を失い、103人が死亡した(3F:1人, 4F:40人, 5F:1人, 6F:31人, 7F:29人, 8F:1人)。
火災概要は次の文献に報告されている。熊本市消防局予防課、「熊本市大洋デパートの火災概要」, 火災 Vol. 24, No. 3, 日本火災学会, 1974
- 6) 当時、この火災の調査団の協力員として調査に参加し、熊本市消防局からデータを収録させていただいたものである。詳細な属性はカットされているデータである。
- 7) 行動科学における刺激と反応のモデルは、社会的役割や個人の属性が影響する社会的行動には適当ではなく、クルト・レビンの行動モデル $B=f(e, h)$ (行動は環境と個人の属性を要素として決定される) の考え方が妥当と考えられている。本論の分析は、マクロにみて、行動に影響する現象を把握することを目的にしていることと、調査対象が主に従業員で社会的属性の差は小さいことに

より、環境と行動の関係のみで分析している。

- 8) 行動と火災状態との関係は建築物内の場所の違いにより、同じ記述でも時間的相違がある。しかし、ここでは行動に変化を与える状態を把握する考え方に限っているため、起因と行動の関係のみに分析を絞ったものである。
- 9) 生態学において地域の生態的類似性を種の分布により指標化する手法である。この多様度はサンプルが同じ種に該当する確率を示している。この手法の特徴はデータ数やデータの統計的分布に左右されない指標であることである。 λ_i は0に近いほど多様であることを示し、 C_{ij} は1に近いほど i と j 間で類似していることを示す。ただし、データの分布によって C_{ij} は1より大きくなる。

参考文献

- 1) 建設省大臣官房技術調査室監修：建築物の総合防火設計法, (財) 日本建築センター, 平成元年4月
- 2) 北沢五郎：百貨店における防火避難対策についての私案, 昭和8年度日本建築学会大会論文, 建築雑誌昭和8年4月号, pp. 523~536, 日本建築学会, 昭和8年4月
- 3) 戸川喜久二：群集流の観測に基づく避難施設の研究, 建築研究報告 No. 14, pp. 1~40, 建設省建築研究所, 昭和30年2月
- 4) 上田光雄：階段における群集流動の性状, 日本建築学会論文報告集 No. 55, pp. 94~99, 日本建築学会, 昭和32年2月
- 5) 太田利彦：昭和47年度日本建築学会大会連合研究協議会記録「建築の安全性とは何か」, 建築雑誌 Vol. 88, No. 1062, pp. 189~191, 日本建築学会, 昭和43年3月
- 6) 建設省住宅局建築指導課監修：新建築防災計画指針, 日本建築センター, 昭和60年6月
- 7) 志田弘二, 辻本 誠ほか：火災発生に伴う人命危険の評価法, 日本建築学会論文報告集, No. 368, pp. 69~78, 日本建築学会, 昭和61年10月
- 8) 室崎益輝, 中山 聡ほか：火災覚知過程および避難開始時間に関する研究 (その1, その2), 昭和61年度日本建築学会学術講演梗概集 No. 5362, No. 5363, pp. 723~726, 日本建築学会, 昭和61年8月
- 9) 矢代嘉郎：避難安全性評価における設定条件の影響度, 昭和63年度日本建築学会学術講演梗概集 No. 5290, pp. 579~580, 日本建築学会, 昭和63年10月
- 10) 鈴木成文, 守屋秀夫, 太田利彦：建築計画, 実教出版, 昭和50年10月
- 11) 佐藤武夫ほか：災害論, 勁草書房, 昭和39年
- 12) 高野公男ほか：済生会八幡病院火災の考察, 建築防火 No. 78 特集「建築計画からみた火災の調査研究」, pp. 24~37, (社) 日本科学防火協会, 昭和48年5月
- 13) 守屋秀夫：建築の防災設計 2-2 総合的防災対策, 日本サムシング (株), 昭和53年1月
- 14) Nelson, Harold E. : Systems Approach to Fire Protection Requirement for Building, 昭和51年度 UJNR 講演梗概集, General Service Administration (USA), 1976
- 15) 森下弥三郎：住宅における火災拡大過程に関する統計的考察, 昭和52年度日本火災学会研究発表会梗概集, 日本火災学会, 昭和52年5月
- 16) 青木義次：火災フェイズの拡大に関する確率論的研究, 昭和52年度日本建築学会学術講演梗概集 No. 5084,

- pp. 713~714, 日本建築学会, 昭和 52 年 10 月
- 17) 消防庁予防救急課編集: 建築物防災システム実態調査, 建築物の総合防災システムの評価指針第 1 巻第 2 章, (株) ぎょうせい, 昭和 61 年 11 月
- 18) Malasky, Sol W. : System Safety, Hayden Book Company, inc., 1974
- 19) 高圧ガス保安協会編集: コンビナート保安防災技術指針, 高圧ガス保安協会, 昭和 49 年
- 20) 橋本邦衛: 安全人間工学, 中央労働防止協会, 昭和 59 年
- 21) 渡辺仁史: オートマ理論による建物からの避難行動の解析, 昭和 48 年度日本建築学会学術講演梗概集, pp. 641~642, 日本建築学会, 昭和 48 年 10 月
- 22) 三村由夫: 防災計画の組み立て, 建設省住宅局建築指導課監修, 新建築防災計画指針第 1 章 1-2, 日本建築センター, 昭和 60 年 6 月
- 23) 大阪市消防局: 千日デパート火災関係者質問調書事項抜粋, 建築防火臨時増刊, 千日デパート火災総集号, pp. 132~140, (社) 日本科学防火協会, 昭和 47 年
- 24) 小林正美, 堀内三郎: オフィスビルにおける火災時の人間行動の分析(1)(2), 日本建築学会論文報告集 No. 280, pp. 137~142, No. 284, pp. 119~124, 日本建築学会, 昭和 54 年 6 月, 昭和 54 年 10 月
- 25) 田川日出夫: 生態遷移研究法, 共立出版, 昭和 54 年 3 月
- 26) 東京消防行政研究会編: 火災の実態から見た危険性の分析と評価—特異火災 112 例—, 全国加除法令出版(株), 昭和 58 年 4 月
- (1990 年 1 月 10 日原稿受理, 1990 年 6 月 5 日採用決定)