



# ビル内および広域の避難誘導支援に関する研究

仲谷, 善雄

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1989-09-22

(Date of Publication)

2008-03-10

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1335

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001335>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

ビル内および広域の避難誘導支援  
に関する研究

平成元年8月

仲谷善雄

## 内容梗概

本論文は、災害時の避難誘導支援に関する研究をまとめたものである。

第1章では、本研究の社会的背景を説明するとともに、本論文の梗概を示す。

第2章では、ビルなどの閉所空間における避難行動の計算機シミュレーションのためのモデル化手法および広域避難における避難拒否者の拒否理由推定手法について、従来の研究を整理し、その問題点を明らかにするとともに、本研究で提案する手法の特徴を説明する。

第3章では、総体的問題解決行動として避難行動を見る本研究の立場を明らかにし、その立場のもとで心理学などの分野における避難行動に関する知見を整理する。

第4章では閉所空間において避難者が単独で避難する場合の避難行動を計算機でシミュレートするための避難行動モデル化手法に情報处理的アプローチを適用することを提案する。総体的問題解決行動としての避難行動をモデル化するための枠組を提案するとともに、その枠組のもとで第3章で整理した知識を有効に利用する方法を提案する。また、本モデルを用いて避難事例を再現することにより、モデルの妥当性を検討するとともに、避難行動モデル化手法としての本手法の有効性を確認する。

第5章では、第4章のモデルを集合避難行動に適用する。避難者間の相互作用を、避難において重要な役割を果たすリーダーシップに注目してモデル化する。リーダーの自然発生過程のモデル化を試みるとともに、発生するリーダーの類型をシミュレーション変数として操作することで、異なるリーダーシップのもとでの避難の分析を可能としている。また、本モデルを用いて避難事例を再現することにより、モデルの妥当性を検討する。

第6章では、第4章および第5章で提案した手法が心理学などの有効な研究支援ツールになることを示すために、第5章の集合避難行動モデルにより仮想避難場面での避難行動の計算機シミュレーションを行う。リーダーの発生の有無や発生したリーダーの種類の違いが避難過程に与える影響について考察する。

第7章では、広域避難における避難拒否者の拒否理由を知識ベースに蓄えられた知識により地域単位で推定する手法を提案する。心理学や社会学などにおける避難拒否理由に関する知識を統合・整理する枠組を提案する。また、拒否理由の判明している避難事例を事後推定することにより、本手法の有効性を確認する。

第8章では、第3章から第7章までに得られた結論をまとめるとともに、残された問題について述べる。

# 目 次

第 1 章 序 論	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 閉所空間避難の問題点	1
1.1.2 広域避難の問題点	2
1.2 本研究の目的	4
1.3 論文の構成	4
第 2 章 基礎的考察	7
2.1 緒 言	7
2.2 従来の研究	7
2.2.1 閉所空間避難行動特性に関する研究	7
2.2.2 広域避難拒否者の拒否理由の推定に関する研究	8
2.3 本研究で採用するアプローチ	8
2.3.1 情報処理的アプローチ	9
2.3.2 知識システム	10
2.4 本研究の特徴	12
2.4.1 情報処理的アプローチによる閉所空間避難行動分析	12
2.4.2 広域避難拒否理由の推定	13
2.5 結 言	14
第 3 章 避難行動特性	15
3.1 緒 言	15
3.2 避難者像	17
3.3 一般的な避難行動特性	20
3.3.1 情報探索行動	21
3.3.2 逃避行動	21
3.3.3 避難経路の選択基準	22
3.3.4 避難者間の相互作用	23

3.3.5	恐怖耐性	25
3.3.6	恐怖度の変化	25
3.4	閉所空間避難行動特性	26
3.4.1	情報探索行動	26
3.4.2	避難経路	26
3.4.3	日常的役割の影響	27
3.4.4	煙の影響	27
3.5	広域避難行動特性	28
3.5.1	情報探索行動	28
3.5.2	避難行動の妨害要因	29
3.5.3	避難距離	30
3.6	結    言	30
第4章	閉所空間単独避難行動モデル	31
4.1	結    言	31
4.2	単独避難行動モデル	33
4.2.1	モデルにおける諸概念	33
4.2.2	避難行動の構造	33
4.2.3	避難行動フェイズ	34
4.2.4	基本ステップ	36
4.2.5	単位処理	37
4.2.6	情報の探索	43
4.2.7	避難目標の設定	43
4.2.8	避難経路の決定	45
4.2.9	外界データ	46
4.2.10	個人特性	47
4.3	システムの構成	49
4.4	表現形式	50
4.4.1	長期記憶ユニット	50
4.4.2	短期記憶ユニット	54
4.4.3	個人特性ユニット	55
4.4.4	外界データベース部	56

4.5	システムの動作	57
4.6	モデルの妥当性	58
4.6.1	火災の概要	59
4.6.2	シミュレーション1	60
4.6.3	シミュレーション2	63
4.6.4	考察	66
4.7	結 言	67
第5章 閉所空間集合避難行動モデル		69
5.1	緒 言	69
5.2	相互作用モデル	70
5.2.1	リーダーシップの定義	70
5.2.2	リーダーシップ発生時期	71
5.2.3	リーダーシップの種類	72
5.2.4	フォロワーによるリーダーの探索	73
5.2.5	リーダーシップの効果	75
5.2.6	リーダーシップの消滅	75
5.3	システムの構成	76
5.3.1	避難者モデル	77
5.3.2	外界データベース	77
5.3.3	制御部	77
5.3.4	インタフェース	77
5.4	表現形式	78
5.4.1	短期記憶ユニット	78
5.4.2	個人特性ユニット	79
5.4.3	外界データベース部	79
5.5	システムの動作	80
5.6	モデルの妥当性	81
5.6.1	シミュレーション	82
5.6.2	考 察	85
5.7	結 言	86

第 6 章	閉所空間避難行動シミュレーション	88
6.1	緒言	88
6.2	仮説	88
6.3	シミュレーション	90
6.3.1	避難状況	90
6.3.2	リーダーシップの有効性に関する仮説の検証	91
6.3.3	効果的なリーダーシップ類型に関する仮説の検証	96
6.4	考察	100
6.5	結言	102
第 7 章	広域避難拒否理由の推定	103
7.1	緒言	103
7.2	広域避難拒否理由推定の問題点	103
7.2.1	使用できる知識に関する制約	103
7.2.2	データの入手方法に関する制約	104
7.2.3	推定結果の提示方法に関する制約	104
7.3	広域避難拒否理由推定システムの枠組	104
7.3.1	推定ルールによる推定	104
7.3.2	推定ルールの構造	104
7.3.3	推定ルール間の関係	108
7.3.4	入手方法に基づくデータの分類	110
7.3.5	推定方法	112
7.4	広域避難拒否理由推定システムの構成	114
7.4.1	構成	114
7.4.2	知識の表現形式	114
7.5	推定例	117
7.6	結言	120
第 8 章	結論	121
謝辞		124

参考文献	.....	125
付録 1	モデル I のシミュレーション例 (避難者 1)	131
付録 2	モデル I のシミュレーション例 (避難者 2)	133
付録 3	モデル II のシミュレーション例	136
付録 4	実験 1 のパーソントリップ	138
付録 5	実験 2 のパーソントリップ	139
付録 6	実験 3 のパーソントリップ	141
付録 7	実験 4 のパーソントリップ	142
付録 8	実験 5 のパーソントリップ	144
付録 9	実験 6 のパーソントリップ	145



## 第1章 序論

初めに、本研究の背景となる、都市における避難の問題点について整理した上で、本研究の目的と内容について述べる。

### 1. 1 研究の背景

都市は常に防災に関心を持ち続けてきた[5]。歴史的に、河川の氾濫、火山の噴火、地震などの自然災害や、火災などの人為的な事故への対策には莫大な費用が投じられてきた。現代の都市においてもこの傾向は変わらない。

しかし近年の災害は、都市化の急激な進展により多様化、複合化してきた。中でも高層ビルや地下街は、高度に複雑なシステムであるとともに、人間にとって不慣れた空間であるため、それらの建築物における災害は、第2次、第3次の災害を誘発することが多い。また様々な被災事例が、主に防災施設の不備や不適切な避難誘導などの視点から報道されるようになってきていることから、社会的に避難誘導支援方法への関心が高まってきている。

避難の問題は、高層ビルや地下街などの閉所空間における避難と、そのような建築物の集合体としての広域における避難に区別してとらえることができる。実際には両者は相互に密接に関連しているが、問題の現れ方が異なるため、以下では個別に扱う。

#### 1. 1. 1 閉所空間避難の問題点

高層ビルや地下街などのように、人や施設が高度に集積した閉所空間における避難の危険性は従来より指摘されてきた [3, 61]。実際に、そのような意見を支持する災害事例も多く報告されている [3]。文献61は、あまりに急速な高層化や地下化を諫め、高層ビルや地下街の建築に際して、人間の行動特性を十分に考慮する重要性を主張している。

これまでの研究（例えば文献3, 5, 47, 61）に基づいて閉所空間における避難に関する主要な問題点をまとめると次のようになる。

- ①地理不案内の避難者が多数を占めるため、大規模な混乱が予想されること。
- ②火災などの場合では直接火元を見る人間は少数であり、大部分の避難者は異常事

態の発生を認識しないままに避難することになること。

- ③ 高層ビルと地下街は連結されていることが多く、複合災害となる危険性があること。
- ④ 高層ビル避難時には通常エレベータは停止し使用できなくなるため、階段による避難となるが、階段室での混乱が予想されるとともに、身体障害者や老人には危険なこと。
- ⑤ 高層ビルの上層には梯子車がとどかず、外部からの救助には限界があること。
- ⑥ 災害発生箇所の確認に手間どり、避難命令発令時期が遅れる恐れがあること。

このような問題に対する対策は次の5点にまとめることができる。

- ① 避難者の行動特性を考慮した空間設計（理解しやすい避難経路、など）。
- ② 適切な避難誘導方法の導入（リーダーの訓練、報知手段、など）。
- ③ 避難教育の徹底（学校教育、社会教育、など）。
- ④ 新しい救助方法の研究（エレベータの利用、など）。
- ⑤ 災害の影響の縮小方法の研究（消火方法、耐震設計、など）。

これらの対策のうち、⑤は災害の特性に関する地球科学や耐震工学などの自然科学的研究が中心であり、現時点でもある程度の成果が出されている。一方、①～④は人間科学的な研究が中心である。人間科学的研究は、まだ歴史が浅く、十分な成果が出ているとは言えない [2, 27, 62]。とくに、その研究方法には改善の余地が大きい。

人間科学的研究の研究方法には調査、実験、計算機シミュレーションなどがある。その中で、計算機シミュレーションは、調査や実験の結果を整理・統合し、動的な分析を行うための有効な研究方法である。しかし、従来の計算機シミュレーションモデルは調査や実験から得られた知見を十分に扱えていないため、避難行動に関する知見が体系的に蓄積されていない原因のひとつとなっている。

## 1. 1. 2 広域避難の問題点

広域避難には、自然発生的なもの、何らかの指示によるものがある。以下では後者の場合を扱う。

指示による広域避難（以下では単に広域避難と呼ぶ）は、災害により広域に被害が及ぶ可能性があるときに、地方公共団体などの公共機関が被災予想地域の住民を安全

と思われる地域に避難させるものである。災害因を完全に除去することの困難な現在において、広域避難は被害を最小限に抑える唯一の有効な手段である。例えば昭和56年から58年までの3年間に我が国の市町村が発令した避難命令数は589回、対象人数は114万人におよんでいる[16]。特に火山の噴火、津波、洪水などに対する発令が多く、最近では伊豆大島三原山や十勝岳の噴火の際の大規模な避難が話題となった。さらに、東海地震に関連して注目されている[17, 83]。

広域避難においては、適切な避難目標の設定方法や群集の誘導方法など、様々な問題が存在する。その中でも最近では、避難拒否の問題が注目されている。避難を拒否する住民の存在は、様々な広域避難において報告されている(表1. 1)。上記三原山の噴火のように、目前に危険が迫っている場合でさえ、避難拒否者は存在した。避難拒否者は、自然災害でも人為災害でも、日本でも海外でも、かなり多いと言われている[17]。そのため、最近の広域避難に関する研究では、避難警報の報知方法と関連させて活発に議論されている。文献17においても多くの部分を避難拒否者の問題に割いている。避難拒否者がいると貴重な人員や時間をその説得のためにさかねばならず、円滑な避難を妨げる要因になっている。

避難拒否者を避難させるためには避難拒否理由を明らかにする必要がある。しかし現状では、避難拒否理由は災害の危機が去った後の調査で初めて判明することが多い。避難拒否理由に関する研究は従来より行われていたが、その成果はようやく蓄積されてきたところである[16, 17, 19, 37, 38, 39, 67, 76, 81, 84]。それによると、避難拒否には対象地域の被災経験、情報の内容、家族の状況、家などへの執着、などの要因が複雑に関連すると考えられる。このような要因を緊急時に詳細に検討することは避難担当者にかかなりの負担を強いるものであり、避難担当者は避難拒否理由の同定

表11 主な災害における避難命令に従った人の割合

国名	年	災害名	被災地域	災害	避難者率(%)
日本	1977	有珠山噴火	北海道虻田町	噴火	約85
	1980	倉庫火災	愛知県大府市	化学火災	32.0
	1982	浦河沖地震	北海道浦河町	津波	3.8
	1982	長崎市水害	長崎県長崎市	洪水	7.2
	1983	日本海中部地震	秋田県	津波	5.8
	1984	長野県西部地震	長野県王滝村	地滑り	18.8
U.S.A	1979	スリーマイル島原発事故	ペンシルバニア州	放射能汚染	50~60

や的確な対応が行えないのが現状である。

## 1. 2 本研究の目的

前節で述べたような避難の現状を踏まえて、筆者はこれまで閉所空間における避難行動のモデル化手法ならびに計算機による広域避難誘導支援手法に関する基礎的な研究を行ってきた。本論文はそれらをまとめたものであり、以下の2点について提案を行うものである。

- ① 閉所空間における避難行動を計算機でシミュレートするための避難行動のモデル化手法に情報処理的アプローチを適用する方法を提案する。これにより避難行動に対する理解を深めるための手段を提供するとともに、避難行動に関する知識の体系的な蓄積を促すための枠組を提供する。
- ② 広域避難誘導支援手法として、知識システムという枠組の下で、避難拒否者の拒否理由を知識ベースに基づいて推定する方法を提案する。これにより広域避難の円滑な実施を支援するとともに、広域避難拒否理由に関する知識の蓄積を促すための枠組を提供する。

## 1. 3 論文の構成

本論文は、序論である本章を含めて8章から構成されている。第2章は本研究で提案する手法の技術的背景に関する章、第3章は本研究で利用する心理学や社会学などの分野で蓄積されてきた知識を整理した章、第4章から第6章までは閉所空間における避難行動を計算機でシミュレートするための避難行動モデル化手法に関する章、第7章は広域避難誘導支援手法に関する章である。以下各章ごとにその概要を述べる。

第2章では、閉所空間における避難行動のモデル化手法および広域避難誘導支援手法について、従来の手法の問題点を整理している [9, 50, 51]。その後、本研究で提案する情報処理的アプローチによる避難行動モデル化手法および知識ベースに基づく広域避難拒否理由推定手法の特徴を明らかにしている。

第3章では、避難行動を総体的問題解決行動としてとらえる本論文の立場を明らかにし、その立場の下で心理学や社会学などの分野で蓄積されてきた避難行動に関する知識を整理している。これらの知識は本論文の基礎となるものである。すなわち、閉

所空間における避難行動モデルにおいては、避難者の避難行動方略に関する知識を構成する。また広域避難誘導支援手法においては、広域避難拒否理由を推定するための知識を構成する。

第4章では、閉所空間において避難者が単独で避難する場合の避難行動を、情報処理的アプローチによりモデル化するための手法を提案している[51, 52]。総体的問題解決行動としての避難行動モデルの基本的な枠組を提案するとともに、その枠組の下で、第3章で整理した知識を有効に利用する方法について提案している。また、提案した避難行動モデルを用いて、避難行動に関する詳細な報告の出ている避難事例を再現することにより、モデルの妥当性を検討するとともに、避難行動モデル化手法としての情報処理的アプローチの有効性を確認している。

第5章では、第4章のモデルを集合避難行動に適用している[53, 54]。避難者間の相互作用を、避難時に重要な役割を果たすリーダーシップに注目してモデル化している。リーダーシップの自然発生過程をモデル化し、集団がリーダーに従って避難する過程の分析を可能にしている。リーダーシップの分類枠組に、避難におけるリーダーシップの効果に関して多くの成果を生み出しているリーダーシップPM理論を採用した。シミュレーション時に、発生するリーダーシップのタイプを操作できるようにしたことにより、異なるリーダーシップが避難行動に及ぼす影響の分析を可能としている。最後に、避難事例の再現を通じて、本モデルの妥当性を検討している。

第6章では、避難行動に関する新たな知見を得るとともに、心理学などの研究支援ツールとしての本モデルの有効性を検討するために、第5章で提案した集合避難行動モデルによる計算機シミュレーションを行っている[55]。仮想的な避難場面における集合避難行動をシミュレートすることにより、リーダーの発生した集団と発生しなかった集団の避難行動の比較や、異なるリーダーシップタイプが避難行動に及ぼす影響を分析している。また、これらの結果を被験者を用いた実験結果と比較し、本モデルの問題点や今後の避難行動研究への示唆などについて考察している。

第7章では、広域避難における避難拒否者の避難拒否理由を地域単位で推定する手法を提案している[50]。本手法は、避難拒否理由に関する知識や地域特性などを知識ベースとし、避難時や通常時に得られる様々なデータに基づいて拒否理由を推定するものである。従来総合的に述べられることの少なかった避難拒否理由に関する心理学や社会学の知識を整理する枠組を提案するとともに、それらの知識を有効に使って推定を行う方法を提案している。また、拒否理由の判明している避難拒否事例の事後推定を通じて、本手法の有効性を検討している。

第8章は、本論文の結論部分であり、これまでの章で得られた結果をまとめるとともに、今後に残された課題について述べる。

## 第2章 基礎的考察

### 2. 1 緒言

本章では、閉所空間における避難行動のモデル化手法および広域避難誘導支援手法に関する従来の研究の問題点を整理した後、本論文で提案する手法の特徴について述べる。

### 2. 2 従来の研究

最初に、閉所空間における避難行動のモデル化手法および広域避難拒否理由推定に関する従来の研究を整理する。

#### 2. 2. 1 閉所空間避難行動特性に関する研究

避難行動の研究方法のうち計算機シミュレーションは、災害心理学だけでなく、建築学、システム工学、情報工学などの多くの分野で、様々な視点から研究されている。

計算機シミュレーションは一種の理論心理学と言える [7]。なぜならば、シミュレーションモデルは調査や実験で得られたデータを説明したり、予測したりするための理論の表現であり、諸仮説から成る構成物と考えられるからである。

避難行動シミュレーションモデルは、その使用目的によりモデル化の方法が異なるため、多様なモデルが存在する。従来のモデルの多くは、比較的大規模な建築空間の設計や評価に用いられていた。そこでは群集が全体としてどのように避難するかが主要な関心事であった。群集を分析単位とするため、個人の複雑な意思決定過程を詳細に扱う必要が少なかった。またこれまでは、心理学や社会学における避難時の意思決定過程に関する知識の蓄積が少なかった。そのため従来のモデルが採用したアプローチは、群集行動の物理的特性に注目し、外部から観察可能な行動を数量的にモデル化するというものであった。例えば、空間をネットワークで表現し、群集の動きをネットワーク内でのフローとして扱うネットワークモデル [11, 73]、群集の動きを粘性流体の流れとして表現する流体モデル [74]、避難者を粒子としてとらえる剛体粒子モデル [15] などがある。

このようなモデルは、数値処理を中心としていることから従来の計算機言語の記述

枠組に適しており、また結果を定量的に把握できるため、階段室や廊下などの設計に多くの成果を挙げてきた。しかし近年、避難誘導では個人の避難行動に注目する傾向にあり、人間の心理的な側面への細かな配慮を必要とするようになってきている。また重要視されてきているリーダーシップ教育においては、避難者の避難行動傾向の十分な把握が求められている。しかし、従来のシミュレーションモデルでは、もっともらしい結果が得られても、なぜ特定の行動が特定の状況で生じたのか、より適切な行動をとらせるにはどのような条件が必要か、などの掘り下げた分析を十分に行えない。さらに、心理学の分野でも、行動主義的傾向が後退して人間の内部情報処理過程に対する関心が高まり、内部情報処理過程に関する知識が蓄積されつつある。このような知識の多くは定性的に表現されているため、従来の数値演算を中心とするモデル化手法ではそれらの知識を十分に扱えない。このような傾向に対応するためには、定性的な知識の表現に適した方法による、避難行動の背後にある情報処理過程のモデル化が必要である。

## 2. 2. 2 広域避難拒否者の拒否理由の推定に関する研究

第1章で述べたように、現状では、被災地域の事後調査で初めて避難拒否理由が明確になることが多い。したがって避難担当者は、避難拒否者発生時点では、現場からの報告に基づいて、過去の避難拒否事例から得られた一般的な傾向を参考にしながら、避難拒否理由についてヒューリスティックな推定を行い、対応せざるを得ない。しかし、避難という一刻の猶予も許されない緊急事態において、広域にわたって発生する避難拒否者に対して、避難担当者が複雑な要因を検討することは困難である。

一方、人間がどのような条件の下で避難行動をとるかという視点に基づくデータは、調査や実験などから着実に蓄積されてきている。また1章で述べたように、近年避難拒否者の存在が注目されてきていることにより、主に事後調査などから、避難拒否理由に関するデータも蓄積されてきている。

したがって、このようなデータを利用して、避難拒否者発生時に様々な要因を計算機によって即時に検討する推定システムを構築することは可能であり、かつ有用であると思われる。しかし、これまで避難拒否理由を計算機システムにより推定するという考えがなかったため、この種の計算機システムは現在のところない。

## 2. 3 本研究で採用するアプローチ



以下では、本研究で採用するアプローチの特徴について述べる。

### 2. 3. 1 情報处理的アプローチ

人間の情報処理過程に関するモデルを計算機上に表現しシミュレーションを行う研究方法を情報处理的アプローチと呼び[13]、そのようなモデルを情報処理モデルと呼ぶ。情報处理的アプローチは、1960年前後の、心理学における行動主義への批判、計算機科学の発展、言語学における新たな知見などを背景に、1970年後半ごろから急速に進展してきた。情報処理モデルは A. Newell と H. A. Simon の L T [57]に始まる。L T は三段論法に基づく数学の定理証明システムであるが、その成功は情報处理的アプローチの可能性を示唆するものであった。それ以来、人間の様々な行動を理解するための手段として、あるいは個々の研究で獲得された断片的な心理学的知識を整理する手段として、様々な行動局面に関する様々な情報処理モデルが提案されてきた。例えば、政治イデオロギーのモデル P O L I T I C S [10]、学習過程のモデル A C T \* [6]、ルート探索モデル S P A M [36]などがある。

このような情報处理的アプローチは、避難者の内的情報処理過程の理解を促進するとともに、従来の避難行動に関する知識を整理するための手段を提供するという本研究の枠組としては適切なものであると考える。以下では、情報处理的アプローチを採用する場合の指針を得るため、情報处理的アプローチの特徴と留意点について、より詳細に検討する。

#### (1) 情報处理的アプローチの特徴

情報处理的アプローチの特徴は、知識の整理、問題の発掘、行動の予測という点にある [7]。これらの点は従来の計算機シミュレーションにも当てはまるものであるが、人間の内部情報処理過程を扱う情報処理モデルの場合は、これらの特徴がより顕著であり、重要視される。

##### ① 知識の整理

調査や実験によって蓄積されてきた膨大なデータ、およびそれらから抽出された避難行動特性に関する仮説は、各事例でばらばらに、比較的あいまいな表現で記述されている。これらの知識を整理し、体系化を図ってゆくことは重要であるが、困難な課題と言える。そこで計算機シミュレーションは大きな助けとなる。なぜならば、計算機シミュレーションは、関連するすべての知識が明確かつ無矛盾でないと、非論理的な結果を出してしまうからである。計算機上で実際の動くモデルを実現す

るためには、知識の十分な吟味と、それらに欠けている点を徹底的に分析しなければならない。情報处理的アプローチによれば、災害心理学などの成果を論理的に無矛盾な形で整理することができる。

## ②問題の発掘

論理的に無矛盾なモデルを構築するためには、従来の知見だけでは不十分な場合がある。あるいは相互に矛盾する知見がある可能性もある。情報処理モデルを実際にシミュレートすることで、モデルの不十分点を明確にすることができる。従来の知見にはどのような知識が不足しているか、どのような点がシミュレーション困難なのか、その理由はなぜか、などの様々な問題が明らかにされる。このような問題はフィールドにフィードバックされ、今後の調査や実験に指針を与えてくれる。

## ③行動の予測

ある前提条件の下で、妥当な情報処理モデルが構築されると、そのモデルにより、環境条件の変化、個人の保有知識の差異などが避難行動に与える影響について予測することができる。応用面ではこの点が重要な意義を持つ。

## (2) 情報处理的アプローチの留意点

情報处理的アプローチにはいくつかの留意点がある[7]。

第1に、極端な個別主義に陥らないように注意する必要がある。個々の調査事例や実験ごとに、まったく別のモデルを構築するのではなく、基本的かつ一般的な理論を追求する必要がある。本研究との関連で言えば、避難事例からのボトムアップ的なモデリングを行うのではなく、哲学的人間観からのトップダウン的なモデリングを行う必要がある。個々の避難事例を再現するようなモデルを構築することは、さほど困難なことではないからである。

第2に、モデルの妥当性を十分に検討する必要がある。論理的には十分に整合性を持つモデルでも、実際の行動を説明できなければ有用なモデルとは言えない。モデルを構築すれば、必ず実際の行動事例を再現できるかどうかを検討する必要がある。ただし、災害というものの突発性や極限性のため、信頼性の高い調査データを得られにくい。また、実験による実証も限界がある。しかし、調査や実験へのフィードバックを積み重ねることで、次第に両者の信頼性を高めてゆくことが可能であると考えられる。

## 2. 3. 2 知識システム

人間が持つ問題解決のための知識を積極的に利用することにより計算機に高度な問題解決を行わせることは、知識工学の課題である。知識工学のなかでも、とくに専門

家のヒューリスティックス（経験に基づく発見的な問題解決方略）を利用するエキスパートシステムの研究は盛んで、具体的なシステムとしてD E N D R A L [34]、M Y C I N [69]などがある。しかし、専門家のヒューリスティックスを利用できない領域で、専門書やマニュアルなどから知識を抽出することができる領域では、システム設計者が専門知識を整理することで十分に利用可能なシステムを構築できる。最近、何らかの方法で対象領域に関する専門的な知識を獲得し、それを利用するシステムとして、知識システムという考え方が提案されている[18, 26]。エキスパートシステムは知識システムの一種類と見なすことができる。第1章で述べたように、広域避難拒否理由の推定においては、専門家のヒューリスティックスを利用することは困難であるが、災害心理学などで得られた知識が利用できるため、知識システムの枠組を利用できると考えられる。

以下では、知識システムという枠組を使用する場合の指針を得るため、知識システムの特徴と問題点を整理する[18, 26]。

#### (1) 知識システムの特徴

一般的に知識システムは、

- ①対象領域に関する知識ベース
- ②推論エンジン
- ③人間との間でデータの交換を行うインターフェイス
- ④説明機能

から構成される。知識ベースは対象領域に関する知識を形式的に表現して記憶するものである。知識ベースは、対象に関する事実的知識などの他に、対象領域の専門家からインタビューなどの手法によって抽出したヒューリスティックスやシステム構築者自身が整理した知識から構成される。推論エンジンは、一般的なメカニズムに基づいて、知識ベース内の知識を用いて推論を行う。推論結果はインターフェイスを通じてユーザに提示される。説明機能は推論の根拠をユーザに説明する。

知識システムは、数値処理を中心とする従来のシステム技術では対応できないような、記号処理を中心とする問題領域を対象とする。心理学的知識の多くは定性的に表現されるため、知識システムの枠組は適していると言える。また、このような知識は現在では十分に整理されていないため、知識システムの構築を通じて知識の整理・統合が促進されるという利点もある。

## (2) 知識システムの留意点

知識システムに関する留意点には次のようなものがある[13, 26]。

- ①対象となる問題領域が記号処理を中心とする問題であること。
- ②対象となる問題領域が人間が解決できる問題であること。
- ③対象領域に関する知識を獲得できること。
- ④需要が多いこと。
- ⑤保守が容易であること。

このうち、広域避難拒否理由推定システムの場合には、①と④は満足しているが、②③⑤については注意が必要である。②については、避難担当者レベルでは、個人の避難者の拒否理由までは推定できない。しかし、特定の地域で多数の避難拒否者が発生した場合には、それらの拒否者に共通する拒否理由を推定することは可能と思われる。③については、専門家のヒューリスティックスを利用できない。しかし、災害心理学などの分野での知識の蓄積が進んできており、まったく知識が獲得できないわけではない。また知識の獲得に関連して、緊急事態において推論のための基礎データとなる災害の進展状況、被災地域の状況、避難拒否者の状況などに関する信頼できるデータをどのように入手するかという問題もある。⑤については、地理や住民特性に関するデータを頻繁に変更できる必要がある。このようなデータはユーザがもっとも熟知しているため、ユーザ自身が変更できるようなシステムであることが望ましい。

## 2. 4 本研究の特徴

これまで閉所空間避難行動と広域避難行動に関する従来の研究を整理し、その問題点について述べた。また、本研究で採用しようとするアプローチの特徴や問題点についても整理した。以下では、これらのことを踏まえた上で、前節で整理した問題点をどのように解決したかという点から、本研究の特徴の概略を述べる。詳細な点については、第4章以下で述べる。

### 2. 4. 1 情報処理的アプローチによる閉所空間避難行動分析

これまで、避難行動シミュレーションモデルに内部情報処理を考慮したと主張する研究はいくつかある[例えば文献22, 73]。しかしそれらは、

- ① 基本的には環境に対して受動的に反応する存在として避難者をとらえており、情報処理的アプローチが乗り越えるべき行動主義の枠組内にある；
- ② 個人の避難空間に関する知識や個人間の相互作用のモデル化が十分ではない；
- ③ 使用する計算機言語が内部情報処理過程の記述には適さない計算機言語（例えば FORTRAN など）で記述されている；

などの点で情報処理モデルとは言えない。その意味で、本論文が情報処理的アプローチによる最初の避難行動モデルと言える。

本論文で提案するモデルは以下のような特徴を持つ。

- ① 対象は、ビルなどの小規模閉所空間における平面的避難行動である。
- ② 従来は受動的な存在としてとらえられることの多かった避難者を、主体的な意思決定に基づいて必要な情報を積極的に探索する存在としてとらえ、このような考え方の下でモデル化を行った。
- ③ 人間一般に共通すると思われる知識と個人に固有であると思われる知識を分離して考えた。このことにより、様々な個人のモデルを容易に実現できた。
- ④ 個人の行動のモデル化だけでなく、リーダーシップ発生過程などの個人間の相互作用のモデル化も行った。
- ⑤ 個人の知識のうち、認知・行動方略に関する知識をルール型の表現形式で表現し、避難空間や空間内の事物に関する知識をフレーム型の表現形式で表現した。また、計算機上にモデルを実現するための計算機言語として、このような定性的な知識の表現や処理に適した Prolog を使用した [63, 64]。
- ⑥ モデルの妥当性を検証するため、実際の避難事例の再現を試みた。従来のシミュレーションモデルの多くはこのような避難事例の再現によるモデルの妥当性の検証を行っていない。
- ⑦ さらに模擬的避難場面におけるシミュレーションを行い、従来の心理学における研究成果との比較・考察を行った。これは本手法が、心理学などにおける有効な研究支援ツールとして今後の調査や実験に指針を与えうるものであることを示すものである。

## 2. 4. 2 広域避難拒否理由の推定

知識システムという枠組を用いて広域避難拒否理由の推定を試みるのは、本研究が最初である。したがって、心理学的知識の整理・利用の方法、推論のためのデータの入手方法、推論結果の提示方法など、前節で整理した問題点はすべて未解決であった。本論文で提案する広域避難拒否理由推定システムは、それらの問題に対して、次のように対応した。

- ① 避難拒否理由に関する心理学や社会学の知識を整理するために、避難者の意思決定過程に関するモデルを枠組として提案した。また、この枠組の下で、従来の心理学的知識などを実際に整理した。
- ② 推論の基礎データとして用いる地理・住民特性・災害特性などに関する事実に知識を収集方法により分類し、推論時にそれらの知識を利用するとき、収集方法によるデータの信頼性の違いを考慮した。
- ③ 個々の避難拒否者の拒否理由を推定するのではなく、特定の広さの地域を対象とし、対象地域の避難拒否者に共通して存在すると考えられる要因のみを扱った。
- ④ 保守を容易にするような知識表現形式を採用した。

## 2. 5 結言

本章では、閉所空間における避難行動分析手法と広域避難における避難拒否者の拒否理由推定手法に関する従来の研究の問題点を整理し、本論文で提案する手法の特徴について述べた。

閉所空間における避難行動分析手法として、これまで数値処理を中心とするシミュレーションモデルが多数提案されてきた。しかし、個人の内部情報処理過程を考慮する必要性が高まってきたことから、それらのモデルでは十分な対応ができなくなってきた。そこで、本論文では、情報処理的アプローチによる避難行動シミュレーションを提案する。

広域避難における避難拒否者の存在は、これまで問題にされながらも、計算機によって拒否理由を推定するという考え方がこれまでなかった。そこで、本論文では、地域を単位として避難拒否理由を推定する知識システムを提案する。

## 第3章 避難行動特性

### 3.1 緒言

避難行動は、人間が脅威あるいは脅威の予期に直面したときにとる一連の対応行動である。避難行動の具体的な内容は、災害因、避難者の性向、避難者が置かれた環境などにより多様である。しかし、多数の避難事例を整理すると、避難事例に共通する避難行動特性の存在することがわかる。本章では、生体が生理的にも、情報处理的にも、危機的状況からの脱出という目的に方向づけられた行動としての避難行動の特性を明らかにする。その基礎となるのは、従来より心理学や社会学などの分野で蓄積されてきた知識である。また結果として明らかにされる特性は、第4章以後の情報処理モデルや知識ベースの基礎となる。

初めに、現在参考にしうる知識の範囲を明確にするために、避難行動に関する現在の研究動向を概観する。全体としては避難時の情報の役割に注目したものが多い。しかし感情心理学における恐怖に関する研究のように、間接的に避難行動を扱う領域を含めると、避難行動関係の研究分野は広範囲であり、研究分野により注目の対象が異なる。主要な研究分野における近年の動向は以下の通りである。

#### (1) 災害心理学

災害心理学は日本における災害研究の中心をなす研究分野で、1980年代になってから社会心理学から独立した [2]。実験室実験およびフィールド調査を主な研究方法とする。主要なテーマは、閉所空間および広域における、避難行動に至るまでの意思決定過程の分析や避難行動パタンの分類などである [41]。

#### (2) 社会心理学

社会心理学は集団や群集の様々な特性について研究する分野であり、その具体的対象のひとつとして避難集団がとりあげられている。主要テーマには、災害情報の伝達経路、流言、マスメディアの役割、援助行動、集団と暴力の関係、などがある [例えば文献17]。

#### (3) 組織心理学および組織論

組織心理学・組織論は組織の動態、組織間関係、組織への動員過程について研究する分野であり、その具体的対象のひとつとして消防や警察などの救助組織がとりあげ

られている。主要テーマには、避難におけるリーダーシップの効果、非常時における組織の特徴分析、組織構成員の役割遂行過程の分析、などがある〔例えば文献71〕。

#### （４）感情心理学

感情心理学においては、恐怖や不安に関する研究が活発に行われている。避難行動に関する研究としては、避難行動における恐怖の役割に関する研究〔33, 77〕がある。

#### （５）社会学

アメリカ合衆国における災害研究は社会学を中心とする。社会学においては、災害への社会の対応形態を扱った研究が多い。例えば、前災害期における地域の対応と被災後の対応の関係、地域の災害復旧過程、災害が社会に与える長期的影響、組織としての援助行動などのテーマがある〔例えば文献5〕。

#### （６）建築学および都市計画

建築学および都市計画における避難行動研究は、災害心理学と類似のテーマを扱っている。しかし、災害心理学が建築空間とは独立した一般的避難行動を考える傾向にあるのに対し、建築学や都市計画では特定の建築空間における避難行動の発現形態に関心を持つという傾向にある。主要な研究方法はフィールド調査や計算機シミュレーションである。主要なテーマには、群集挙動の解析や避難行動パタンの分類などがある〔例えば文献27, 83〕。

#### （７）システム工学および情報工学

システム工学および情報工学は複雑なシステムの最適設計を目的とするものである。その内避難行動に関する研究テーマには、計算機シミュレーションによる群集挙動解析や最適避難計画の立案、災害情報データベースの構築などがある〔例えば文献14〕。

以上のような研究により、避難者が避難時に重要視する情報の種類や出現頻度の高い行動パターンなどについてはある程度明らかにされてきている。しかし、避難者の内部における詳細な情報処理過程や恐怖などの感情の役割については不明な点が多く、行動の正確な予測を行えるまでには至っていない。

以下では、まず本論文で採用する避難者像を明確にする。避難者をどのような存在としてとらえるかは議論の分れるところであり、様々な立場がある。そこで本論文が避難者をどのような存在として考えるかを明確にすることは、第4章以下で避難行動モデルの基本的枠組を構築するうえで必要不可欠と考える。本論文の避難者像を明らかにしたのち、上記研究分野における避難行動に関する知識をそのような避難者像のもとに整理できることを示すことにより、避難者像の妥当性を示す。最初に閉所空間



避難および広域避難行動に共通して見られる一般的な避難行動特性に関する知識を整理する。次に、閉所空間における避難行動特性について、とくに本論文の対象である火災時避難行動に関する知識を整理する。最後に、広域における避難行動特性について、本論文の対象である避難拒否に関する知識を整理する。

### 3. 2 避難者像

従来から広く認識されてきた避難者像は、「恐怖におびえパニックに陥る避難者」というものであった[82]。これは、一般的に緊急事態に遭遇した人間は理性を失い、パニックに陥って、反社会的 anti-social な行動をとるものだという考え方である。この意味でのパニックは「ヒステリックな信念に基づいた集合的な逃走行動」[72]と定義される。集合行動が非合理的な側面を持つとする考え方は、古くは LeBon[65]の群集論に見られる。LeBon は、群集が社会の秩序を脅かすものだという危機感を持ち、いかなる個人でも群集に参加すれば群集独自の集合精神に影響され、退行的な行動をとるようになると考えた。現在でもこのような避難者像はマスコミを中心に根強く残っている。例えば、神奈川県平塚市で1981年に起きた地震警戒宣言誤報事件では、マスコミは多数の住民が警報を信じパニックに陥ったと報道した。しかし事後調査によると、実際に警報を信じた人の割合は10%であり、何らかの対応行動の実行率は5%前後であった[17]。対応行動の中には、「火の始末」や「家具の固定」などの合理的行動が多数含まれている。このように、一部住民の対応を誇張して報道し、冷静で合理的な対応をもパニックと呼ぶ場合が多い。

パニックが生起する条件は次の4つだと考えられている[63]。

- ① 差し迫った危機が存在するという認知。
- ② 脱出可能性の存在。
- ③ 脱出路に制限があり、失敗の可能性があること。
- ④ 避難者間に正常なコミュニケーション行動が欠如していること。

これらの条件の1つでも満足されないとパニックは生起しない。実際にはこのような4つの条件がすべて満足されることは少いことから、パニックが見られることは非常に稀だと言われる。様々な避難事例の研究に基づいて Quarantelli[66]は、避難行動は反社会的というより、むしろ自己中心的な「非社会的 non-social」行動であると

主張している。そこでは避難行動は、運動爆発的な行動ではなく、計画的行動であるとする。緊急事態に特有の意思決定過程が存在し、人間として学習され、内面化された行動が発現する。例えば、避難経路は、有効と思われるものから順次試みられるのであり、無計画にすべての出口が試みられるわけではない。

しかし避難行動は完全に合理的な行動ではない。恐怖などの感情や緊張などの影響は無視できない。避難後に自己の避難経路を説明できない場合や、腰が抜けて避難できなかった事例は多数報告されている [2, 20]。避難行動を理解するためには、恐怖や緊張の下での意思決定過程を解明する必要がある。

認知科学では、合理的意思決定者 [58] として人間を扱うことが多く、感情を考慮した情報処理モデルに関する研究は筆者の知る範囲ではほとんどない。しかし感情に関する研究の必要性は認められていた [59]。現在のところ、避難行動における感情と情報処理の関係のとりえ方には2つの方向がある。感情を情報処理に対する阻害要因であるとする立場と、感情に積極的な意味を持たせる立場である。以下でこれらの立場を代表する考え方を整理する。

池田 [20] は前者の立場に立ち、恐怖を情報処理の対象であると考え、恐怖を処理しなければならないことが様々な避難行動特性の原因であると考え。そして、日常と避難時における意思決定過程の質的連続性を主張する。池田によると、人間は常に、情動の鎮静化などの内的対応と具体的行動などの外的対応の双方に情報処理資源を配分しなければならない。情報処理資源の配分比率は、注意が内的対応に向けられるか外的対応に向けられるかにより決定される。したがって、注意が恐怖の鎮静化という内的対応に向きやすい緊急事態においては、外的対応のために使用されるべき分配量は、日常に比べて制限される。その結果、十分な外的対応ができなくなる。このように池田は、恐怖を外的対応の阻害要因として位置づけ、このような立場のもとに避難者の情報処理モデルの枠組を提案している。

一方、戸田 [77] は感情心理学の立場から、恐怖を避難行動への動因として位置づける。戸田は、アージurge理論の中で感情を、適応のために生物が獲得してきた目標指向的なシステムとして肯定的にとらえる。そして、特定の事態に対する基本的な対応パターンをアージと呼ぶ。恐怖もそのようなアージの一種である。情報処理システムは、比較的最近に獲得された、アージのサブシステムとして位置づけられる。特定の認知が生じると、アージは生理的変化を生起させることにより、特定の情報処理活動を活性化し、目標の達成を図る。情報処理システムの指定する行動がアージの行動傾向と矛盾する場合には、アージの行動傾向が優先される。例えば、情報処理による判

断が恐怖状況からの逃走を指示しても、恐怖アージのために動けない場合がある。このような一見不適切な反応が生起するのは、アージが近年の人間をとりまく環境の変化に追従できていないことによると考える。恐怖アージに対抗するには、現在の恐怖アージを打ち消して他の恐怖（例えば、避難しないことへの恐怖）を喚起するような認知を情報処理で生成するなどの方法があるとする。

以上のような2つの立場のうち、池田のモデルは、恐怖を考慮した情報処理モデルの構築を試みている点で評価される。しかし、次のような問題点がある。

第1に、恐怖が避難行動の直接の動因とはならないとする点である。池田はその論拠を Leventhal[33]の恐怖コミュニケーション研究に求めている。Leventhalの研究は、「恐怖を低減したい」という動機が回避行動を生起させるとする Miller[20]の仮説を検証するためのもので、虫歯に対する恐怖を喚起することにより子供に歯磨きを習慣づける実験を中心とする。一連の研究の結果、恐怖と歯磨き習慣は関係がないとされ、Millerの仮説は棄却された。このことから Leventhalは、「危険を回避したい」という動機が回避行動を生起させること、およびこの動機は合理的な意思決定の結果であると考えた。池田はこの考えを踏襲していると言える。しかし池田の立場にはいくつかの問題点がある。それらは以下のようにまとめることができる。

- ①一連の恐怖コミュニケーション実験は避難場面の緊急度を再現しているとは言えない。
- ②Leventhalの研究はMillerの仮説を棄却しただけで、危険を回避したいという動機が恐怖により生起するとする感情心理学の立場[21]までを否定していない。
- ③災害研究の成果から、適切なレベルの恐怖や不安は対応行動を生起させ、弱い恐怖は対応行動に結びつかず、強すぎる恐怖は神経症的過敏反応を生起させることがわかっている[46]。

これらの点から池田の考えは支持できない。

第2の問題点として、恐怖の直接的な影響を量的なものに制限することには疑問がある。例えば、火災時のベランダからの飛び降りなどの極端な行動は、日常的な意思決定の延長線上では理解できない。さらにベランダの例からは、知覚も影響を受けている可能性が示唆される[2]。これらのことは、恐怖が避難行動に対して体系的な影響を及ぼしている可能性を示唆する。

戸田のアージ理論は、恐怖の動機づけとしての機能を積極的に認め、恐怖の量的影

響だけでなく、質的影響をも十分に考慮している。池田に比べて戸田の考えの方が、緊急事態における行動の特徴をうまく説明していると言える。しかし戸田のアージ理論には問題点もある。それらは、感情が具体的に情報処理に及ぼす影響についての考察が十分になされていないこと、実証的研究がなされていないこと、恐怖と情報処理の相互制御メカニズムを明らかにしていないこと、などである。

本稿では以上のような議論を踏まえて、避難行動を以下のように考える。

- ① 避難行動は緊急事態からの脱出という目的に対する合目的的問題解決行動である。
- ② 恐怖は緊急事態の認知により喚起される。
- ③ 恐怖は避難行動の動因として機能し、特有の情報処理を喚起する。
- ④ 情報処理から見れば、情報処理は恐怖により制御されていると言える。
- ⑤ 情報処理により恐怖を制御することはある程度可能である。

生体が生理的にも、情報処理的にも、ひとつの目的に方向づけられた状態を「総体的」と呼ぶならば、避難行動は総体的問題解決過程であると言える。

恐怖と情報処理の相互制御メカニズムにより、このような総体的問題解決過程はいくつかのレベルを持つ。すなわち、恐怖が情報処理を完全に制御するレベル（恐怖優位レベル）から情報処理が恐怖をある程度制御するレベル（情報処理優位レベル）である。例えば、避難の初期段階において、避難誘導者としての自覚などによって恐怖に対抗することに成功した場合などは、情報処理優位のレベルと言える。採用しうる対応行動がない場合などには、恐怖優位となる。恐怖優位レベルでは無意識的な対応が中心となる。避難事例において自己の避難過程を避難後に説明できない場合はこれに相当する。

情報処理優位から恐怖優位への移行は、状況の不確実性のため極めて容易に行われると考えられる。しかし、恐怖優位から情報処理優位への移行も不可能ではなく、そのための方法がいくつか提案されている。例えば、恐怖反応を示さない他者（例えばリーダー）を見ることにより代理的に低減する方法、恐怖刺激とは両立しない反応を優位にする（逃げないと死んでしまうという認知を生起させる）抗条件づけ法、などがある[21]。恐怖優位から情報処理優位への移行が可能であることは、適切なリーダーシップや避難誘導の重要性を示唆する。

### 3. 3 一般的な避難行動特性

本節では、総体的問題解決行動としての避難行動の具体的な特性を明らかにする。とくに、緊急事態からの脱出という目的の下で、情報探索行動および入手した情報に基づく意思決定過程がどのように組織化されているか、および動因としての恐怖が避難行動にどのように影響するかに注目する。

### 3. 3. 1 情報探索行動

総体的問題解決行動をとるためには、状況が特定の問題状況であると確認される必要がある。しかし日常的には生命にかかわる緊急事態の生起は稀であるので、緊急事態の認知の困難さが予想される。

災害心理学などから、人間は緊急事態であると認知することを嫌うことが明らかにされている。とくに直接的に危険を知覚できずに、危険が迫っているという情報だけを受信した場合には、事態を楽観視する傾向にある。このような傾向を「認知の日常化へのバイアス」[17, 20]と呼ぶ。これは避難者が、緊急事態にあると考えたくないこと、緊急事態に遭遇した経験がないか少ないために緊急事態を自己の問題として把握できないこと、および人間は一度仮説を設定すると自己の仮説を支持する情報を選択的に探索・受容する傾向があることによる。このような日常化へのバイアスのため、危険に関する情報がいまいな場合は、事態が軽視され、即時の避難行動に結びつきにくい。一方、情報の信用度が高い場合には、人は他のメディアなどを用いた情報確認行動をとる。緊急事態を確認して初めて対応行動をとる。

情報の信用度を高める要因がいくつかある[17]。第1に、権威ある機関からの情報は比較的信用されやすい。例えば、政府広報機関、市町村役場、大学、消防署、警察、気象庁、マスコミなどから発令された場合などは信用されやすい。第2に、過去に被災経験がある避難者は、類似した災害に関する情報を信用しやすい。これは被災経験により災害の発生可能性を認知しており、その災害に対する構えができていることによる。しかし、この構えは経験した災害に限定される傾向にある。第3に、複数のメディアが同一内容の情報を提供する場合に、情報は信用されやすい。例えばテレビ、ラジオ、公的機関からの有線放送、友人などから同一内容の情報を入手すれば、情報の確実度は高いと認知され、信用されやすい。

### 3. 3. 2 逃避行動

緊急事態における対応行動には、危険の対象に対する働きかけ（消火作業など）お

よび危険からの逃避行動がある。これらはともに被害を最小限に抑えるという目的を持つ合目的的行動である。

逃避行動が生起するには次の4条件がすべてそろふ必要がある[66]。

- ①具体的な危険の対象が認知されていること。危険の対象が明らかでない場合には、情報探索行動や避難準備行動は生起するが、逃避行動は生起しない。危険の対象は災害の種類により異なる。例えば、火災の場合、煙や火が危険の対象とされる。
- ②危険の制御不可能性を認知すること。適切な対応行動として逃避しか考えられない場合に、逃避行動が生起する。火災の場合、最初は恐怖を抑制して消火作業をしても、消火できないと判断すると逃避行動が生起する。
- ③逃避行動が効果的であると判断されること。危険が圧倒的で、逃避行動が効果的でないと判断される場合には、逃避行動は生起しない。
- ④逃避が可能であると認知されること。逃避するための時間的余裕がない場合には逃避行動は生起しない。

実際の逃避行動は、

危険の対象の認知 → 危険の制御不可能性の認知 → 恐怖の喚起 →  
逃避行動への動機づけ → 逃避行動の効果の評価 → 逃避可能性の評価 →  
逃避行動の実行

というフローを形成すると考えられる[76]。

逃避行動は、避難者が危険から避難できたと判断した時点で終了する[65]。

### 3. 3. 3 避難経路の選択基準

対応行動として逃避行動を採用する場合には、避難経路を決定する必要がある。避難行動は合目的的な行動であることから、避難経路は試行錯誤的に決定されるのではなく、既知の経路の中から特定の基準に従って決定されることが考えられる。一般的には、目的地に至る経路の中から熟知度の高い順番に選択される[2]。初めて訪れた場所での避難経路は、現在位置に至るまでに使用した経路が最初に選択される。文献2には、避難途中に非常出口があっても気付かず、離れた既知の出口から避難した例が紹介されている。しかし恐怖度が高い場合には避難初期段階で他者依存度が高まる傾向にあ

るため、避難者自身で避難経路を決定せず他者に追従する傾向がある[28]。

第3者から見て危険な方向へ逃避していると見える場合でも、避難者はその方向を安全な方向と認知していることが多い[66]。例えば、火災時に避難者が煙の来る方向に出口あるいは安全な場所があると知っている場合には、避難者は煙の来る方向へ逃げる場合がしばしばある。

避難経路を変更する基準は明らかでない。実験によると、避難の初期段階では比較的柔軟に避難経路を変更するが、時間経過とともに避難者は一定の避難経路に固執する傾向にある[28]。避難経路の変更に関与する要因として、避難経路を変更しないことのデメリット、避難経路を変更するための時間的余裕、他の避難経路に関する知識の有無などが考えられる。

避難経路決定方略に関する研究は、初期避難経路決定方略に関するものに集中しており、避難途中に避難経路を変更する場合の方略に関する研究はほとんどない。しかし避難事例からある程度整理することは可能である。比較的冷静に避難経路を変更する場合の選択肢は以下の5つに整理できる。

- ① 視認できる範囲の経路で、まだ試みていないものを選択する。
- ② 他の避難者に追従する。
- ③ 現在の経路に固執する。
- ④ 危険から離れる方向に逃げる。
- ⑤ 避難をあきらめ、外部からの救助を待つ。

これらの選択肢からの選択基準は状況や個人差に影響されると考えられるが、明らかではない。現在の経路に固執するという対応は、他に避難経路を知らない場合、避難経路を変更する時間的余裕がない場合、障害を克服しさえすれば避難可能性が高いと認知されている場合などに選択される。障害を克服すればよいと判断した場合には、十分な準備をしてから再度試みる場合が多い。例えば、閉所空間火災では、身近にトイレなどの水の補給可能な場所にいる避難者は、タオルなどを水で濡らし口を防御してから避難する[2]。救助を待つ場合には、生命を維持できるような空間に退避することが多い[2]。例えば、閉所空間火災では、窓や気密性の高い部屋が退避場所とされる。広域火災の場合には、公園や耐火構造の建築物が退避場所とされる。

### 3. 3. 4 避難者間の相互作用

通常の避難場面には複数の避難者が含まれる。それらの避難者は、まったく独立に避難する場合もあるが、多くの場合は相互に影響し合う。避難行動における他者は3種類の機能を持つ。第1は判断の手掛りとしての他者、第2は避難という目的を達成するための援助者としての他者、第3は障害物としての他者である[19]。

まず、他者は状況を判断するために利用される。例えば災害発生を判断する場合には、情報を探索して、状況を確認する。その際、他者が消火器を持って特定の方向に走っていくのを見たり、出口の方向に多数の人が移動するのを見て火災の発生を確認した事例は多い。

援助者としての他者は、リーダーシップ研究として研究されている。避難行動は避難者が個人的に対応するには困難な状況であるため、リーダーへの依存度は非常に大きい。リーダーシップPM理論[40]の提唱者である三隅は、PM理論を避難行動に適用し、閉所空間からの避難におけるリーダーシップの効果を一連の実験により明らかにしている。それによると、リーダーシップは以下のような効果を持つ[29~31, 43, 44, 68]。

- ①リーダーが出現しない場合は、避難行動は個人的なものになる。
- ②リーダーのいた方が、混雑度が低く、避難成功確率が高い。
- ③リーダーシップは問題解決方法指示機能（P機能）および情緒安定機能（M機能）から成るが、それらの一方のみを発揮するリーダーより、両方の機能を発揮するリーダーの方が、避難集団の混雑度が低く、避難成功率が高い。
- ④避難初期に特定個人からP機能とM機能を受け取った避難者は、その個人を避難終了時まで安定してリーダーと見なす傾向にある。
- ⑤避難初期にリーダーからM機能を受け取った避難者は、避難を通じて比較的冷静さを失わない。避難途中のM機能の効果は小さい。

以上のようなリーダー側からの働きかけによるリーダーシップの他に、フォロワー側が一方的にリーダーを選択し、追従する場合もある。しかしリーダーに選択された個人の対応決定方略に関する研究はない。

他者が障害物として機能するのは、避難者の目標が確定している場合に多い。このような他者認識は、とくに出口付近では混雑の原因となる。避難時には避難者間にコミュニケーションが欠如している場合が多いため、一度混雑すると混雑の解消は困難である。狭い出口に群集が殺到し、半円形の待ち行列が発生する現象をアーチア



クションと呼ぶ [2]。アーチアクションは、群集後部が出口付近の状況がわからないままに前方に圧力をかけるために発生する。アーチアクションが発生すると、出口の通過が困難になる。アーチアクション内の群集密度は 10人/m<sup>2</sup>以上になる。またアーチアクションとは別に、避難者が異方向に移動する場合にも混雑が発生する。

### 3. 3. 5 恐怖耐性

恐怖耐性は、情報処理優位から恐怖優位への移行の困難さを示す尺度である。恐怖耐性が低い程、容易に恐怖優位へ移行する。恐怖耐性は避難者により異なる [21]。実験では、個人のストレス耐性を測定する尺度として M A S (Manifest Anxiety Scale) 得点が用いられることが多い [21]。これは慢性的不安反応に対する個人の合致度を質問紙により測定するもので、様々な M A S が考案されている。一般に、M A S 得点が高い個人ほど恐怖耐性が低い。M A S の有効性は、恐怖耐性を定量的に把握できる可能性を示唆する。

### 3. 3. 6 恐怖度の変化

避難を通じて恐怖度は変化する。避難途中における恐怖度の変化に影響する要因は、主に時間の切迫感である。緊急事態においては、各避難者は避難開始時に、いつまでに避難しなければならないかという避難限界時間を概略的に評価すると考えられる。避難行動の進展にともなう時間経過は、避難限界時間までの残り時間が漸次減少してゆく過程として体験される [20]。

時間評価の基礎にある処理系には、体内時計による T系と刺激の非時間的情報（変化の数など）を処理する C系があると言われている [45]。T系の進行速度は一定であると考えられるので、切迫感には C系が関与しているものと考えられる。C系による時間の切迫感の判断は

状況の変化の認知 → 状況定位 → 残り時間の評価 → 切迫感

という図式でとらえられる [19]。状況の変化の認知には、煙濃度の変化、リーダーの出現、息苦しさの増大、などがある。状況定位は、状況の変化の認知に基づいた状況の危険度の評価と今後の状況の変化の予想を含む。残り時間の評価では、何らかの有効な対応が可能かどうかの評価される。有効な対応をとることが困難であると評価された場合には切迫感が生起し、恐怖度が高くなる。逆に、リーダーの出現、安全な出

口の発見、救助隊の到着などの避難を支援するような状況の変化により、恐怖度は低下する。状況定位および残り時間の評価には避難者の恐怖耐性が影響する。

### 3. 4 閉所空間避難行動特性

本節では、閉所空間における避難行動特性に関する知識を整理する。閉所空間避難行動は閉じこめられることへの恐怖に強く動機づけられた逃避行動であり、短時間の間に多様な情報探索行動や意思決定が行われるところに特徴がある。

#### 3. 4. 1 情報探索行動

高層ビルや地下街では、火災時に火元を直接見ることは稀であり、過半数の人が緊急放送あるいは他者からの情報により火災を知る[27]。煙、熱気、異常音などは単独では火災情報とはならず、火災を確認するための情報探索行動を誘発する [1, 24]。その後、周囲の人の対応を参考にして自己の対応を決定する傾向にある。避難事例では、過半数の避難者が他者追従行動をとっている [1, 27]。

しかし、高層ビルや地下街の在館者は各自の日常業務や買い物に注意を向けており、緊急放送に気付かない人が多い。例えば、地上9階、地下4階の複合用途ビル火災事例の場合、合計4回の緊急放送があったが、4回とも聞いた人は7%にすぎず、1回も聞かなかった人は10%に達する [1]。緊急放送を聞かなかった人は、聞いた人に促されて避難している。

#### 3. 4. 2 避難経路

高層ビルや地下街における主な垂直方向避難経路は最寄りの階段である [1, 27]。日常的に利用している移動経路を避難経路に選択するという一般的行動傾向からは、エレベータの使用が予想される。しかし、避難時にはエレベータを使用してはいけないという知識、および階段を使用するようとの指示により、最寄りの階段が使用されたと考えられる。

しかし避難者の1割近くはビル火災時にエレベータを使用している [1]。使用者は高層階に多い。避難にエレベータが使用される理由として、エレベータを使用してはいけないという知識が行動に直接結びつくものではないこと、高層階からの階段による避難は労力を要すること、階段を使用するよりも速く避難できると考えられていること、日常的に使用しないことから階段の位置を知らないこと、などがある。

避難の方向は、通常は1階が多い。最上階に近い階では、避難が遅れた場合などに屋上へ避難することがある。

水平方向の移動で特徴的な傾向は、空間を左廻り（反時計廻り）で移動することである[75]。すなわち、右廻りの避難経路と左廻りの避難経路がある場合には、左廻りの避難経路をとる避難者が多い。この理由には、右ききの場合には左足に比べて右足の方が長いこと、右足のけりの方が強いこと、などが考えられる。

### 3. 4. 3 日常的役割の影響

オフィスや店舗が入居しているビルや地下街では、従業員は日常的な役割に基づいた行動をとる。オフィスビル火災を対象とした調査によると、避難決定後の第1行動は避難者の性別や役職と大きな相関を持つ[27]。全体的に「持ち出し行動」が多く、性別に注目すると、男子社員に「情報の確認」、「誘導」、「報知」が多い一方で、女子社員に「指示待ち」、「追従」が多い。職務に注目すると、管理職に「情報の確認」、「誘導」、「報知」が顕著に見られる。デパートの場合にも、店員は客の安全を考えた行動を取り、客は「指示待ち」や「単独行動」を取る傾向にある[2]。

### 3. 4. 4 煙の影響

閉所空間避難には火災を原因とするものが多い。火災時の影響の多くは煙による。煙は歩行速度と特定場所での滞在時間に影響を与える。

実験によると、煙のない場合の平均歩行速度と群集密度の関係は図3. 1の通りであり [2]、次式で表される [75]。

$$v(\rho) = 1.1 \rho^{-0.7954} \quad (3.1)$$

$\rho$  : 群集密度 (人/m<sup>2</sup>)

$v$  : 速度 (m/s)

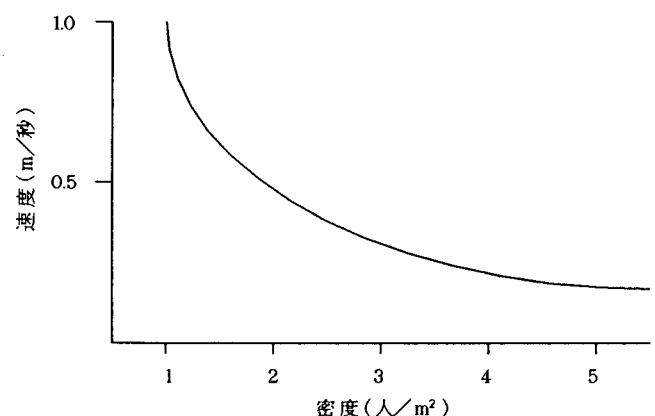


図3.1 集団密度と歩行速度

歩行速度への煙の影響は、煙濃度が減光係数で 0.5/mを越えると急激に現れ[23]、遅くなる（図3. 2）。煙中での動揺を

心拍数などにより測定したところ、煙濃度が減光係数で0.15/mあたりから動揺し始め、0.4/mでは大部分の人が動揺する。神[23]は、安全に避難できる限界煙濃度を、建物

内熟知者の場合は0.15/m、建物内非熟知者の場合は0.5/mとしている。その場合の見越し距離はそれぞれ13m、4mである。

滞在時間の場合も、減光係数で0.5/m程度が限界と考えられる。煙濃度が濃くなるに従って目やのどが痛くなる。実験では0.5/mを越えると実験室から逃げ出す被験者が過半数を占める[23]。

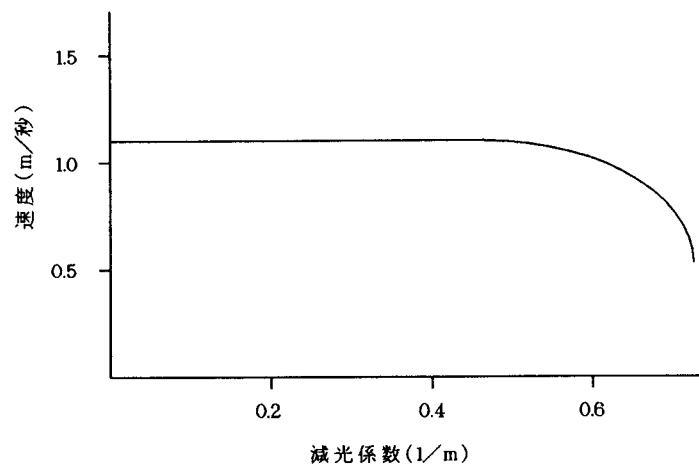


図3.2 減光係数と49人の歩行速度

### 3. 5 広域避難行動特性

本節では、広域における避難行動特性を整理する。広域避難行動は、閉所空間避難に比べて時定数の長い避難行動である。また、避難行動主体も、個人ではなく、家族あるいは地域という単位である。以下では、非常放送に接してから避難行動に至るまでの意思決定過程に注目して、知識の整理を行う。

#### 3. 5. 1 情報探索行動

広域災害発生の情報源は閉所空間災害の場合に比べて多様である[38]。これは、広域災害の種類が多様であること、対象地域が広域であるためマスメディアが関係すること、避難者の置かれた状況が多様であること、即時の避難だけでなく警戒を呼びかける情報も含まれることなどの理由による。

一般的な情報源には、有線放送、テレビ、ラジオ、電話、広報車、無線、人づて、新聞などがある。緊急を要する避難の場合には、有線放送、電話、広報車、人づてなどのメディアが使用される。テレビとラジオは広域性が高く、避難者に詳細な情報を伝達するには限界がある。またテレビは停電時には使用できない。

情報源は避難者のライフスタイルによっても異なる[17]。他の住民と緊密な関係を持つ避難者は、情報活動が活発で、電話や人づてなどのパーソナルメディアの利用度が高い。またこのような人は対応も迅速で、他者に対する情報伝達や救援活動も積極的に行う傾向にある。

情報活動の活発さは時間帯によって変化する。一般に、夜間は昼間に比べて情報活動は不活発となる[17]。これは、マスメディアの活動の不活発化、自然災害の場合には避難者自身の目による状況の確認の困難性、パーソナルメディアの利用困難性などの理由による。

実際に役立ったと評価される情報源は災害の種類により異なる。大火、水害、噴火、地震、放射能もれなどの広域に影響を及ぼす災害の場合には、テレビやラジオのニュースや中継放送などがもっとも役立つと評価される。地滑りや小規模な水害などの場合には、有線放送や広報車が評価される。

### 3. 5. 2 避難行動の妨害要因

広域避難の場合、閉所空間避難に比べて、

- ① 閉じこめられることへの恐怖が少ないこと
- ② 避難のための時間的余裕があること
- ③ 昼間の場合には外出中の家族の帰宅を待って避難する傾向にあること
- ④ 夜間の場合には暗さや寒さにより行動が不活発であること
- ⑤ 停電や電話の不通により情報行動が制限される場合があること
- ⑥ 雨や雪などの天候の影響を受けやすいこと

などの理由により、避難動因が低い[17]。例えば、10時間で1774棟の家屋を焼失した1976年の酒田大火では、警察や消防の避難命令にもかかわらず、避難者が避難を決心したときの火災前線までの距離は100m以下が過半数で、50m以下が30%を越す[2]。この火災は幅300mの市街地を直線的に延焼し、延焼速度は100m/時であった。

避難行動に影響を与える要因には、この他に以下のようなものがある[2, 17, 38]。

- ① 警報の正確さ、他の警報との内容の一貫性、具体的な脅威や対応方法の表現などの警報の特性は避難行動を促す。
- ② 内容的に一貫した警報を繰り返し受け取った場合には避難行動が生起しやすい。
- ③ 幼児のいる家庭では避難行動が生起しやすく、老人や病人のいる家庭では生起しにくい。
- ④ 近い過去に同様の災害を経験し、避難により被害を軽減できた経験を持つ地域では避難行動が生起しやすい。

- ⑤ 避難により家計の支持基盤を喪失する恐れのある場合には避難行動が生起しにくい。
- ⑥ 略奪や暴動を恐れる場合には避難行動が生起しにくい。
- ⑦ 先祖伝来の土地への執着がある場合には避難行動は生起しにくい。
- ⑧ 避難後の生活を嫌う場合には避難行動は生起しにくい。
- ⑨ 脅威が圧倒的で避難が有効でないと判断される場合には避難行動は生起しにくい。
- ⑩ 避難の意思があっても移動手段のない場合には避難行動は生起しない。

### 3. 5. 3 避難距離

指定された避難場所までの距離は避難行動に影響する。通常避難場所として、予め地区単位で公民館や学校が指定されている場合が多い。しかし遠方の避難場所を指定される場合には、避難行動が生起しにくい。アンケート調査[2]によると、5分以内の距離にある避難場所であれば避難すると回答した割合は80%を超える。また、10分以内にある避難場所までは直接避難するが、それ以上遠い場合には途中でしばらく様子を見るという回答者が過半数を超える。

### 3. 6 結言

本章では、総体的問題解決者として避難者をとらえ、その避難者像に基づいて従来の避難行動に関する知識を整理した。避難行動は、緊急事態からの脱出という目的の下に、恐怖により動機づけられた合目的的行動である。避難者は、あいまいな状況を確認するために主体的に情報を探索し、意思決定を行い、対応行動をとる。対応行動は、典型的には逃避行動として現れる。その際、リーダーシップが重要な役割を果す。

避難行動は、現在のところ十分に解明されているとは言えない。しかし避難に対する社会的な関心が増すとともに多方面で研究が行われるようになってきているため、避難行動モデルの構築に有用な知識は次第に蓄積されてきている。

## 第4章 閉所空間単独避難行動モデル

### 4. 1 緒言

前章では、総体的問題解決者としての避難者という視点から、人間の避難行動特性を整理した。避難行動は、緊急事態からの脱出という問題を、意識的で情報処理優位な対応過程と無意識的で恐怖優位の対応過程が協調することにより解決する過程である。このような個人の意識的、無意識的対応過程が相互作用して、結果的に協同現象としての集合避難行動を生起させる。

本章および次章では、情報处理的アプローチを適用して閉所空間における避難行動のモデル化を試み、そのようなモデルを用いた計算機シミュレーションシステム E S C A P E を提案する。E S C A P E は、単独避難行動モデルであるモデル I と、モデル I を基礎として、複数の避難者の相互作用過程を考慮した集合避難行動モデルであるモデル II からなる。まず本章では、モデル I [9, 50, 51, 52] について説明する。ここで言う単独避難行動とは、他者との積極的な相互作用（例えばリーダーシップ関係）を伴わない避難行動をさす。したがって、消極的な相互作用、例えば障害物としての他者の認知は、モデル I で扱う。また、E S C A P E は避難空間として、ビルや地下街などの特定階を対象空間とし、複数階にまたがる避難行動は対象としない。

モデル I は、概略的には次のような動作をする。特定の火災状況を設定すると、避難空間や火災に関する自己の知識、および火災状況の進展や他の避難者に関する情報に基づいて、避難経路を決定し、移動する。このような避難行動は、避難空間からの脱出に成功するか、あるいは煙中滞在時間が許容時間を越えることにより避難に失敗するまで続けられる。

モデル I に要求される機能は以下のようなものである。

- ①前章で整理した避難行動特性を整合的に取り込めること。
- ②情報処理優位な過程と恐怖優位の過程をともに扱えること。
- ③避難における生理的な影響を扱えること。
- ④行動の個人差を扱えること。
- ⑤将来避難行動に関する知識がより充実した場合に対応できること。

このような要求に対して、モデルⅠでは以下のような対応をとった。

- ①個人の情報処理過程を階層的にとらえることにより、避難行動に関する従来の知識を情報処理方略として統合的に取り込めるようにした。また、このことにより知識の更新を容易にした。
- ②避難者の避難空間に関する知識を考慮することにより、避難経路の決定に関する情報処理過程を説明できるようにした。
- ③煙中に滞在できる限界時間や水・新鮮な空気の効果などの生理的指標を考慮することにより、生理的变化による避難行動の変化を扱えるようにした。
- ④避難者に共通して存在すると考えられる知識と個人に特徴的と考えられる知識を区別して扱うことにより、個人差を扱えるようにした。
- ⑤恐怖を恐怖度として数量化し、情報処理と関係づけることにより、情報処理優位の対応過程と恐怖優位の対応過程の相互制御過程を扱えるようにした。

上記の対応のうち、空間や時間の扱いについての基本的な考え方を述べておく。空間の認知は、全体としての一貫性を要求されない、複数の部分空間に関する知識に基づいて行われると考えられる[32]。このような空間知識は、避難経路に関する知識としての性格も持つ。モデルⅠでは空間をブロック（区画）の集合として扱うことにより、このような空間知識の特性を実現した。また時間を、第3章で触れた心理的時間と、避難者の認知からは独立した物理的時間からとらえる[35]。モデルⅠでは、心理的時間を認知や行動の変化により間接的に表現できると考え、物理的時間のみを陽に扱った。物理的時間を、あらかじめ設定した特定条件下での個々の認知・行動の所要時間の和により表現した。

モデルⅠにおける避難環境に関するデータの扱いは次の通りである。シミュレーション対象以外の避難者を、特定時刻における特定ブロックの群集密度として表現した。また、火災の進展状況を、特定時刻における特定ブロックの煙濃度として表現した。これにより避難環境に関するデータを、空間をメッシュに分割して扱うような既存の火災状況シミュレータと連結して利用することが可能となった。

以下では、最初に、単独避難行動をモデル化する。次に、単独避難行動モデルを実際に計算機上に実現するためのアーキテクチャについて説明する。最後に、本モデルによる避難事例の再現を通じて、本モデルの内的整合性および妥当性を検証する。



## 4. 2 単独避難行動モデル

本節では、単独避難行動モデルを構築する。以下では最初に、本モデルで用いる諸概念について説明し、その後それらの概念を用いて避難行動をモデル化する。

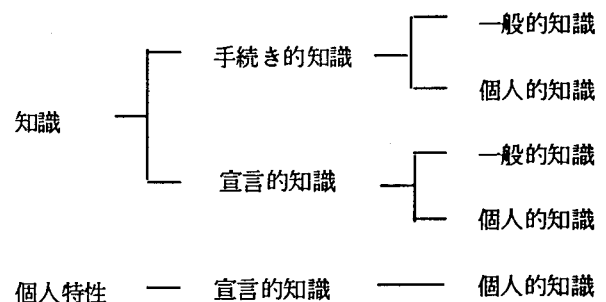
### 4. 2. 1 モデルにおける諸概念

モデルの記述の便宜のために、いくつかの概念を導入した。これらはモデルⅠおよびモデルⅡに共通する。

避難者の知識を、その保持形態の点から、情報処理過程を構成する know-how 型の「手続き的知識」と、手続き的知識が参照する know-what 型の「宣言的知識」に分類した [8]。手続き的知識は、特定の状況への対応方略を保持する。宣言的知識は、様々な対象の属性に関する知識である。宣言的知識には、避難空間に関する空間知識、空間内の事物に関する対象知識、避難者の現在状態に関する知識などがある。このような分類とは別に、知識を、同一文化圏の人間に共通すると考えられる「一般的知識」と、個人に特有の「個人的知識」に分類した。第3章で整理した知識を一般的知識とし、現時点では一般化できないような、個々の状況に対する具体的な対応方略に関する知識を個人的知識とした。以上2種類の分類基準により、知識を次の4種類に分類した：一般的手続き的知識、一般的宣言的知識、個人的手続き的知識、個人的宣言的知識（図4. 1）。

避難者の生物的な諸特性を個人特性として考慮した。個人特性には、煙中で滞在できる時間（耐久時間）、各種情報処理に要する時間、歩行速度などがある。個人特性は避難行動の制御パラメータとして作用する。

以上の諸概念を用いると、避難行動を次のように説明できる。様々な避難状況における意思決定は、宣言的知識を参考にして手続き的知識が行う。意思決定の主要なフローは一般的知識が決定するが、具体的な対応は個人的知識が決定する。意思決定の結果は個人特性に制御された対応行動として実現される。



### 4. 2. 2 避難行動の構造

一連の避難行動過程は、様々な対応が

図4.1 知識と個人特性の分類

有機的に関連して形成される。しかし避難行動モデルを構築するためには、最初に避難行動過程の枠組を作り、個々の対応をその中に位置づけるというアプローチが有効であると考えられる。

一般に、問題解決過程は階層構造を持つ[55]。モデル I では避難行動を3つの階層からとらえる。最上層から順に、①避難行動フェイズ、②基本サイクル、③単位処理、と呼ぶ。避難行動フェイズは、避難行動をいくつかの特徴的な時期に分類したものである。各フェイズを7つの基本ステップのサイクルから成るものとした。各基本ステップは状況への個別的対応方略である単位処理から構成される。

#### 4. 2. 3 避難行動フェイズ

避難過程をいくつかの特徴的な時期に分類することは、紙上で知識を整理するためのものは従来の研究でも行われている。しかし、避難行動に関する情報処理的アプローチの研究例が少ないことから、避難行動フェイズを明確に意識してその枠組の下に避難行動に関する知識を整理するというアプローチをとった研究は、著者の知る限りない。

モデル I では避難行動を5つの時期に分け、それぞれをフェイズと呼ぶ。それらは

- ①緊急事態発生を最初に認知し対応する「初期フェイズ」
- ②対応行動として逃避行動を採用した場合の「逃避フェイズ」
- ③救助を待つ場合の「待機フェイズ」
- ④避難が成功した場合の「脱出フェイズ」
- ⑤避難が失敗した場合の「失敗フェイズ」

である。

初期フェイズは避難を決定するフェイズで、緊急事態の確認および避難目標の決定などを行う。

逃避フェイズは避難口への接近途中の過程で、避難経路の決定あるいは変更、煙などの障害物への対応、などを行う。

待機フェイズは何らかの理由で逃避行動を諦めた場合の過程で、窓への固執や特定の部屋への閉じこもりなどを行う。

脱出フェイズでは、避難空間からの脱出のための最終的な行動をとる。脱出フェイズは、モデル I では単に避難口から脱出するだけであるが、避難者間の相互作用を扱

うモデルⅡでは重要となる。

失敗フェイズは避難者が生理的限界を迎えた場合に生起する。

実際の避難は、必ずしもこれらのフェイズのすべてを含むとは限らない。逃避フェイズが成功した場合には待機フェイズはない。また緊急事態の認知が遅れた場合には初期フェイズと失敗フェイズだけから成る避難がありうる。

避難行動フェイズのレベルで見た避難行動は図4.2のようなフローを構成する。

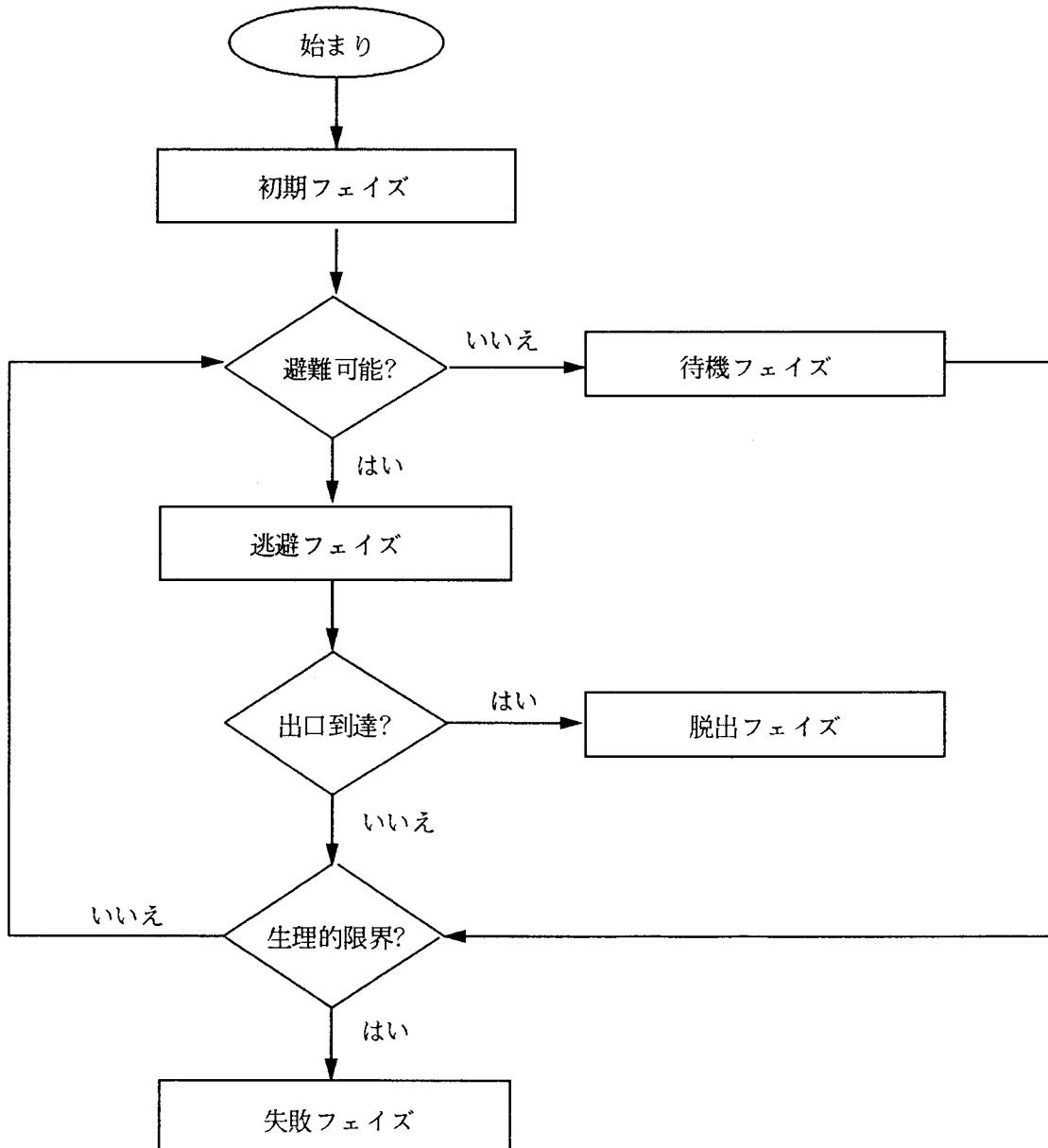


図4.2 避難行動フェイズフロー

#### 4. 2. 4 基本ステップ

避難行動フェイズは、より基本的な対応パターンである基本ステップから成る。

従来の研究では、人間の問題解決行動を、①情報入手、②状況定義、③対応の決定、④対応の実行、という過程から成るサイクルとしてとらえることが多い[17, 56, 82]。避難行動に関する数少ない情報処理モデルであるB F I R E S - IIでは、避難者の避難行動を①知覚、②解釈、③対応、というステップのサイクルでとらえている[73]。

本モデルでは、従来の成果を踏まえつつ、状況の確認という行為に注目して、7つの基本ステップからなる基本サイクルを設定した。それらは

- ① 情報入手ステップ
- ② 状況定義ステップ
- ③ 対応決定ステップ
- ④ 確認情報入手ステップ
- ⑤ 状況再定義ステップ
- ⑥ 対応再決定ステップ
- ⑦ 対応実行ステップ

である。以下で、これらの基本ステップの特徴について説明する。

第1に、状況の確認過程として、確認情報入手ステップから対応再決定ステップまでのステップを考慮した。これらのステップは、対応決定ステップにおける決定を状況の再度の確認により修正する段階である。情報処理優位の場合にのみ生起し、恐怖優位の場合には欠落する。これらのステップを設けた理由は、情報処理優位の場合には、対応決定という重要な行為の直後に、避難者は本当にその対応でよいか、より生存確率の高い避難方法がないか、を再度検討すると考えたことによる。

第2に、本モデルは総体的問題解決者として避難者をとらえるため、情報入手ステップおよび確認情報入手ステップは受動的なものではなく、障害に関する情報を選択的に探索する能動的ステップである。例えば、避難経路上に障害物を発見した場合には、確認情報入手ステップで救助者に関する情報を探索する。

第3に、対応実行ステップでは、主に決定された目標までの移動が行われる。避難目標までの避難経路は、避難目標が決定された後、避難空間に関する知識に基づいて決定される。避難経路を一定距離移動した後、情報入手ステップに戻って避難経路上の障害物に関する情報を探索する。

基本ステップというレベルで見た避難行動は図4.3のようなフローを構成する。

#### 4.2.5 単位処理

単位処理は、手続き的知識および行動からなる。以下では、避難行動フェイズごとに単位処理を説明する。単位処理は、第3章で整理した知識を中心とし、いくつかの仮説で補完したものである。

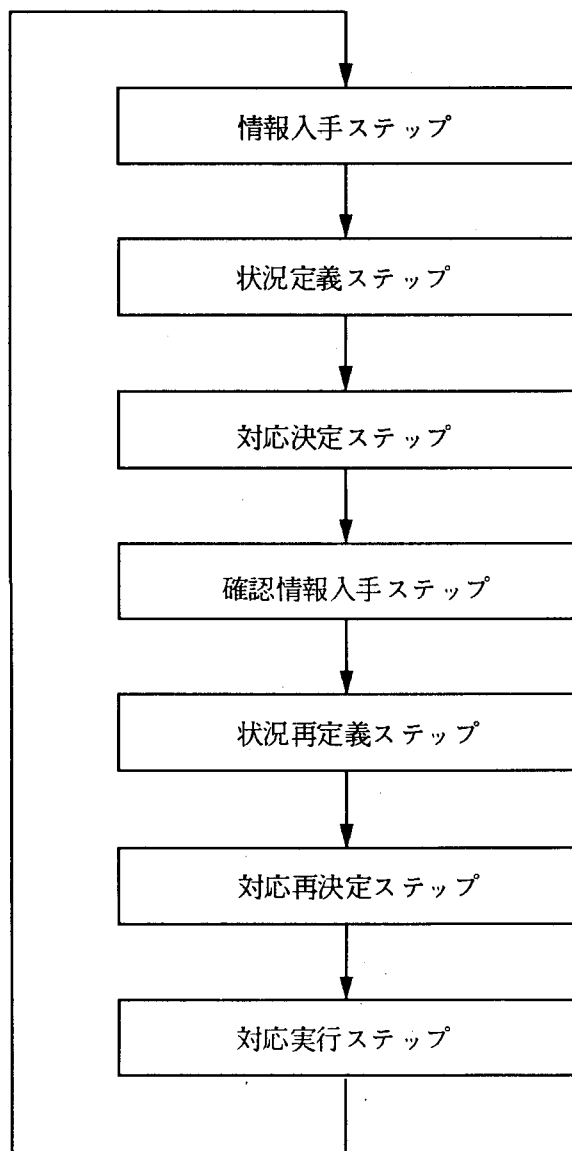


図4.3 基本サイクル

## (1) 初期フェイズ

初期フェイズでは、火災に関する情報を入手し、初期対応を決定し、実行する。

最初に情報入手ステップにおいて火災情報を探索する。避難者の位置から視認できる範囲の煙あるいは火、室内の他者の肉声、および放送などの情報を探索する。情報の一般的探索方法については4. 2. 6で説明する。

次に状況定義ステップにおいて、逃避すべきかどうかを判断する。第3章で述べたように、逃避行動が生起する条件には4つある。すなわち、①危険の認知、②危険の制御不可能性の認知、③逃避行動の効果の評価、④避難可能性の評価、である。モデルIでは、火災時には避難がもっとも効果的であることは自明であると仮定して、③逃避行動の効果の評価は行わない。したがって3種類の判断を行う。それらは、

①危険の認知

②危険の制御不可能性の認知

③避難可能性の評価

である。これらの判断をこの順序で実行する。①危険の認知では、認知の日常化へのバイアスを考慮するため、入手した情報を軽度の火災情報であると判断した場合には、緊急事態と判断せず、再度情報入手ステップを実行する。軽度の火災情報には、薄い煙、他者の火災報知、消火器を持つ人の出現、火災報知器による報知などがある。一方、即時に火災を確認できる情報（火災特定情報）には、濃い煙、火、放送による火災報知などがある。避難者は火災特定情報を入手して初めて火災を確認する。②危険の制御不可能性の認知では、濃い煙を認知した場合に、制御不可能であると判断する。制御不可能性の認知により恐怖度が増加する。放送による火災認知の場合には、②制御不可能性の判断を行わず、恐怖度も高くない。③避難可能性の評価では、濃い煙に周囲を囲まれていない場合に避難可能と判断する。避難不可能と判断した場合には、待機フェイズに移行する。

対応決定ステップでは、状況定義ステップでの判断および恐怖度に基づいた避難目標が決定される。避難目標の設定方法については4. 2. 7で説明する。

確認情報入手ステップでは、救助者を探索する。入手した情報を状況再定義ステップで救助者であると判断した場合には、対応決定ステップでの決定を変更して、救助者を避難目標とする。救助者を発見できない場合には対応決定ステップで決定した避難目標を採用する。最後に避難目標までの避難経路を決定する。避難経路の決定方法

については 4. 2. 8 で説明する。

対応実行ステップにおける典型的な対応は、避難経路上の移動である。避難者は、一連のブロックで表現した避難経路を 1 ブロック移動後、逃避フェイズに移行する。移動速度については 4. 2. 10 で述べる。

初期フェイズにおける避難行動の基本的フローを図 4. 4 に示す。

### (2) 逃避フェイズ

逃避フェイズでは、建物外部への出口および救助者のいるブロックへ移動する。モデル I は避難空間として 1 フロアのみを扱うため、具体的な出口としては、階段室への入り口、非常出口、エレベータ、脱出シュートなどがある。

逃避フェイズの情報入手ステップでは、避難経路上の次のブロックあるいは現在いるブロックにおける障害物に関する情報を探索する。障害物には、濃い煙、火、群集などがある。

もし障害物が見つければ、対応決定ステップにおいて対応を決定する。この場合の対応の決定方法については 4. 2. 7 で述べるが、基本的には、できるだけ避難目標への接近を試みる。接近できない場合や息苦しい場合には、新鮮な空気の求められる場所や煙のない場所などを避難目標とする。対応決定後に確認情報入手ステップにおいて救助者を発見した場合には、避難目標を救助者に変更する。

避難経路上に障害物がない場合には、以後の対応決定ステップから対応再決定ステップまでを無視して、対応実行ステップを実行する。すなわち、避難経路上を 1 ブロックだけ移動する。これらのステップを無視する理由は、逃避という意思決定が採用された場合には、障害がないかぎり、逃避の実行が最優先されると考えたためである。1 ブロック移動後、再度情報入手ステップに移行する。

避難目標に到達した後、脱出フェイズに移行する。

逃避フェイズにおける避難行動の基本的フローを図 4. 5 に示す。

### (3) 待機フェイズ

待機フェイズでは、救助者が到着するまで新鮮な空気を確保することが最上位の目標となる。したがって待機フェイズでは、窓や隔離された部屋などが避難目標となる。

避難目標までの移動の方法は逃避フェイズに準じる。

避難目標に到達後、情報入手ステップにおいて救助者を探索する。救助者が見つければ、救助者を新しい避難目標とし、逃避フェイズに移行する。見つからない場合には、個人的知識により対応を決定する。

また、待機フェイズでは、避難目標到達後、新鮮な空気による煙に対する耐久時間

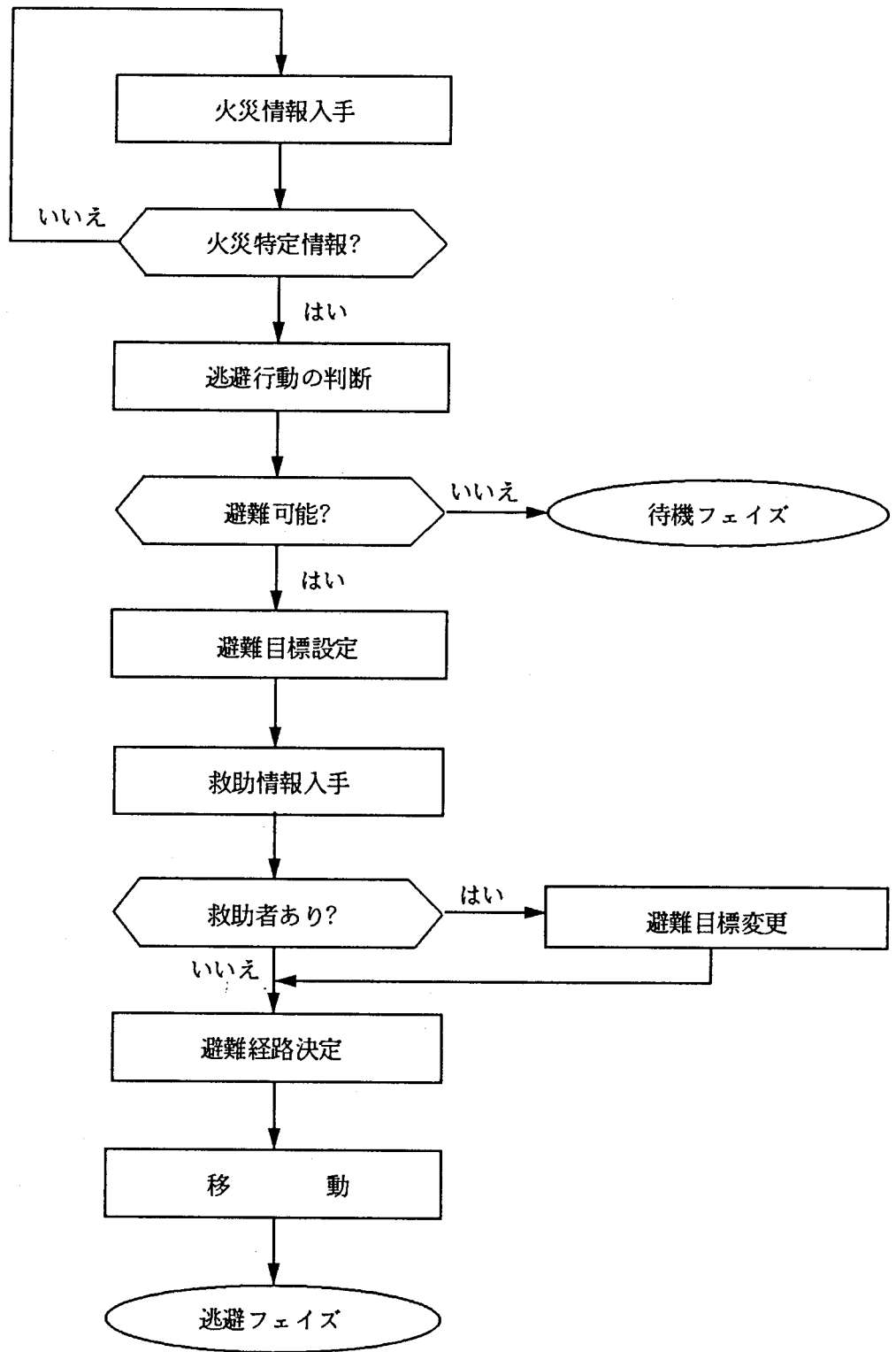


図4.4 初期フェイズのフロー



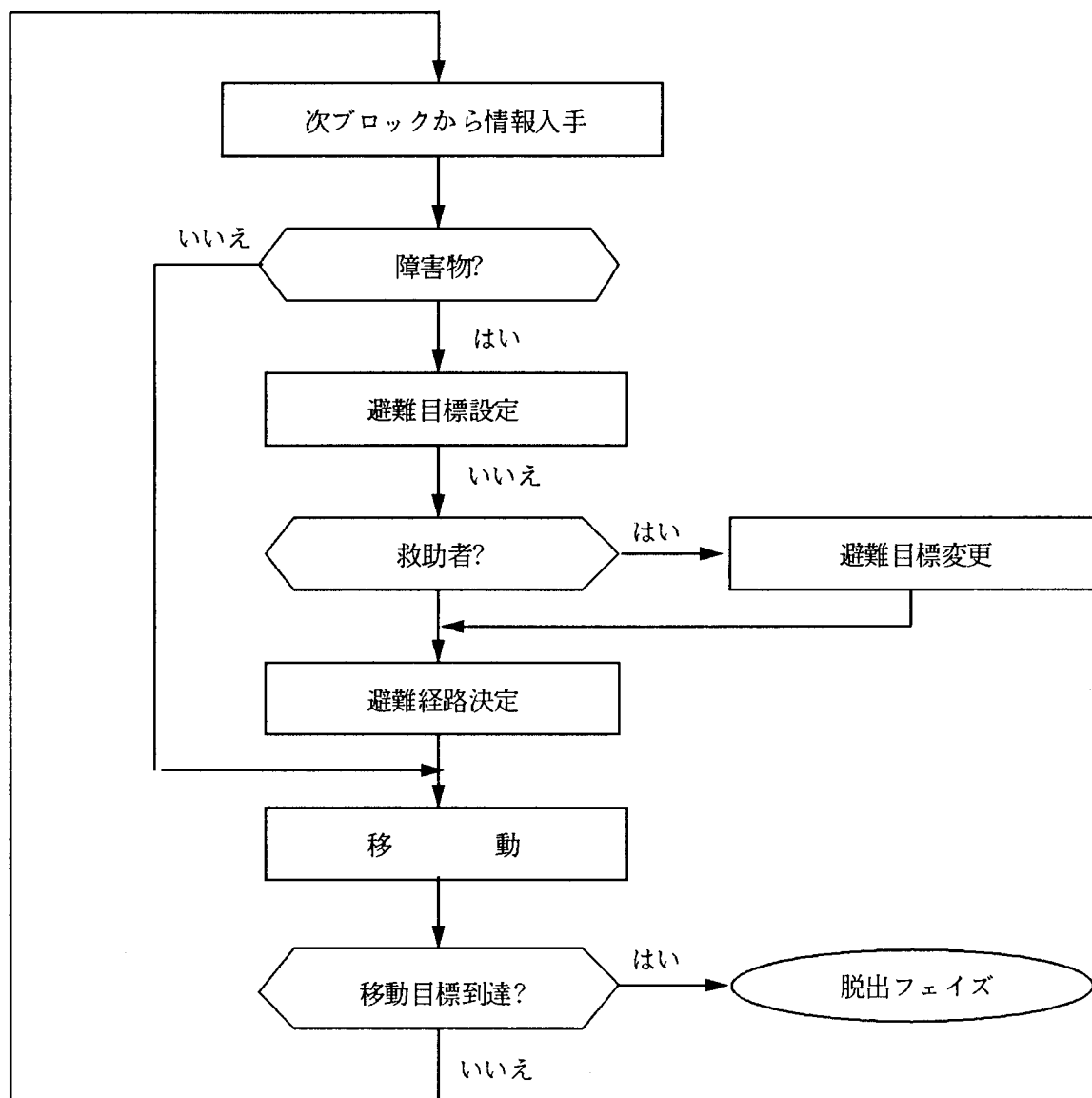


図4.5 逃避フェイズのフロー

の延長が行われる。耐久時間については4. 2. 10で述べる。

待機フェイズにおける避難行動の基本的フローを図4. 6に示す。

(4) 脱出フェイズ

脱出フェイズは、出口あるいは救助者のいるブロックに到達した時点で始まる。

脱出フェイズでは、情報入手ステップにおいて、現在いるブロックに障害物を探索する。もし障害物がなければ、そのまま避難空間から脱出し、避難を終了する。もし障害物があれば、対応決定ステップで対応を決定する。決定方法は逃避フェイズなどにおける障害物への対応方法に準じる。

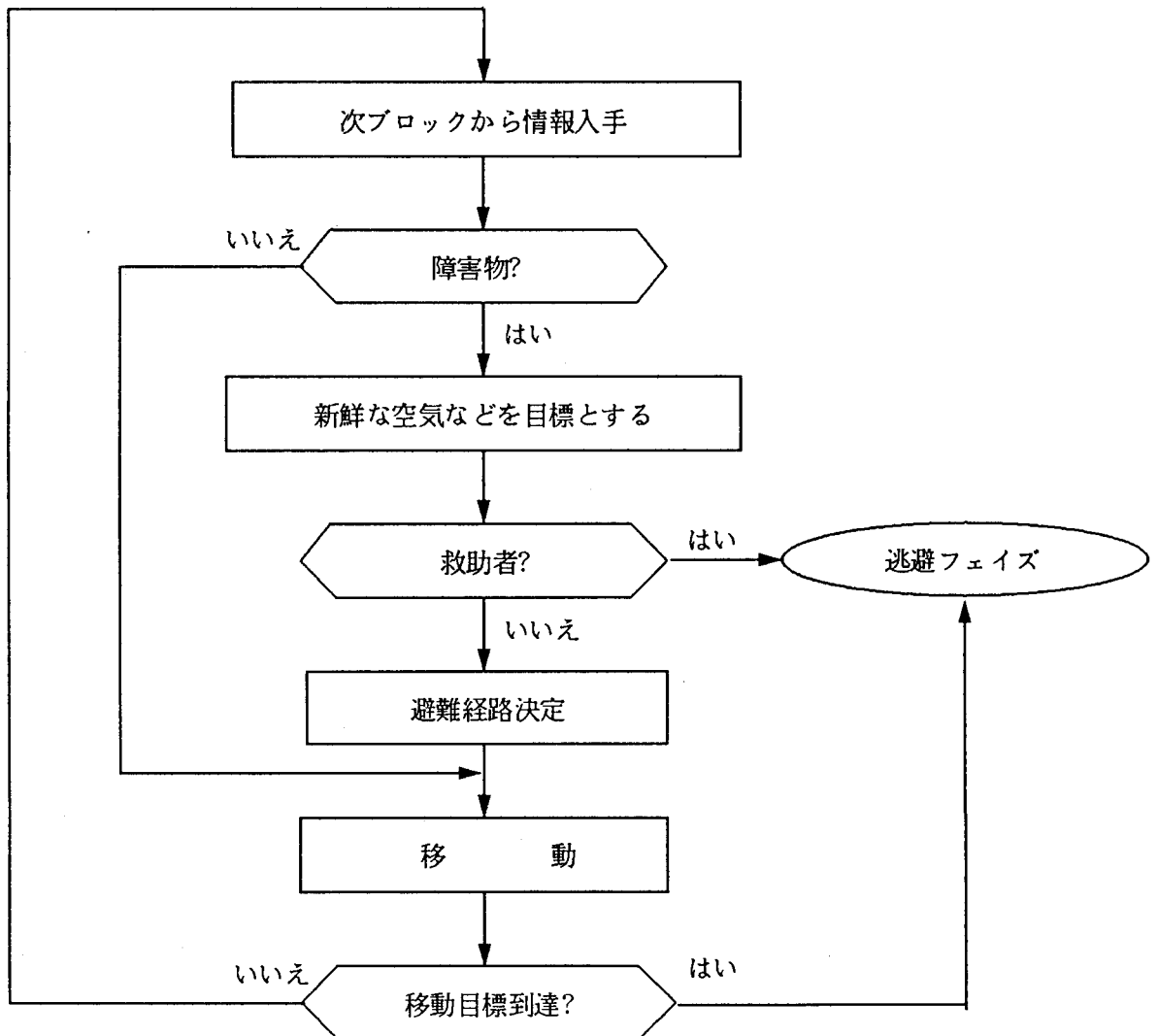


図4.6 待機フェイズのフロー

#### (5) 失敗フェイズ

耐久時間を越えて長時間煙中にいる場合に、失敗フェイズが生起する。

本モデルでは、避難者が特定濃度以上の煙中に入った時点から煙中滞在時間を記録する。煙中滞在時間が避難者の耐久時間を越える場合は、避難者はそれ以上煙中に滞在できないことを意味し、避難は失敗することになる。この時点でシミュレーションは終了する。煙中滞在時間が耐久時間に達する前に避難者が煙濃度が特定濃度以下のブロックへ移動すれば、煙中滞在時間を0に再設定する。避難の進展にともない異なる煙濃度の中に滞在している場合は、その時点の煙濃度に対する耐久時間で評価する。滞在時間の計算についての詳細は4. 2. 10を参照のこと。

#### 4. 2. 6 情報の探索

手続き的知識は探索すべき情報を決定し、外界の事物に関する宣言的知識に基づいて、入手した情報が求める情報かどうかを判断する。

外界の事物に関する知識は、構造化されて保持されていると考える[60]。このような知識を「対象知識」と呼ぶ。対象知識は、個々の事物に関する知識と、それら事物を機能的な共通性に基づいて統合した上位知識とから成る。前者を対象メンバー、後者を対象知識名と呼ぶ。例えば、非常出口や脱出シュートなどは対象メンバーで、これらは出口という対象知識名の下に統合されていると考える。対象メンバーは、認知心理学における基礎カテゴリー - basic category [12]に相当するレベルである。基礎カテゴリーは、人間がもっとも頻繁に使用し、もっとも情報量が多いレベルで、事物のもっとも自然な分類レベルである。

情報を探索するときには、探索すべき事物が対象知識名レベルで指定される。探索空間も同時に決定される。探索は、探索空間内にある事物を網羅的に調べ、指定された対象知識と照合することで行われる。もし、知覚した事物が指定された対象知識の対象メンバーであれば、その事物が求めていた情報である。

対象知識には、避難空間に固有の個人的対象知識（例えば避難空間内の出口に関する知識）と、一般的対象知識（例えば救助に関する知識）がある。

#### 4. 2. 7 避難目標の設定

避難目標には2種類ある。ひとつは、概略的な避難目標である「概念目標」で、もうひとつはより具体的な「移動目標」である。概念目標は移動目標の用途を表現したものと見え、移動目標は概念目標の具体例である。例えば、出口という概念目標の下

には、エレベータや階段という移動目標が考えられる。

避難目標の設定方法には2種類ある。避難者自身が個人的対象知識に基づいて設定する場合と避難者以外から避難目標が提示される場合である。

個人的対象知識に基づいて避難目標を設定する場合は、最初に概念目標を設定する。次に、設定された概念目標を対象知識名に持つ対象知識を参照して、対象メンバーの中から移動目標を選択する。すなわち、概念目標が対象知識名のレベルに相当し、移動目標が対象メンバーのレベルに相当する。

移動目標を次のような手順で設定する。特定の概念目標の下で初めて移動目標を設定する場合は、対象メンバーの中からもっとも熟知度の高いものを移動目標とする。同一熟知度のメンバーが複数ある場合は煙濃度のもっとも薄い場所にあるものを移動目標とする。煙濃度も同じであれば、もっとも近いものを移動目標とする。距離も同じであれば、最初に想起したものを移動目標とする。このような煙濃度と距離の優先順位は、本モデルで仮定したものである。一度他の概念目標に変更した後に再度特定の概念目標の下で移動目標を設定する場合（例えば、出口→救助→出口と変更した場合）は、初めて設定する場合に準じる。ただし、洗面所などで水を得た後の概念目標および移動目標は、洗面所を移動目標とする直前のものを再度設定する。

確認情報入手ステップで入手する情報は避難目標の候補になる。最初に救助者を探索する。救助者を発見すると、具体的な救助内容（例えばはしご車）を移動目標とする。救助者が見つからない場合には

- ①現在の移動目標および避難経路に固執する
- ②移動目標はそのまま避難経路を変更する
- ③概念目標はそのまま移動目標を変更する
- ④概念目標はそのまま周囲に未知の移動目標を探索する
- ⑤概念目標を変更する

という選択肢の中から選択する。これらの選択肢は仮定として設けたものである。いずれの選択肢を選択するかは、避難者の空間知識、対象知識、恐怖度、および状況定義の内容に基づいて、個人的手続き的知識が決定する。一般的には、恐怖度の高い避難者は現在の移動目標に固執する[28]。恐怖度の低い避難者は、避難経路を変更する。避難経路を変更できず、かつ移動目標を変更しうるだけの対象知識を持っている場合には移動目標を変更する。対象知識がない場合には③④⑤を試みる。③④⑤の間の優

先順位は避難者ごとに異なるものと仮定した。周囲に煙のない場所を探索する場合は、最初に隣接ブロックの煙濃度を探索し、なければ離れたブロックの煙濃度を探索する。障害物に遭遇しても、現在の概念目標が出口で、かつ現在の移動目標に対する熟知度が非常に高い場合には、現在の移動目標に固執すると仮定した。その場合、同一ブロック内に水を手入れできる場所（例えば洗面所）があれば、一旦そこに退避し、その後再度出口を移動目標とする。避難者が、特定濃度の煙に遭遇した場合にその時点の移動目標に固執するという個人的手続き的知識を持つ場合には、水の手入れ後、1ランク濃度の濃い煙に対しても移動目標への固執という対応をとるようになるものとした。表4.1は個人的手続き的知識の例である。

#### 4. 2. 8 避難経路の決定

避難経路を、避難空間に関する知識である「空間知識」に基づいて設定する。

空間知識は特定の空間に関する知識であり、個人の経験に左右される部分が多いため、一般的知識はなく、個人的知識しかない。

避難者は避難空間を複数のブロック群として認知するものと考えられる[32]。空間知識は、空間のブロック分割に関する知識および特定のブロック間の経路の集合である。避難者が避難空間をどの程度の大きさのブロックの集合として認知するかは、避難空間の構造や避難空間内にある事物の配置などに依存する。

表4.1 障害物に遭遇した場合の個人的手続き的知識例

条 件	手 続 き
周囲を煙に囲まれる	救助を探索する
他に出口を知らない 恐怖度が3 それ以外	出口に固執 非難経路を変更する
出口に固執中	同一ブロックに水を探す
他に新鮮な空気のある場所を知らない	現在の移動目標に固執
他に非難経路を知らない 障害物は濃度評価3の煙 それ以外	新鮮な空気を求める 移動目標を変更する

移動目標までの避難経路を決定する場合は、空間知識の中から、移動目標があるブロック（目標ブロック）までの経路を探す。経路は目標ブロックまでに通過するブロックのリストである。既知の避難経路がひとつの場合にはその避難経路を選択するが、複数ある場合には最短経路を選択する。

避難経路上の障害物のために避難経路を変更する場合には、最初に、現在いるブロックから目標ブロックまでの別の避難経路を空間知識の中から探す。そのような避難経路を知らない場合は、現在の避難経路上のひとつ手前のブロックからの避難経路を探す。それも知らなければさらにひとつ手前のブロックからの避難経路を探す。このようにして新しい避難経路を決定できれば、現在の避難経路上を、新しい避難経路との共通ブロックまで戻り、そこから新しい避難経路をたどる。共通ブロックに戻る途中で障害物がある場合は、逃避フェイズにおける障害物への対応方法に準じる。

#### 4. 2. 9 外界データ

個人特性について説明する前に、個人特性に影響する煙濃度および群集密度についての本モデルの扱いについて説明する。

##### (1) 煙濃度

煙濃度は火災の進展状況を表す重要な指標であり、避難行動に大きな影響を与える。本モデルでは、ブロック単位で煙濃度を扱う。ブロック内で煙濃度は均一であると仮定した。

煙濃度を、0から3までの4段階で評価し、煙濃度評価と呼ぶ。4段階評価を採用したのは、煙濃度と認知や行動の関係をモデル化した先行研究[22, 23]に基づく。煙濃度評価と減光係数の関係を表4. 2に示す。

初期フェイズにおける火災特定情報としての煙は、煙濃度評価2以上の煙である。また、基本的には煙濃度評価2以上の煙を障害物と判断する。

##### (2) 群集密度

障害物としての他者の影響を扱えるように、本モデルでは他者を群集密度という形で考慮した。

群集密度は、煙濃度と同じく、ブロック単位で扱う。評価は0から3までの4段階で行い、群集密度評価と呼ぶ。4段階評価を採用したのは、群集密度と歩行速度の関

表4.2 煙濃度評価と減光係数

煙濃度評価	減光係数 (Cs)
0	$0.0 \leq C_s < 0.1$
1	$0.1 \leq C_s < 0.5$
2	$0.5 \leq C_s < 1.0$
3	$1.0 \leq C_s$

係をモデル化した先行研究[22, 23]に基づく。群集密度評価と群集密度(単位は人/m<sup>2</sup>)の関係を表4.3に示す。基本的には群集密度評価2以上の群集を障害物と見なす。

表4.3 群集密度評価と群集密度(人/m)

群集密度評価	群集密度(Cd)
0	$0.0 \leq Cd < 2.0$
1	$2.0 \leq Cd < 4.0$
2	$4.0 \leq Cd < 8.0$
3	$8.0 \leq Cd$

#### 4.2.10 個人特性

##### (1) 恐怖度

第3章で整理したように、恐怖は避難行動の動因として作用する。恐怖によって発火する特定の認知や行動は、脅威源の除去あるいは脅威源からの逃走を目的とする行動を避難者にとらせるためのプログラムであると考えられる。

恐怖は緊急事態の認知により喚起される。一度喚起された恐怖も、避難途中において変化する。これは時間の切迫感による。切迫感の増減につれて恐怖度も増減する。

モデルIでは、避難者の恐怖度を数量化して扱う。避難行動研究では、避難途中の切迫感を直接調べるのが困難であるため、切迫感を扱うことはせず、恐怖度を心拍数などの指標によって数量化することが試みられている[23]。モデルIでは直接恐怖度を変化させる。基本的には、逃避行動を妨害された場合には、切迫感が生じると考えて恐怖度を高める。避難可能性を認知した場合には、切迫感が低下すると考えて恐怖度を低める。例えば、避難経路上で濃い煙に遭遇した場合には、恐怖度を高める。逆に、救助者の発見や出口への到達は恐怖度を低下させる。

恐怖度の数量化に関しては、標準的な尺度がない。モデルIでは便宜的に0から2までの3段階で変化するものとする。0は恐怖度が低い状態で、2は恐怖度がもっとも高い状態である。

##### (2) 情報処理時間

ひとつの意思決定に要する平均時間は約1秒と言われている[60]。そこでモデルIでは、情報入手、概念目標設定、移動目標設定、避難経路設定のそれぞれに要する時間を、基本的に1秒とした。この値を避難者により多少変化させることにより、避難者の個性を表現した。また、この値は避難状況の変化により変化する。モデルIでは煙濃度の影響を考慮した。例えば、煙中における意思決定は、恐怖および煙のために平常の意思決定よりも遅いと考えられる。この他、濃い煙の中に突入する場合などのためらいの時間を2秒と仮定した。

##### (3) 移動速度

ブロック間の移動速度は、煙密度および群集密度により変化する。従来の避難行動

シミュレーションでは、群集密度と移動速度の関係のみを扱うものが多いが、本モデルでは煙密度との関係も考慮した。

移動速度  $v$  を次式で表わす。

$$v(C, S) = v_0 \cdot (C + 1) \cdot f(S). \quad (4.1.1)$$

$$f(S) = 1 \quad \dots \quad S = 0, 1$$

$$f(S) = S \quad \dots \quad S = 2, 3. \quad (4.1.2)$$

$C$  : 群集密度評価       $S$  : 煙濃度評価

$v_0$  :  $S = C = 0$  の場合の避難者の移動速度.

この式は、第3章の(3.1)式を群集密度評価に合わせて修正したものを、煙濃度の影響[23]を考慮して補正したものである。ただしこの補正は実験などにより検証されたものではない。 $v_0$ の平均は第3章で述べたように1.1m/sである。モデルIでは $v_0$ の個人差を考慮している。ただし、恐怖度の影響については、関連する知見がないために、考慮していない。

モデルIでは時間を、初期設定された時刻からの経過時間として管理する。このため、移動速度を実際にはある距離をある速度で移動した場合に要した時間を計算するために使用する。ブロック間の移動時間を、ブロックの中心点間の距離を表したデータ(単位m)に基づいて計算する。ブロック内の移動時間を、移動目標間の距離に関するデータに基づいて計算する。

#### (4) 耐久時間

避難者が煙中に滞在可能な時間を耐久時間として表す。煙濃度と行動の関係に関する研究[23]から、約40%の人は煙濃度評価2の煙に耐えられないことがわかっている。この知見に基づき、標準的な耐久時間を表4.4のように設定した。ただし、この値は実験結果よりも長めに見積ってある。

また、新鮮な空気や水を得ることによる耐久時間への影響を考慮した。このような影響に関する研究がないため、モデルIでは次のように仮定した。濃度評価2以上の煙中で新鮮な空気や水を得た場合に耐久時間が延長される。延長時間はその時点での煙濃度により異なり、表4.4の通りである。また同時に、煙中滞在時間をより短い時間に再設定する。再設定される煙中滞在時間は煙濃度により異なり、表4.4の通



表4.4 煙濃度評価と耐久時間(単位秒)

煙濃度評価	耐久時間	延長された 耐久時間	滞在時間の 再設定値
2	180	300	10
3	30	60	15

りである。煙中滞在時間がこの時間より短い場合には、滞在時間を0に再設定する。

#### 4. 3 システムの構成

上記のような知識を有機的に関連させ、効果的に利用するために、モデルIを以下のような構成とした。

モデルIは、避難者モデル、外界データベース部、インタフェース部、制御部の4つの部分から成る(図4.7)。

避難者モデルは、長期記憶ユニット、短期記憶ユニット、個人特性ユニット、インタプリタから成る。長期記憶ユニットは、認知・行動傾向などの、変化の時定数の長い知識を格納する。具体的には、手続き的知識、対象知識、空間知識を格納する。

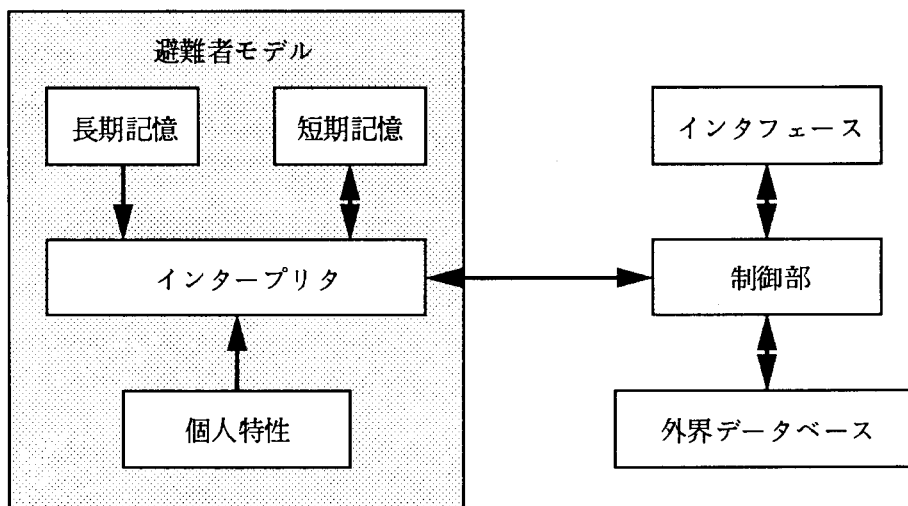


図4.7 システムの構成

短期記憶ユニットは、避難目標などの、避難の進展とともに変化する知識を格納する。短期記憶は長期記憶の参照・更新の対象となる。個人特性ユニットは、個人特性に関するデータを格納する。インタープリタは、長期記憶ユニット、短期記憶ユニット、個人特性ユニットの間の相互作用を司る。制御部を通して入手する外界に関するデータおよび短期記憶ユニットの内容に基づいて、適切な手続き的知識を発火させ、個人特性に基づいて行動を生起させる。

外界データベース部は、特定時刻の火災状況に関する火災データ、群集密度の遷移に関する群集データ、避難空間に関する完全なデータである物理的空間データを格納する。火災データは、ブロックごとの煙濃度評価で表現される。群集データは、ブロックごとの群集密度評価で表現される。火災データおよび群集データは、空間をブロックの集合として扱うような既存の火災シミュレータとの連結も可能であるが、モデルⅠは避難者モデルに重点を置いているため、今回は行わなかった。

インタフェース部は、計算機端末を通じて、ユーザと情報のやりとりを行う。入力としてシミュレーションの進展を制御する情報の入力を受け、出力としてシミュレーションの進展状況に関する情報を計算機端末に表示する。入力については4.5で述べる。

制御部は、時間管理に基づいて、避難者モデル、外界データベース部、インタフェース部の間の相互作用を司る。時間の単位はすべて秒である。

なお、計算機言語には DEC-10 Prolog (エジンバラ大学版) [64] を使用している。通常、情報処理モデルは Lisp で書かれることが多い。Prolog を使用したのは、① 問題解決・推論のための基本機能を Prolog 自身が持つためにプログラム開発に要する労力を省けると考えたこと [48]、② 避難状況に対して適切な対象知識や空間知識を探索するには Prolog のバックトラッキング機能が便利であると考えたこと、③ リスト処理能力が Lisp に比べて強力なため、対象知識や空間知識の構造を容易に記述できると考えたこと、などによる。

#### 4. 4 表現形式

本節では、本モデルで使用する知識や特性の表現方法について説明する。

##### 4. 4. 1 長期記憶ユニット

###### (1) 手続き的知識

手続き的知識を、一般的に (4.2)式のようなプロダクションルール形式で表現する。

$$\text{IF } (C_1, \dots, C_n) \text{ THEN } (P_1, \dots, P_m). \quad (4.2)$$

$C_1, \dots, C_n$  は条件部分、 $P_1, \dots, P_m$  は手続き部分である。(4.2)式は「もし条件  $C_1, \dots, C_n$  が満足されるなら、手続き  $P_1, \dots, P_m$  を実行する」ことを意味する。手続き的知識の表現形式としてプロダクションルールを採用した理由は、心理学などにおける避難行動に関する知識が「Aという状況ではBという行動をとる」という形式で表現されることが多いこと、およびそのような知識がモデルIの手続き的知識に相当することから、プロダクションルールになじむと判断したことによる。

インタープリタはシミュレーションの過程で各手続き的知識の条件部分と短期記憶ユニットの内容を比較し、すべての条件が満足されている手続き的知識の手続き部分を実行する。MYCINのCF (certainty factor[69])のような機能は考慮していない。これは、避難行動においては、習慣化された認知・行動傾向が表面化すると考えられ[66]、対応の選択は決定論的に行われると考えたことによる。

図4.8は手続き的知識の表現例である。この2つの手続き的知識は、避難経路を変更する場合の方略に関するものである。現在位置からの新しい避難経路を知っていればその避難経路を選択し、知らなければ現在の避難経路を戻って新しい避難経路を探す、という内容である。'!(カット)'の前が条件部分、後が手続き部分である。new\_route および check\_route\_memory はそれぞれ、特定ブロックから始まる避難経路を短期記憶ユニットに記憶するという関数、および現在位置から避難経路を1ブロック戻るといった関数である。

## (2) 対象知識

対象知識を図4.9(a)のようなフレーム形式で表現する。対象知識名は当該対象知識を代表する名前、避難目標を設定する場合の概念目標に相当する。空間特定は、当該対象知識が特定空間に固有の知識であればその空間名(自分の部屋に固有の知識であれば'自分の部屋')、それ以外の場合には'default'が値として入る。対象メンバーリストは当該対象知識の具体例のリストで、リストの各要素は、対象メンバー名および熟知度のペアから成る。対象メンバー名は、避難目標を設定する場合の移動目標に対応する。熟知度は、避難者が当該対象メンバーをどの程度よく知っているかを、1から3までの3段階で評価したものである。数字が大きいほどよく知っていることを表す。対象メンバーリスト内の[対象メンバー名、熟知度]ペアの配置順

```

change_route :-
    new_route_forward(ルート、ブロック),
    !,
    new_route(ルート、ブロック).

change_route :-
    route_memory(現在ルート、ルート),
    !,
    check_route_memory(ルート).

```

図4.8 手続き的知識例

対象知識( 対象知識名,  
 空間特定,  
 対象メンバーリスト ).

対象メンバーリスト: [[対象メンバー1, 熟知度1],  
 ;  
 [対象メンバーn, 熟知度n]].

(a) 対象知識の表現形式

対象知識( 出口,  
 レストランA,  
 [[正面入口, 3],  
 [従業員勝手口, 2]] ).

(b) 対象知識例

図4.9 対象知識の表現

序は熟知度の大きい順である。同一熟知度の対象メンバーが複数ある場合には、移動目標設定時に想起順となるように配列した。

対象知識には個人的対象知識と一般的対象知識があり、同一の表現形式を持つ。一般的に、避難目標の設定に使用される対象知識は個人的知識である。認知の際に使用される対象知識は、個人的知識でも一般的知識でもありうる。

図4.9(b)は対象知識例である。レストランAの出口として正面入口と従業員用勝手口があるという避難者の知識を示す。

### (3) 空間知識

空間知識を、図4.10(a)のように表現する。空間知識はブロック間の関係に関する知識である。ブロック名は当該ブロックに任意につけた名前である。ブロックメンバーリストは、当該ブロック内に位置する事物(対象知識における対象メンバー名に相当)から成り、移動目標の位置の検索に用いられる。ブロック関係知識リストは、当該ブロックと他のブロックの関係を、両者間の経路リストにより表現したもの

空間知識( ブロック名,  
ブロックメンバーリスト,  
ブロック関係知識リスト ) .

ブロックメンバーリスト: [対象メンバー1, ..., 対象メンバーn]

ブロック関係知識リスト: [[目標ブロック1, 経路リスト1],  
...,  
[[目標ブロックn, 経路リストn]]

経路リスト: [ブロック1, ..., ブロックn]

#### (a) 空間知識の表現形式

空間知識( ブロック1,  
[エレベータ, 階段],  
[[ブロック2, []],  
[ブロック3, [ブロック2]],  
[ブロック5, [[ブロック2], [ブロック3]]],  
[ブロック4, [[ブロック2, ブロック5],  
[ブロック2, ブロック3, ブロック5]]]]).

#### (b) 空間知識例

図4.10 空間知識の表現

である。経路リストは、両ブロック間を移動する場合に通過するブロックのリストである。複数ある場合には、通過するブロック数の少ない順に配列した。通過するブロック数が同じである経路が複数ある場合には、左廻りの経路を先に配列した[78]。廻る方向が同じ経路が複数ある場合は、避難経路設定時に想起順となるように配列した。

図4. 10 (b) は、ブロック1に関する空間知識例である。ブロック1にはエレベータおよび階段がある。ブロック2に隣接し、ブロック4ともっとも離れている。

人間の空間知識は、誤まった知識を含む場合がある。しかしモデルIでは、完全な空間データである物理的空間データの部分集合として個人の空間知識を表し、誤まった知識は許していない。例えば、特定のブロックに関する空間知識が欠けていたり、特定ブロックに関する空間知識の経路リストに知識が欠けていることはあるが、誤まった経路リストが含まれることはない。

#### 4. 4. 2 短期記憶ユニット

短期記憶ユニットの知識には、目標知識、避難経路知識、自己状況知識、火災状況知識などがある。すべてフレーム形式で表現される宣言的知識である。

人間の場合には、短期記憶の容量や保持期間には限界があると言われている[60]。しかし、実際には、①記憶内容のリハーサル効果などにより短期記憶の保持効率が向上する、②短期記憶は巧妙に組織化(チャンク化)されると容量が増える、などの疑問点が指摘されている[8]。ただし、長期記憶とは異なる、保持期間の短い記憶の存在を示唆する実験的研究は多数報告されているため、何らかの短期的な記憶を想定することは必要である。そこでモデルIでは、容量や保持期間を特に限定せず、頻繁に内容が変更される記憶という意味で短期記憶を設けた。

##### (1) 目標知識

目標知識は、避難目標に関する知識で、対象知識の内容を引用したものである。目標知識は(4.3)式のような表現形式を持つ。

$$\begin{aligned} & \text{目標知識( 概念目標,} \\ & \quad \text{移動目標,} \\ & \quad \text{移動目標の所在ブロック,} \\ & \quad \text{移動目標の熟知度 )}. \end{aligned} \tag{4.3}$$

同じ避難目標を理由なく何度も試みることを避けるために、現在の避難目標だけでな

く、過去の避難目標に関する知識も時系列的に記憶する。

#### (2) 避難経路知識

避難経路知識は、現在の避難経路に関する知識で、空間知識の内容を引用したものである。空間知識は、(4.4)式のような表現形式を持つ。

空間知識( 現在ブロック, [選択された経路リスト] ). (4.4)

#### (3) 自己状況知識

自己状況知識は、避難者が自己の置かれている状況を認識した結果を記憶したものである。例えば、すべての出口からの脱出を試みたが失敗したという認識は、自己状況知識である。自己状況知識は、内容により変数の数が異なるが、基本的には(4.5)式のような表現形式を持つ。

自己状況( 状況の定義, 変数 1, ..., 変数 n ). (4.5)

変数には、例えば自己状況の定義が「移動目標への固執」である場合には、移動目標が変数 1 に割当てられる。

#### (4) 火災状況知識

火災状況知識は、避難者が避難の途中で知覚した火災状況を記憶したものである。火災状況知識は、ブロックごとの煙濃度で表され、(4.6)式のような表現形式を持つ。

火災状況( ブロック名, 煙濃度評価 ). (4.6)

避難者は、避難目標設定時に、火災状況知識を参考にして、煙のない場所を避難目標とする。

### 4. 4. 3 個人特性ユニット

個人特性ユニットのデータを、すべてフレーム形式で表現する。これにより、データの変更が容易となり、多様な個人特性を容易に実現することができる。

#### (1) 情報処理時間

避難者の情報処理時間を、(4.7)式のように、3つの値の組合せで表現した。

情報処理時間(情報処理内容, 煙濃度評価, 所要時間). (4.7)

情報処理内容として、情報入手、概念目標設定、移動目標設定、避難経路設定がある。

#### (2) 移動速度

避難者の移動速度を、(4.8)式のように、3つの値の組合せで表現した。

移動速度(煙濃度評価, 群集密度評価, 所要時間). (4.8)

#### (3) 耐久時間

避難者の煙に対する耐久時間を、(4.9)式のように、2つの値の組合せで表現した。

耐久時間(煙濃度評価, 耐久時間). (4.9)

#### (4) 恐怖度

恐怖度を(4.10)式のように表現した。

恐怖度(恐怖度評価). (4.10)

恐怖度評価は恐怖度を0から2までの3段階で評価したものである。恐怖度の避難者の情報処理過程への影響を図4.11のように表現した。これは濃度評価3の煙に遭遇した場合の避難者の個人的手続き的知識の例である。この避難者の場合、恐怖度が3のときは現在の移動目標に固執するが、それ以外の場合には移動目標を変更するというを示す。このように恐怖度を手続き的知識に組み込むことにより、恐怖優位の対応と情報処理優位の対応の切り換えをうまく実現することができる。

### 4.4.4 外界データベース部

外界データベース部のデータを、すべてフレーム形式で表現する。これにより、データの変更が容易となり、多様な避難条件を容易に実現できる。

#### (1) 火災データ

火災データは、特定時刻における火災の進展状況を、ブロックごとにあらかじめ設定したものである。

```
personalRule(煙濃度評価(3)) :-  
    fear(3),  
    !,  
    cling_to_object.  
personalRule(煙濃度評価(3)) :-  
    change_object.
```

図4.11 恐怖の影響



図 4. 1 2 は、シミュレーション開始 30 秒後の火災データである。左から順に、ブロック名、各ブロックの煙濃度評価、時刻を表す。

#### ( 2 ) 群集データ

群集データは、特定時刻における群集状況を、ブロックごとにあらかじめ設定したものである。群集データを火災デー

タと同様の形式で、ブロック名、群集密度評価、時刻の 3 変数により表現する。

#### ( 3 ) 救助データ

救助データは、特定時刻における救助者の存在あるいは脱出シュートなどの避難器具の状況を、ブロックごとにあらかじめ設定したものである。救助データを火災データや群集データと同様の形式で、救助者名あるいは避難器具名、救助者の所在ブロック名あるいは避難器具の状況、時刻の 3 変数により表現する。

#### ( 4 ) 物理的空間データ

制御部は避難者の位置を管理するために物理的空間データを参照する。物理的空間データは避難空間の完全なデータで、表現形式は空間知識と同じである。

### 4. 5 システムの動作

シミュレーションシステムとしてのモデルの動作は、制御部が司る。制御部は、時間管理に基づいて、外界データベース部からの火災データや群集データの選択、避難者の位置の管理、計算機端末への入出力制御、避難の成功および失敗の判断などを行う。

経過時間の計算は、あらかじめ設定した避難者の情報処理時間あるいは移動時間を、火災状況を考慮して、各基本ステップが終了するごとに加算する。シミュレーション開始時には経過時間を 0 に設定する。避難者モデルを起動すると、最初に初期フェイズが起動し、状況の変化に応じて様々な避難行動フェイズの様々な基礎ステップの単位処理が起動する。

シミュレーション中の火災状況の進展は、主に外界データベース部の火災データおよび群集データとして設定される。ただし、確認情報入手ステップにおいてのみ、計算機端末からの入力を受付ける。受付ける入力内容は、救助に関する情報である。計

火災データ( ブロック 1、煙濃度評価(1)、30 )。  
火災データ( ブロック 2、煙濃度評価(1)、30 )。  
火災データ( ブロック 3、煙濃度評価(3)、30 )。  
火災データ( ブロック 4、煙濃度評価(1)、30 )。  
火災データ( ブロック 5、煙濃度評価(2)、30 )。  
火災データ( ブロック 6、煙濃度評価(2)、30 )。  
火災データ( ブロック 7、煙濃度評価(1)、30 )。

図4.12 火災データ例

算機端末からの入力を受付けることにより、避難状況をシミュレーション実行中にある程度変更できる。また、救助に関する情報のみを受付けることにより、火災や群集の時系列的変化の整合性を確保できる。

制御部は、避難者の経過時間に合せて、適切な火災データおよび群集データを外界データベース部から選択し、避難者モデルに提示する。避難者は、提示されたデータおよび計算機端末から入力されたデータの中から必要な情報を探索する。

避難者の位置は、ブロック名あるいは到達した目標名により管理される。ブロックを移動するごとに、ブロック間の距離を移動速度で割った値（移動時間）が経過時間に加算される。ブロック間の距離をブロックの中心点間の距離で代表する。また、移動速度は移動先のブロックの煙濃度および群集密度の影響を受ける。移動目標の位置するブロックへ到達した時点で移動目標到達と見なす。

避難の失敗の判断は、煙中滞在時間が耐久時間を越える場合に失敗と見なす。煙中滞在時間の記録は、避難者が煙濃度評価0あるいは1のブロックから煙濃度評価2以上のブロックに移動した時点から開始され、再度煙濃度評価0あるいは1のブロックに移動した時点で終了する。また、避難の成功の判断は、

- ① 出口到達後そのブロックに障害物がない場合
- ② 移動目標が避難器具であり、かつ移動目標到達後その器具が使用可能な状態にある場合
- ③ 出口到達後障害物があるにもかかわらず、その出口に固執し続ける場合

に成功とした。③の場合、障害物の種類および出口に固執した回数（基本サイクル数）により判断する。障害物が煙の場合、便宜的に、濃度評価1の出口では0回、濃度評価2では1回、濃度評価3では2回の固執で煙を突破できるものとした。これと関連して、移動目標への移動中に煙に遭遇した場合には、評価1では1回、評価2では2回、評価3では3回の固執で煙を突破できるものとした。障害物が群集の場合は、移動中でも到達後でも、群集密度評価3の場合には突破できないものとし、評価2の場合には2回の固執で、それ以下の場合には固執なしに突破できるものとした。

#### 4. 6 モデルの妥当性

モデルIの内的整合性および妥当性を検証するために、避難事例の再現を試みた。

第2章で述べたように、情報処理モデルの内的整合性および妥当性を実際の認知・行動例の再現を通じて検証することは、一般的に認められている方法である[7]。

以下で再現する避難事例は、1972年5月の大阪千日前デパートビル火災[2]である。この火災は高層建築火災の例として注目され、様々な報告が行われている。とくに最上階の7階については、個人の行動軌跡（パーソントリップ）がかなり詳細な部分まで明らかにされている。この点で、本避難事例は本モデルの内的整合性および妥当性の検証に適当であると判断した。7階の平面図を図4.13に示す。

以下では、最初に火災の概要を説明したのち、単独避難を行った2人の避難者についてのシミュレーション例を示す。個人的知識は個人属性に基づいて仮定した。空間データは空間特性を考慮して、図4.13のように7ブロックに分割した。各ブロックの大きさは10m四方程度である。また、火災データおよび群集データを報告書に基づいて設定した。使用した計算機は32ビットスーパーミニコンで、16ビットパソコンを日本語出力端末として使用した。図4.14に画面への出力例を示す。出力内容は、避難者の情報処理内容、現在位置、火災の進展状況、群集の状況、経過時間などである。

#### 4.6.1 火災の概要

火災現場は7階建の雑居ビルである。工事中の3階から出火した。推定時刻は午後

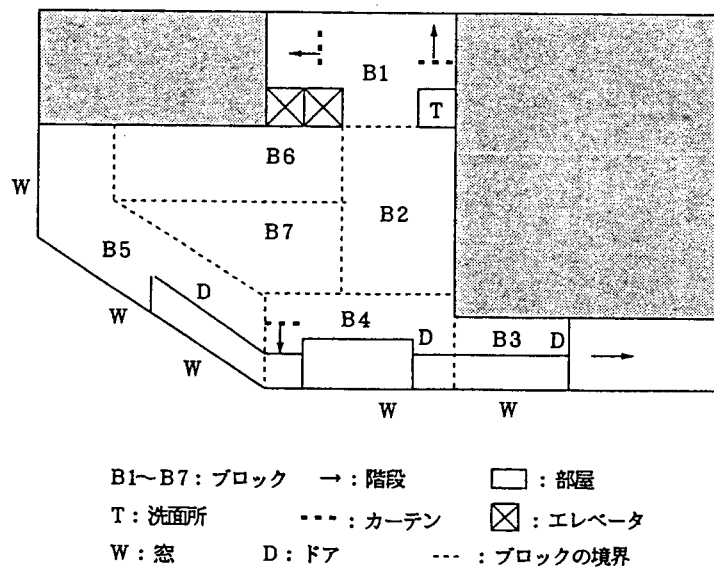


図4.13 火災現場

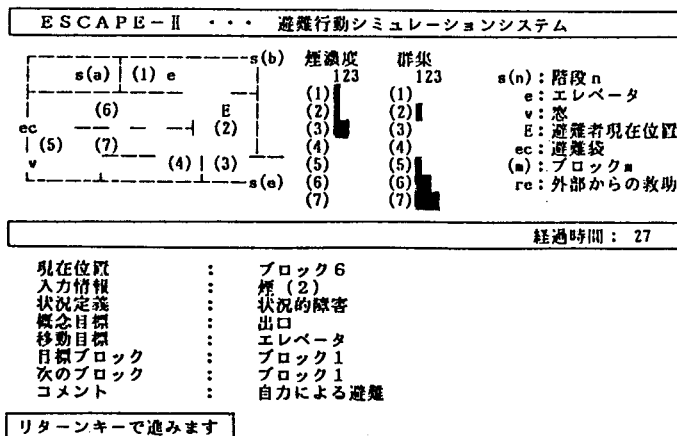


図4.14 画面への出力例

10時27分である。発見が遅れたため、消防署への通報は12分後である。7階は飲食店で、出火階からの通報がなく、出火14分後にエレベータからの煙に気付いている。当時7階には店員および客が合計 179名いた。煙認知後すぐに消火活動が行われているが、ほとんどの人は出火15分後にブロック6の排気ダクトから猛烈に吹き出した煙により火災を認知した。ほぼ同時に店内放送があったが、具体的な避難方法は指示しなかった。大部分の避難者はエレベータに向かったが、エレベータシャフトからの煙により、押し戻されている。出火17分後に停電したと思われ、生存者の報告から、この時点で大混乱になっていた。出火21分後（煙認知7分後）から、窓から飛び降りる避難者が出現した。消防署の先着隊は出火17分後に到着している。

死傷者は、死者 118名（墜落死22、中毒窒息死93、圧死 3）、負傷者48名である。

#### 4. 6. 2 シミュレーション1

##### (1) 対象

避難者1は、階段に固執した結果避難に成功した女性である。

最初に避難者1の実際のパーソントリップを説明する。最初ブロック6の客席にいたが、異臭により火災確認行動をとる。再度客席に戻るが、息苦しさのためにブロック1の洗面所へ避難する。その後、日頃しばしば使用するブロック1の階段に移動し、階段から脱出した。避難完了時刻は10時50分頃（火災認知10分後）である。

##### (2) シミュレーション

シミュレーションに際して、いくつかの条件を設定した。それらは、

- ① 情報処理時間および耐久時間は標準値をそのまま使用した；
- ② 対象知識として、出口としてブロック1の階段、水の得られる場所としてブロック1の洗面所を知っているものとする。空間知識は完全であるとした；
- ③ 洗面所に滞在した時間を5分とした；
- ④ 避難者1の属性（女性の従業員）に基づいて個人的手続き的知識を仮定した。例えば、従業員という属性から、現在接近中あるいは到達している移動目標において障害物に遭遇した場合には移動目標を変更すると仮定した。また女性という属性から、利用可能な出口を見つけられない場合にはその時点の移動目標に固執すると仮定した；

などである。なお、初期の火災確認行動が終了し、一度客席に戻って以後の行動をシミュレートした。

図4. 15は、シミュレーション結果を整理したものである。図中Eは避難者の現在位置を示す。フェイズは避難過程を、その内容の特徴により段階分けしたもので、tはシミュレーション開始時点からの経過時間を示す。点線はブロックの境界を示し、各フェイズにおける煙濃度評価を濃淡で示す。その他の記号は次の通り。

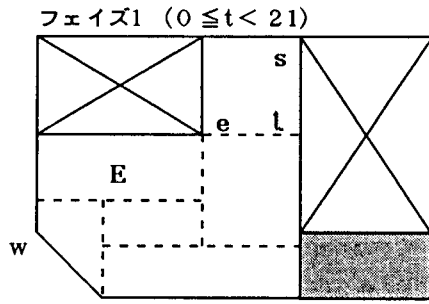
- s : 階段
- e : エレベータ
- w : 窓
- t : 洗面所

階段などの事物はシミュレーションに関係するものだけを表示した。

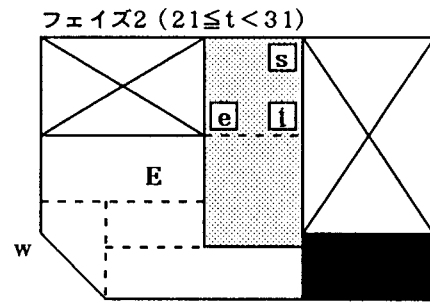
シミュレーション結果の内容は次の通りである。火災認知後、煙および群集の中をブロック1の階段まで移動した。煙を防ぐために同一ブロック内の洗面所に立ち寄った後再度階段を目差し、2度の固執の後避難に成功している。避難完了時刻は火災認知後8分20秒であった。詳細な避難行動過程は付録1を参照のこと。

なお、本シミュレーションにおける知識の数は、一般的手続き的知識が約250、個人的手続き的知識が約30、対象知識が10、空間知識が8である。ランタイムはプログラムのロード時間を含めて412秒であった。

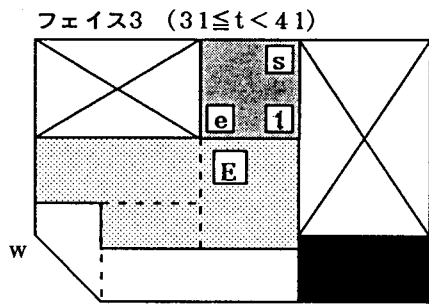
### (3) 考察



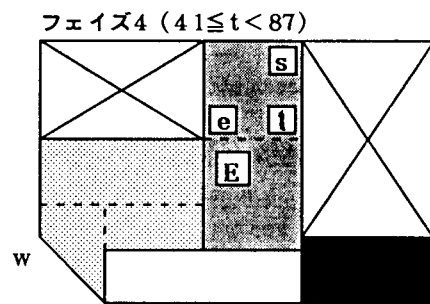
ブロック3の煙濃度評価2により火災認知  
 ブロック1の階段を移動目標に設定  
 次のブロックはブロック2



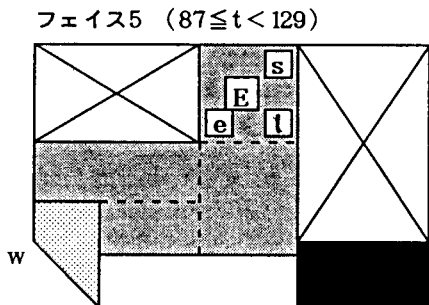
ブロック2に群集密度評価2  
 階段に固執



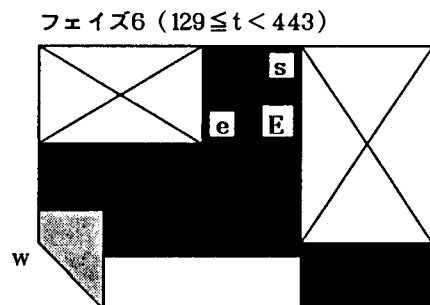
障害を無視してブロック2に移動  
 次のブロックはブロック1



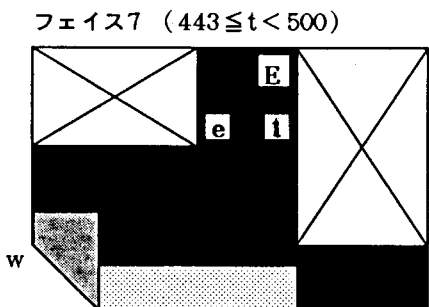
ブロック1の濃度評価2の煙のため移動できず  
 階段に固執



ブロック1に到達  
 濃度評価2の煙のため階段に移動できず



洗面所に移動  
 水により回復



階段を移動目標とする  
 階段に固執した結果避難に成功

煙濃度評価の表示

- |  |        |  |        |
|--|--------|--|--------|
|  | 煙濃度評価0 |  | 煙濃度評価1 |
|  | 煙濃度評価2 |  | 煙濃度評価3 |

図4.15 シミュレーション1の結果

避難行動の内容および過程については、図4.15および付録1はパーソントリップをよく再現していると言える。矛盾した対応は見られない。しかし部分的には相違点がある。報告書では初期移動目標は洗面所であるが、シミュレーション1では階段である。これは、シミュレーション1では火災認知後に出口を概念目標とするように個人的知識を設定したためである。この仮定は自然なものと思われる。実際にも、まず出口を概念目標としたが、息苦しくなり、洗面所に向かった可能性もある。この点については、現在のところ資料がないため確認できていない。

#### 4.6.3 シミュレーション2

##### (1) 対象

避難者2は、窓からはしご車により救助された。

最初ブロック6にいたが、火災認知後エレベータを移動目標とした。しかし群集に阻まれて到達できなかった。エレベータの他に出口を知らないため、新鮮な空気を吸うために移動目標を窓に変更した。窓に到達後10分ほどではしご車に救助された。

##### (2) シミュレーション

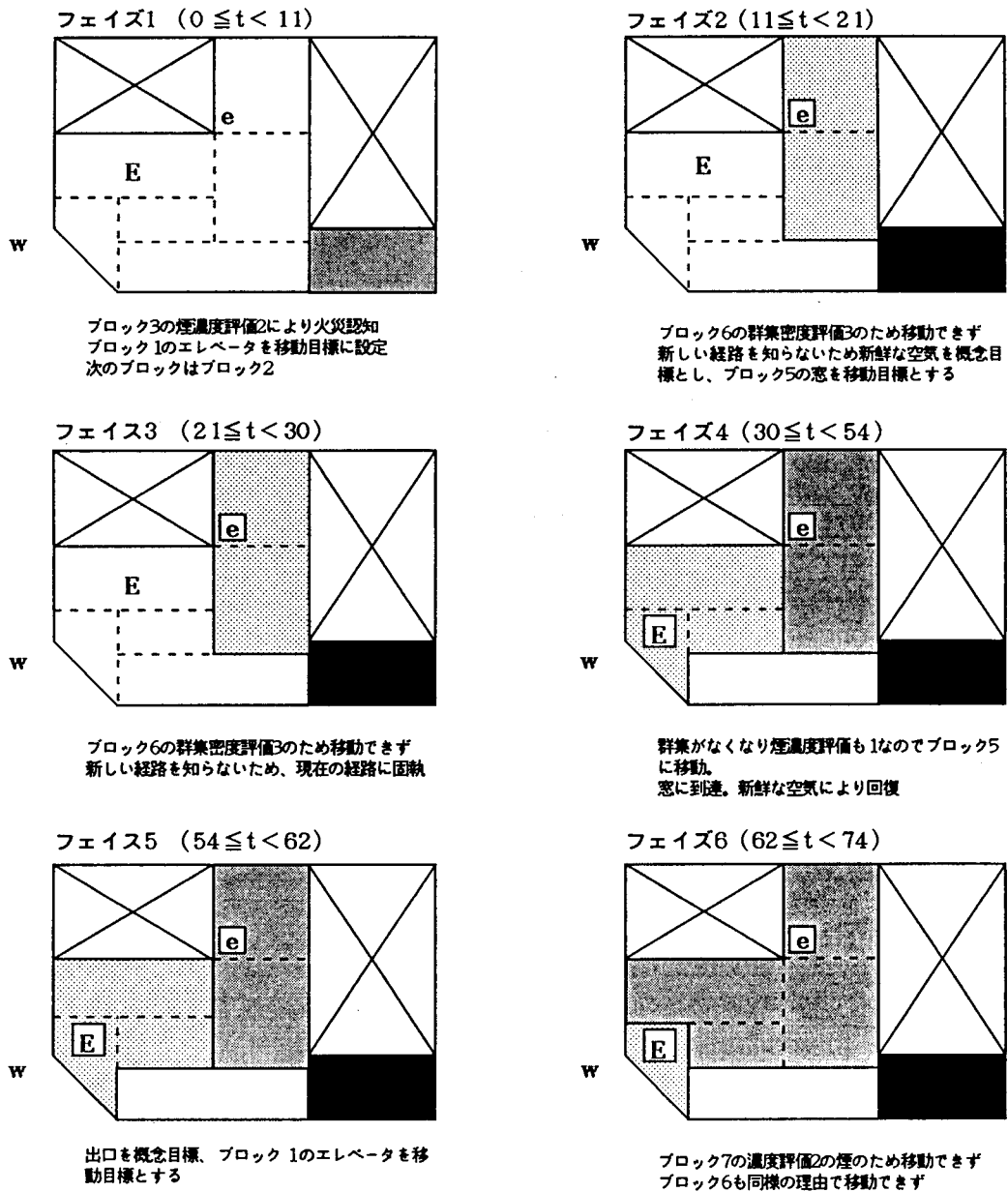
シミュレーションに際して、いくつかの条件を設定した。それらは、

- ① 情報処理時間および耐久時間は標準値をそのまま使用した；
- ② 対象知識として、出口としてブロック1のエレベータ、空気の得られる場所としてブロック5の窓を知っているものとした；
- ③ 避難者2の属性（男性の客）に基づいて個人的手続き的知識を仮定した。例えば、男性という属性から、現在接近中あるいは到達している移動目標において障害物に遭遇した場合は他の避難経路を探索すると仮定した。また、客という属性から、利用可能な出口がない場合には新鮮な空気の獲得に目標を変更すると仮定した；
- ④ 火災データはシミュレーション1のものを使用した；

などである。

図4.16は、シミュレーション結果を整理したものである。表現は図4.15に準じる。なおrcは救助（はしご車）を示す。

火災認知後、エレベータへの移動を試るが、群集のために阻まれた。そこで移動目標を窓に変更し、移動した。窓への到達後、再度エレベータを移動目標とするが、煙のため阻まれた。避難経路の変更や救助の探索を試しているうちに、はしご車が訪れ、



煙濃度評価の表示





	煙濃度評価0		煙濃度評価1
	煙濃度評価2		煙濃度評価3

図4.16 シミュレーション2の結果(その1)



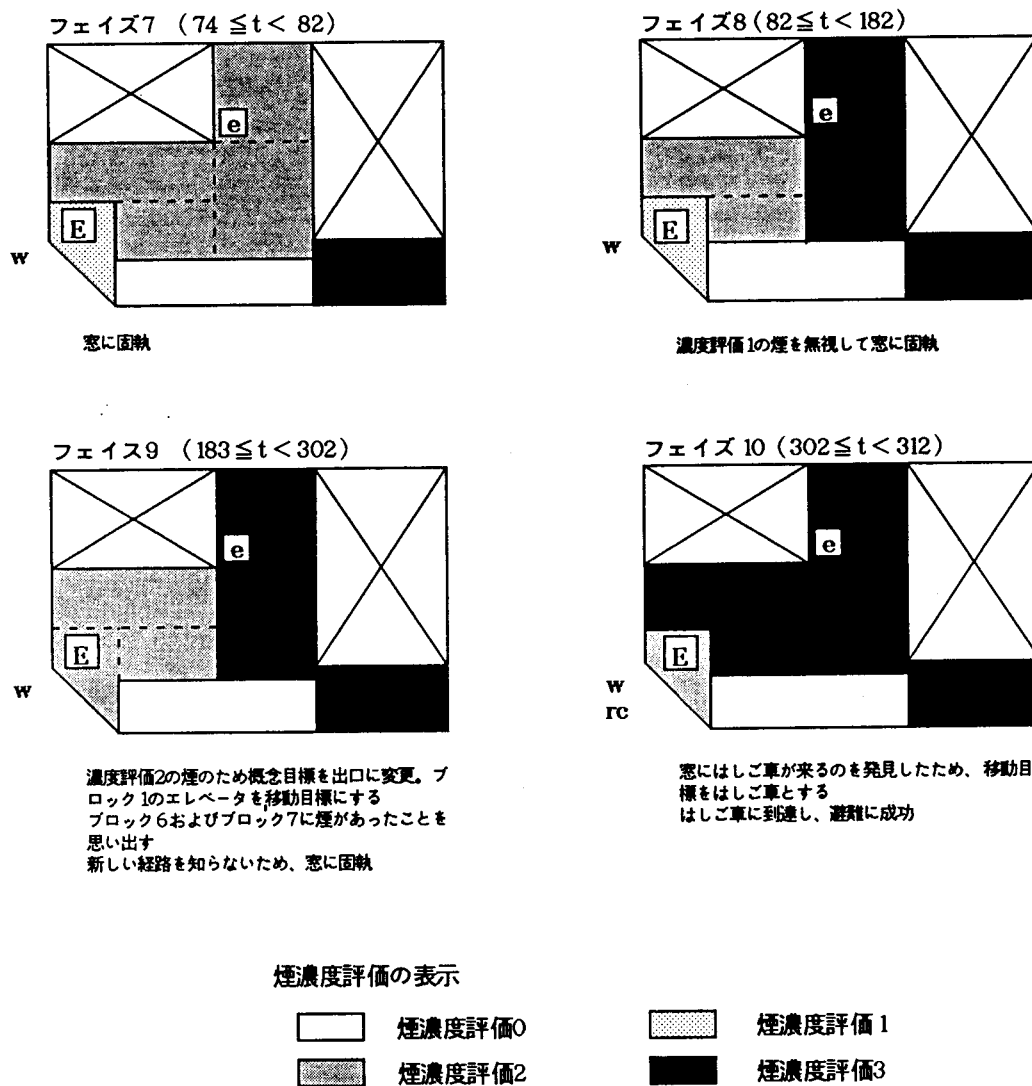


図4.16 シミュレーション2の結果(その2)

救助された。避難完了時刻は火災認知後5分12秒であった。詳細な避難行動過程は付録2を参照のこと。

なお、本シミュレーションにおける知識の数は、シミュレーション1とほぼ同数であった。

### (3) 考察

図4.16および付録2はパーソントリップをよく再現できていると言える。

シミュレーション2では、実際より5分程度早く救助されている。これは、シミュレーションにおいて、はしご車の到着時刻を実際よりも早くしたことによる。モデルIにおいては、窓に到達して新鮮な空気の効果があっても、煙中での耐久時間を標準

値に近い値に設定した場合には、実際の救助到着時刻まで避難者2が生存できない。もちろん煙中での耐久時間は、個人によっても、火災状況によっても大きく異なる。例えば本火災の場合、はしご車の活動期間は36分に及ぶ。しかし実際には、救出された時点で忍耐の限界に近い人がほとんどであったことや救助を待つ間に死亡した人が多数いることを考慮すると、本モデルで設定した耐久時間の標準値は妥当なものと考えられる。

#### 4. 6. 4 考察

これまでに、上記2例の他に、10例程度のシミュレーションを行っている。その中には異なる火災事例を対象としたシミュレーションも含んでいる。また、正確なパーソントリップは得られないものの、避難失敗者の行動の再現も行っている（この場合のパーソントリップは避難成功者の報告および死亡位置に基づく）。いずれの場合も、上記の2例と同程度に避難者のパーソントリップを再現できている。本モデルの内的整合性や妥当性を検証するためには、さらに多数のパーソントリップを再現する必要があるが、詳細なパーソントリップの得られている災害が少ないため、現時点では少数例の再現に留まっている。しかし、それらの再現結果に限れば、本モデルの内的整合性および妥当性は検証されたと言える。また、計算時間は対話的使用では問題がないと考える。

しかしモデルIには以下のような問題点がある。

- ①空間のブロック分割基準が明確でないこと。そのため分割方法により異なる避難行動が出現しうること。
- ②現時点では一般的知識と個人的知識の区別が便宜的なこと。例えば、障害物に遭遇した場合の対応方略のように、現在のところ一般化できる程度には明らかにされていない行動特性が多数ある。そのため、モデルIで個人的知識とした知識でも、将来研究が進展した段階で一般的知識となる可能性がある。
- ③停電の認知・行動への影響など、考慮していない環境要因がいくつかある。

これらの問題点については以下のように考えている。

空間分割の問題については、人間の空間認知に関する知識が不十分なことが理由である。人間の空間認知に関する研究成果を踏まえた分割方法の中から、シミュレーション結果を比較することを通じて経験的に適切な分割方法を発見するしかない。

知識の分類については、パーソントリップをうまく再現できるような個人的知識を見つける努力を積み重ねる中から、一般化できる知見を発見できる可能性がある。したがって現時点では、個人的知識をできるだけ少数に抑えながら、できるだけ多数の避難行動を再現することが重要であると考えます。

停電の影響については、現時点では暗闇中の避難行動特性に関する知見の蓄積がない。今後の課題と考える。

以上のような問題点は、モデルそのものの問題と言うより、心理学などの研究成果の蓄積が少ないことに起因していると言える。したがって、今後の心理学などの成果を待って、上記のような問題点を改善してゆく必要がある。知識の追加や変更は、プロダクションルール形式およびフレーム形式というモジュール性に優れた知識表現形式の採用により、比較的容易に行える。

最後に、実際にシミュレーションを行ってみて、次のような感想を持った。第1に、シミュレーションではパーソントリップをうまく再現するために、実際の火災データと大きく異なる範囲内で火災データを操作したが、火災データのわずかな変更でシミュレーション結果が大きく異なることがあった。このことから、特定のパーソントリップは、特定の個人的知識と特定の火災状況との微妙な組合せの結果生起することが実感できた。実際の避難においても、避難者のパーソントリップは、認知や行動の非常に微妙なタイミングに影響されるものと考えます。第2に、パーソントリップを再現することにより、特定の避難者がどのような知識を持っていたかを推定することができた。このことは、避難事例における避難成功者と失敗者の相違点を、知識という点から明らかにできる可能性を示唆するものである。したがって、このような再現をさらに蓄積することで、避難の成功確率を高めるために必要な知識を明らかにできると期待できる。

#### 4. 7 結言

閉所空間における単独避難行動モデルを提案した。本モデルは情報处理的アプローチを採用した最初の避難行動シミュレーションモデルである。本モデルは、あらかじめ設定された一般的、個人的な知識に基づいて、火災状況に対応する。知識の表現形式はモジュール性の高いものであるため、様々な避難者や火災状況を容易に実現できる。また、本モデルを用いて避難事例の再現を試み、満足すべき結果を得た。

本モデルは情報处理的アプローチを採用したことにより、定性的な知識の表現や利

用が容易になり、避難行動に関する従来の知見の構造化を進めることが可能となった。また、本システムのユーザは、情報処理過程に関する情報を端末を通じて知ることができるため、避難行動について理解を深めることができる。以上のような点について、これまでの避難行動シミュレーションシステムでは、避難行動の定性的な側面の扱いが困難であったり、表面的な行動の理解に留まっていた。今後きめ細かな防災・避難計画が要求されるが、本モデルは有用な情報を得るためのツールを提供するものと思われる。

## 第5章 閉所空間集合避難行動モデル

### 5. 1 緒言

前章では、閉所空間における単独避難行動モデルであるモデルⅠを提案した。モデルⅠはひとりの避難者が避難状況を認知し、空間や事物に関する知識に基づいて対応行動をとる過程を模擬するもので、避難実例の再現を通じてその有効性が明らかになった。しかしモデルⅠは、他者との積極的な相互作用を考慮していない。実際の避難場面には、リーダーシップや模倣行動などの、避難者間の相互作用が存在する。複数の個人が相互作用する過程を集合行動と呼ぶ。組織化された集合行動を集団行動と呼ぶ。集合行動および集団行動は社会心理学の重要な研究テーマである[65, 72]。集合行動のうち、とくにリーダーシップは、集合行動を集団行動に組織化することにより避難を成功に導く重要なファクタである[2]とともに、避難者間の相互作用の多くをこの枠組で把握できるため、近年活発に研究されている。避難におけるリーダーシップの効果が明らかになれば、有効な避難誘導方法の開発などが期待できる。

本章で提案するモデルⅡは、モデルⅠを基礎として、リーダーシップ過程のモデルを考慮したものである[53, 54]。リーダーシップ過程とは、リーダーの指導の下に集団が問題を解決する過程をさし、リーダーの発生、リーダーの指導下での問題解決、リーダーの消滅などの過程が含まれる。避難場面における従来のリーダーシップ研究ではリーダーとなる避難者をあらかじめ設定していることが多く[25, 69]、リーダーの発生過程については不明な点が多い[4]。このためモデルⅡでは、従来の研究をリーダーシップの概念枠組として参考にするに留め、リーダーシップの発生過程については新たにモデル化を試みた。このようなモデル化の試みが今後実験的研究などに反映されることにより、本モデルは集合避難行動研究に貢献できると期待される。またリーダーシップに関する様々な仮説を本モデル上に表現し、シミュレートすることにより、それらの妥当性を動的に検討することができる。このようにモデルⅡは、集合避難行動に関する有効な研究支援ツールになるものと思われる。

モデルⅡは、モデルⅠの単独避難行動モデルを基礎としているため、避難者の情報処理過程の枠組である避難行動フェイズおよび基本サイクルの構造に大きな変更はない。ただしリーダーシップ過程を中心に避難者間の相互作用過程をモデル化した相互作用モデルを考慮したことに伴って新たに導入した概念がいくつかある。そこで以下

では、相互作用モデルなどモデルⅡに特徴的な点について説明する。最初に相互作用モデルについて述べ、次いでそのモデルを用いてシミュレーションシステムを実現するためのアーキテクチャについて説明する。最後にモデルⅡを用いた避難事例の再現を通してモデルの妥当性を検証する。

## 5. 2 相互作用モデル

### 5. 2. 1 リーダーシップの定義

モデルⅡでは、避難場面におけるリーダーシップを、広義に「特定の個人が他の避難者に避難誘導機能（P機能）と情緒安定機能（M機能）に関して、意識的あるいは無意識的な影響を与える過程」とであると定義する。ここでP（Performance）機能とM（Maintenance）機能は、集団機能に着目したリーダーシップPM理論[40]に基づくリーダーシップ類型である。避難場面においては、P機能は避難場面からの脱出を目的とする機能で、M機能は脱出が円滑に行われるように情緒的な側面から支援することを目的とする機能である。本モデルでPM理論を採用したのは、この理論に基づいて多数の避難行動研究が行われており[28～31, 43, 44, 69, 71]、モデルⅡの枠組として有用であると思われたことによる。

リーダーシップの発揮は、通常P機能あるいはM機能を表す言語メッセージの発信によることが多い。避難場面におけるP機能メッセージには、

- ①吸着誘導 … 「ついて来なさい」など
- ②遠隔誘導 … 「こちらへ来なさい」など

などがある。M機能メッセージには、

- ①鎮静指示 … 「落ち着いてください」など
- ②激励 … 「がんばれ」など

などがある。モデルⅡでは、これらのメッセージの内容が個人および状況に依存するものであることを考慮して、メッセージの詳細な内容を区別せず、P機能メッセージあるいはM機能メッセージとして扱う。

他者に影響を与える個人をリーダーと呼び、影響を受ける個人をフォロワーと呼ぶ。

リーダーとフォロワーが形成する関係をリーダーシップ関係と呼ぶ。リーダーシップ関係には、特定の個人がリーダーとしての自己の役割を認識するという側面と、フォロワーがリーダーを認識するという側面がある。したがって、リーダーがリーダーシップを発揮したつもりでも他の避難者がリーダーであると認めなければリーダーシップ関係は成立しない。逆に、リーダーになる意志はなくても、他の避難者からリーダーと見なされると、リーダーシップ関係は成立する。

なお、本モデルでは、外部からの救助者と避難集団内部から発生したリーダーとをリーダーシップという共通の枠組で把握できると考える。したがって以下でリーダーと言う場合には、救助者を含む。

## 5. 2. 2 リーダーシップ発生時期

避難時におけるリーダーシップ発生時期については明らかにされていない。そこでモデルⅡでは、P機能およびM機能の特徴から、リーダーが発生する可能性のある時期を次のように設定した。すなわち、ある個人が

- ① 火災を認知したとき、
- ② 移動目標までの避難経路を決定できたとき、
- ③ 到達した移動目標からの脱出が可能と判断したとき、

である。①の場合にはP機能（火災報知）が発揮され、②③の場合にはP機能およびM機能の両方あるいはどちらかが発揮される。M機能は上記以外の時期にも発揮されるが、避難の成功にとってとくに有効と思われる上記の時期に限定した。

上記の時期にすべての個人が同様にリーダーシップを発揮するのではない。モデルⅡでは、特定個人がリーダーとなる条件は、その個人が

- ① 避難場面における避難誘導の責任者[4]、
- ② 積極的な性格の持ち主[40]、
- ③ 強い恐怖耐性の持ち主、

のいずれかで、かつ

- ④ 周囲にフォロワーとなるべき他者が存在する、かつ

⑤ 周囲に他のリーダーがない、

場合であると仮定した。以下でモデルⅡにおける①～③の扱いについて説明する。

避難の責任者がリーダーシップを発揮することは、多数の避難実例により支持されている [2]。責任者は、所属する組織から緊急時に責任行動をとることを期待されており、そのことを自覚している。また、責任行動をとれるだけの情報および技術を持つ [4]。フォロワー側から見ても、責任者はもっとも信頼できるリーダーである。責任者が不在の場合あるいはリーダーシップを発揮しない場合には、自然発生的でインフォーマルなリーダーが出現することが多い。モデルⅡでは責任度を責任の有無という 2 段階で評価した。

自然発生的なリーダーの特徴は、積極性と呼べる性格を持つことである。積極性は実験によりリーダーシップの発揮と正の相関関係が見出されている [40]。それに基づきモデルⅡでは、性格の積極性の程度を 3 段階で評価した。

恐怖耐性は恐怖に対する精神的強さを表したもので、恐怖耐性の強い個人は恐怖場面に遭遇しても比較的冷静に対処でき、恐怖度があまり高くない。恐怖耐性とリーダーシップの関係を直接明らかにした研究はない。しかし、勇敢さとリーダーシップの関係は認められている [40]。モデルⅡでは、避難場面における勇敢さは恐怖耐性として現れると考え、条件③を採用した。具体的には、恐怖耐性を 3 段階で評価した。なおモデルⅠでは、平均的な恐怖耐性を仮定していた。

対象知識に基づいて移動目標を設定した避難者が P 機能を発揮するためには、上記①～⑤の条件の他に

⑥ 現在の移動目標に対する熟知度が非常に高いこと [49]、

がさらに条件となる。条件⑤は、条件⑥が満足される場合には除外されるものとした。

### 5. 2. 3 リーダーシップの種類

一般にリーダーシップはいくつかの類型に分類される。リーダーシップ PM 理論ではリーダーシップを、PM 型、P 型、M 型、pm 型の 4 類型に分類している [40]。PM 型は P 機能および M 機能の双方を発揮する型、P 型あるいは M 型は P 機能あるいは M 機能の一方のみを強力に発揮するが他方はあまり発揮しない型、pm 型は P 機能および M 機能の双方ともあまり強力に発揮しない型である。それぞれのリーダーシップ



類型がフォロワーに与える影響に関しては豊富な研究が行われている[30, 31, 69]。しかし、リーダーがどのタイプのリーダーシップを発揮するかは、リーダーの置かれた状況、リーダーの被訓練度、リーダーの性格などにより規定されると考えられ、現時点では一般化できるような知見が得られていない。

リーダーは5. 2. 2で述べた時期に、各類型に特徴的なメッセージを発信する。すなわち、PM型のリーダーはP機能メッセージおよびM機能メッセージの両方を発信し、P型あるいはM型のリーダーはそれぞれP機能メッセージあるいはM機能メッセージを発信する。pm型のリーダーは何も発信しない。

#### 5. 2. 4 フォロワーによるリーダーの探索

フォロワー側から見たリーダーシップ関係は、リーダーの探索とそれに続く追従行動である。モデルIIではフォロワーのリーダー探索時期を、確認情報入手ステップで救助情報を入手するとき、と仮定した。この時期にリーダーを探索すると考えたのは、救助の場合と同様に、避難のような緊急事態では他者依存的な対応がとられる傾向にあると考えたことによる[30]。

上記の時期にフォロワーがリーダーを探索する一般的手順を以下のように仮定した(図5. 1)。

- ① 外部からの救助者を探索する。救助者を発見した場合には救助者を移動目標とする。
- ② 救助者がいない場合には、P機能メッセージを発信している他者を探索する。発見した場合には、その他者をリーダーと見なして移動目標とする。そのような他者が複数いる場合には、そのうちのもっとも距離の近い他者をリーダーと見なす。
- ③ P機能メッセージの発信者を発見できない場合には、M機能メッセージの発信者を探索する。探索方法はP機能の場合に準じる。
- ④ 上記以外の場合には次のような対応をとる。
  - a. フォロワーの積極性が低い場合
    - a-1. 視認できる範囲で最大の集団を探索する。発見できた場合には、その中の任意の避難者をリーダーと見なし移動目標とする。この場合、特定ブロック内のすべての避難者をひとつの集団と考える。
    - a-2. 上記以外の場合には、各自の個人的知識に基づいた対応をとる。
  - b. フォロワーの積極性が高い場合には、各自の個人的知識に基づいた対応をとる。

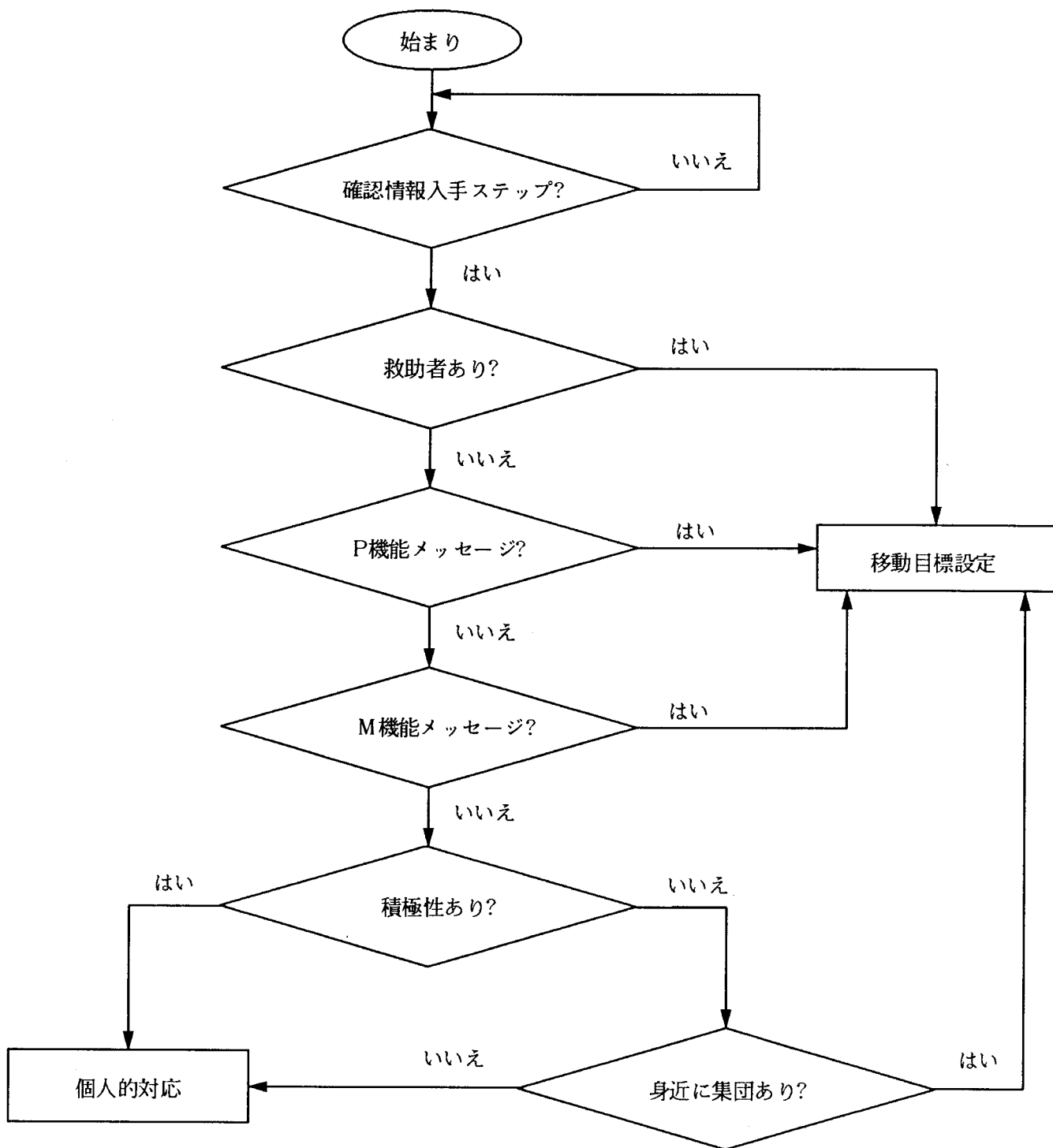


図5.1 フォロワーによるリーダーの探索手順

る。

### 5. 2. 5 リーダーシップの効果

モデルⅡでは、P機能メッセージは移動目標を指定しない。したがってフォロワーはリーダーを移動目標とし、リーダーの移動する後を追従する。リーダーが移動を停止した場合には、フォロワーもリーダーと同じ位置に停止し、リーダーの次の行動を待つ。リーダーが一定期間を過ぎても移動しない場合のフォロワーの対応については5. 2. 6で述べる。

実験によると避難者は、火災認知後の最初のリーダー探索時にM機能を提示されると、以後の避難行動を通して恐怖度があまり高くない[43]。このようなM機能の効果を「M機能の鎮静効果」と呼ぶ。鎮静効果は避難を通じて持続する。避難初期以外のM機能の鎮静効果はかなり小さい。したがって本モデルでは、避難者が火災認知直後の確認情報入手ステップにおいてM機能メッセージを受信した場合にのみ鎮静効果を認める。鎮静効果のある場合、その避難者の恐怖度の変化の仕方は恐怖耐性の強い避難者の場合に準じるものとした。また、鎮静効果を与えるM機能メッセージと同時にP機能メッセージを発信するリーダーに対しては、フォロワーは避難を通じて追従する傾向にある[43]。本モデルではこの点も考慮した。

### 5. 2. 6 リーダーシップの消滅

リーダーシップの消滅時期については明らかにされていない。しかし避難行動は安全地帯への移動が完了した時点で消滅すること[66]や、フォロワーは常にリーダーの有効性を評価していると考えられること[30]などから、一般的にリーダーシップの消滅時期を、

- ①リーダーシップが不要になったとき、
- ②リーダーシップが有効でなくなったとき、

と考えることができる。そこで本モデルでは、リーダーシップの消滅時期を

- ①リーダーおよびフォロワーの避難が成功した場合、
- ②一定期間が過ぎてもリーダーが移動しない場合、
- ③外部からの救助者を発見した場合、

と仮定した。ただしM機能の鎮静効果が存在する場合には、②の場合でもリーダーシップは消滅しない。

リーダーシップ消滅後、避難者は各自の個人的知識に基づいた対応をとる。

### 5. 3 システムの構成

モデルⅡの構成はモデルⅠと基本的には同じである。しかし避難者が複数になることに伴い、モデルⅠの構成を一部拡張した。

以下では、モデルⅡに特有の構成部分についてのみ説明する。モデルⅡの構成を図5. 2に示す。なお、モデルⅡは計算機言語として Prolog[63] を用いている。

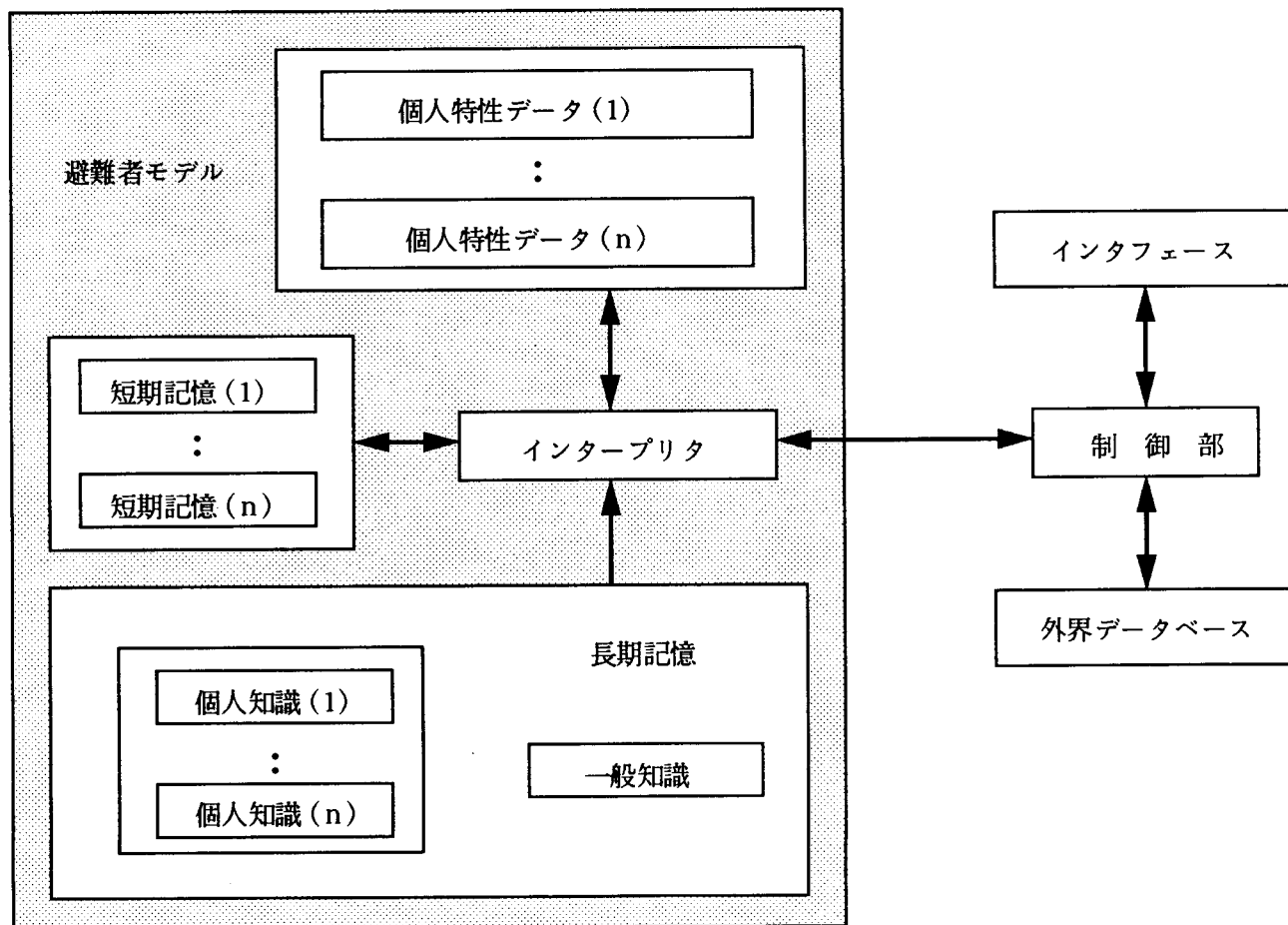


図5.2 システムの構成

### 5. 3. 1 避難者モデル

一般的知識およびインタープリタは避難者に共通とし、個人的知識、短期記憶、個人特性は避難者ごとに設けた。避難者モデルを区別するため、各避難者モデルに名前をつけた（例えば避難者A）。避難者を区別する必要がある知識（個人知識）およびデータ（個人特性データ）には、すべて避難者名をつける。

短期記憶の中に、リーダーに追従中かどうかを表すリーダー知識を避難者ごとに考慮した。その際、リーダー名、リーダーシップの内容（P機能かM機能か）、リーダーの位置を記憶する。

個人特性の中に、避難者の責任度、恐怖耐性、積極性に関するデータを記憶する。また、個人特性とは異なるが、M機能の鎮静効果の有無を避難者ごとに記憶する。さらに、各避難者がリーダーとなったときにどのようなリーダーシップを発揮するかをあらかじめ設定できるようにした。設定できるリーダーシップはPM、P、M、pmの4類型である。

### 5. 3. 2 外界データベース

リーダーシップが発揮された場合、発揮した避難者名、位置（ブロック名）、時刻（シミュレーション開始後の経過時間）、メッセージの内容（P機能メッセージかM機能メッセージか）を記憶する。

また、すべての避難者をシミュレーション対象とする必要がない場合には、モデルIと同様に群集データをあらかじめ設定することもできる。

### 5. 3. 3 制御部

モデルIと異なりモデルIIでは、時間管理に基づいてシミュレートする避難者モデルを選択する。モデルIIは逐次型シミュレータなので、一度にひとりの避難者モデルしか処理できない。また認知および行動に要する時間を離散的に設定しているため、単位時間ごとのシミュレーションではなく、認知および行動のまとまりを単位とするイベントシミュレーションである。これらの理由により、避難者モデルが相互作用を行うためには、避難者モデル間の同期をとる必要がある。制御部は各避難者モデルの経過時間を管理し、処理すべき避難者モデルを選択する。詳細は5.5で述べる。

### 5. 3. 4 インタフェース

モデルIと異なりモデルIIでは、複数の避難者モデルの情報処理過程を端末に表示

する。例えば避難者が3人の場合のシミュレーション過程の端末への表示例を図5.3に示す。モデルIの表示に比べ、避難者モデルを避難者名で管理すること、避難者の経過時間および位置を表示すること、画面の右上に現在処理中の避難者名（この場合には避難者B）を表示すること、などが異なる。

## 5.4 表現形式

本節では、モデルIIで導入した概念の表現方法について説明する。

### 5.4.1 短期記憶ユニット

避難者が追従しているリーダーに関するリーダー知識を(5.1)式のように表現した。

リーダー(リーダー名、  
 リーダーシップの内容(P機能かM機能か)、  
 リーダーの位置(ブロック名)、  
 避難者名)。(5.1)

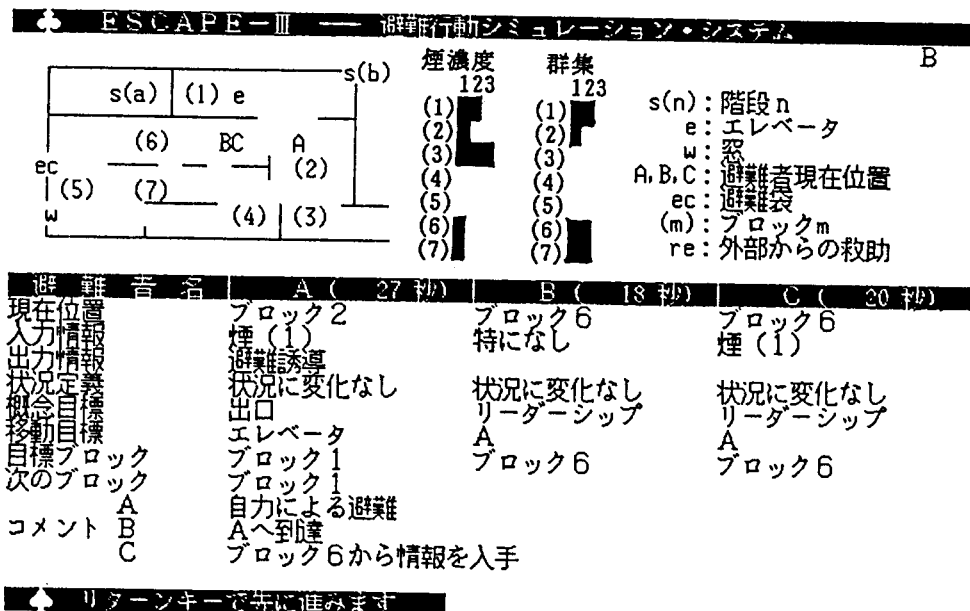


図5.3 画面表示例

#### 5. 4. 2 個人特性ユニット

##### (1) 責任度

責任度を2段階で表した。0は責任なし、1が責任ありを表す。例えば、避難者Aが避難誘導に関して責任があることを

責任度( 1, 避難者 A )。 (5.2)

と表す。

##### (2) 積極性

性格の積極性を1～3の3段階で表現した。1が積極性のない性格、3が積極性の高い性格を表す。例えば、避難者Bが平均的な積極性の持ち主であることを

積極性( 2, 避難者 B )。 (5.3)

と表す。

##### (3) 恐怖耐性

恐怖耐性を1～3の3段階で表現した。1が恐怖耐性なし、3が恐怖耐性の強いことを表す。例えば、避難者Aが恐怖耐性を有することは、

恐怖耐性( 1, 避難者 A )。 (5.4)

と表す。

#### 5. 4. 3 外界データベース部

リーダーからのメッセージをP機能の場合もM機能の場合も同一の形式で表現した。リーダーシップメッセージは、リーダーシップの内容、発信者名、発信位置(ブロック名)、発信時刻(シミュレーション開始時点からの経過時間)から成る。例えば、避難者Cがシミュレーション開始後32秒後にブロック2でP機能メッセージを発信したことは、

メッセージ( P機能, 避難者 B, ブロック 2, 32秒 )。 (5.5)

と表す。

## 5. 5 システムの動作

特定避難者の経過時間の計算方法はモデルⅠと同様である。時間の単位も秒である。複数の避難者が相互作用を行うためには、全避難者の経過時間の同期をとる必要がある。そのためモデルⅡでは、処理対象となる避難者を適時変更するという操作を行っている。制御部は、特定避難者の特定の基本サイクルを1サイクルだけシミュレートした時点で、全避難者の経過時間を比較し、もっとも経過の遅い避難者を次の処理対象とする。

このようにしてモデルⅡは、

- ① 処理対象者の決定
- ② その時点の外界データの読み込みとその内容の画面表示
- ③ リーダーシップメッセージのチェック
- ④ 処理対象者の1サイクルのシミュレーション

という手順を繰り返す(図5.4)。ここで③リーダーシップメッセージのチェックとは、発信されたリーダーシップメッセージのうち、発信時から5秒以上経過したものを無効とする操作である。5秒という時間はメッセージの発信に要する時間を考慮したものであり、これによりメッセージの受信者を時間的に制限することができる。具体的には、5秒以上経過しているメッセージを外界データベースから消去する。

1サイクルのシミュレーションが終了した時点で、その避難者が実行した認知および行動を記録する。次にその避難者を処理対象としたときには、この記録に基づいて1サイクルのシミュレーションを行う。これに伴い、煙中での滞在時間の計算、水や新鮮な空気による耐久時間の延長、避難の成功あるいは失敗の判断を行う。なお、リーダーシップメッセージの受信者の制限は、時間的だけでなく、空間的にも行っている。すなわち、メッセージが発信されたブロックおよびその隣接ブロックにいる避難者だけがメッセージの受信者となれる。

ユーザはモデルⅡとの間で2種類のインタラクションが可能である。1つは1サイクルのシミュレーションの終了時のインタラクションである。このときシミュレーションは、ユーザの理解を助けるために休止する。シミュレーションを続行したい場合



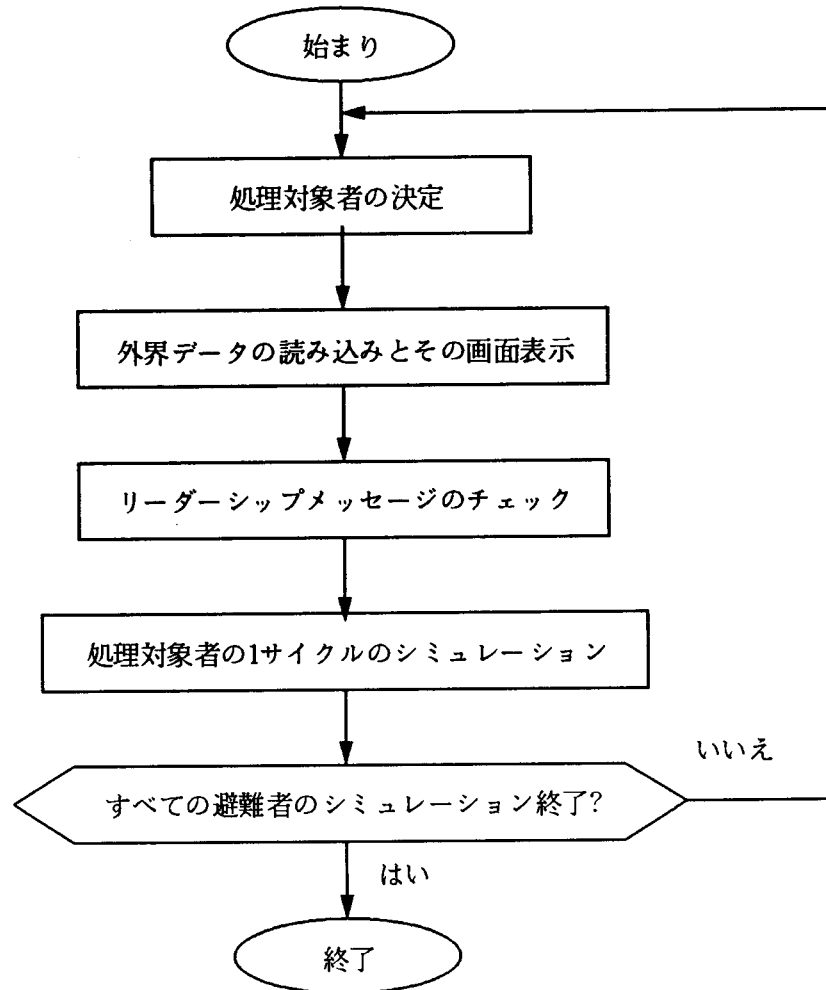


図5.4 システムの動作

には計算機端末のリターンキーを入力すればよい。もう1つは確認情報入手ステップで避難者が救助あるいはリーダーの探索に失敗した場合である。このとき計算機端末からの入力待ちとなる。計算機端末から救助情報あるいはリーダーシップメッセージを入力することにより、インタラクティブにシミュレーションを操作できる。入力された情報は外界データベースに記録され、他の避難者からの参照が可能となる。

## 5. 6 モデルの妥当性

以上のようなモデルⅡの内的整合性および妥当性を検証するために、モデルⅠの場合と同様に、大阪千日前デパートビル火災における避難実例の再現を試みた [2]。この火災では女性従業員をリーダーとし複数の客をフォロワーとする避難成功例が報告

されており、その再現を通じて本モデルを評価できるものとする。シミュレーションでは説明を容易にするために3名の避難者を対象とした。空間の分割方法は第4章の図4.13に準じる。

## 5.6.1 シミュレーション

### (1) 対象

再現対象である避難事例のパーソントリップは以下の通りである。

従業員A、客B、客Cはブロック6におり、ほぼ同時に火災に気付いた。その時刻は明らかではないが、比較的遅い時期であったと考えられる。Aは客をエレベータの方向に誘導したが、その方向はすでに煙と群集のために進めなかった。Aはブロック3の階段のことも思い出したが、その方向は煙のために何も見えなかった。しばらくためらった後、とにかく窓のそばに行って新鮮な空気を吸い、救助を待つことにした。客を誘導し、励ましながら煙の中を進んだ。窓に到達した後、しばらくしてはしご車が到着し、3名とも救助された。

### (2) シミュレーション

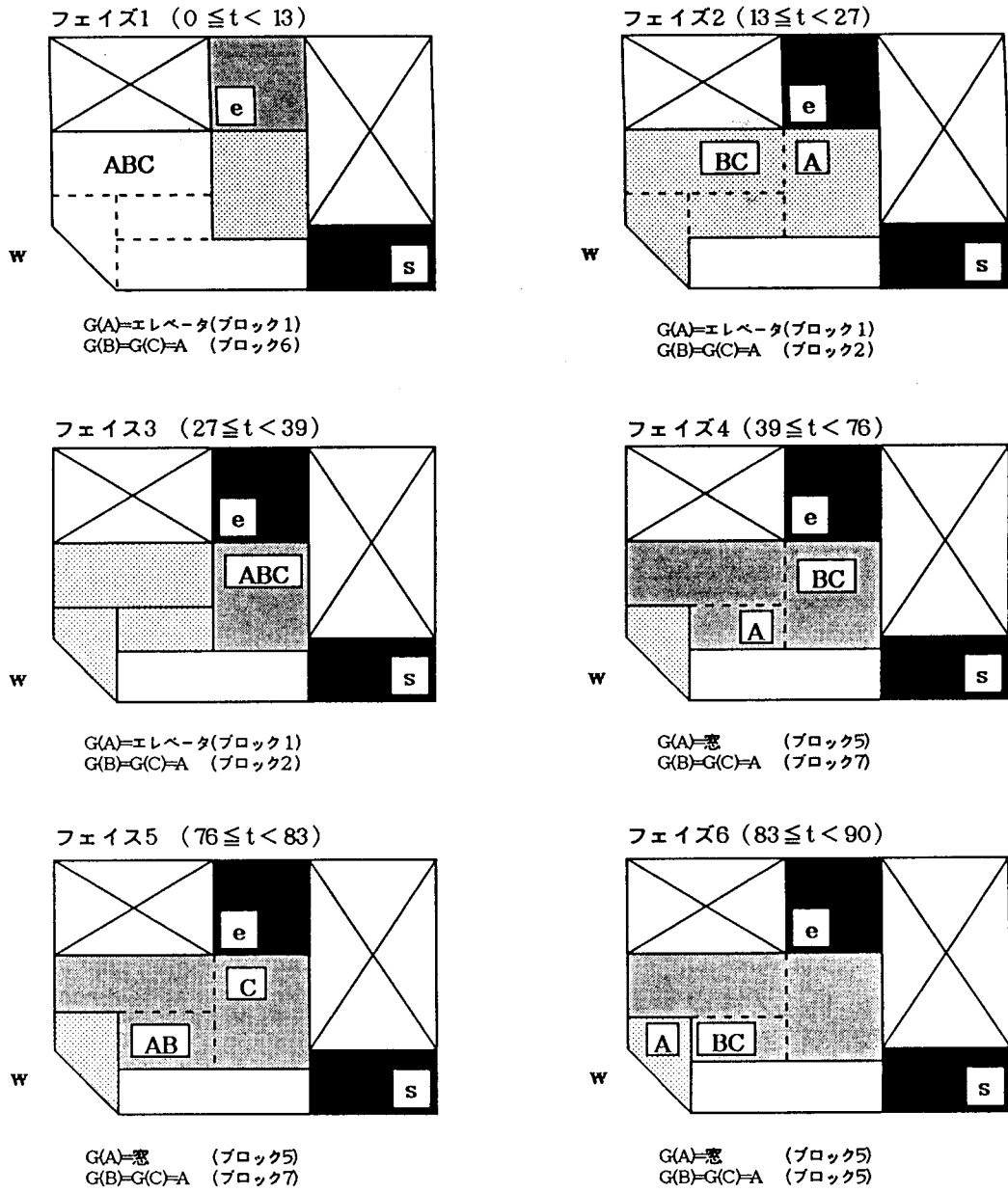
シミュレーションに際して、個人的知識および個人特性は個人属性から仮定した。避難者の避難誘導の責任度は、Aが1、BとCが0とした。積極性は3名とも2とした。恐怖耐性も同様である。出口として、Aはエレベータ（ブロック1）と階段（ブロック3）、BとCはエレベータを知っていると仮定した。新鮮な空気を得られる場所としてブロック5の窓を全員が知っているとして仮定した。また、リーダーが移動しないことによるリーダーシップ消滅の基準を便宜的に、リーダーが同一ブロックに3サイクル以上留まる場合とした。ただし5.2で述べたように、フォロワーに対してM機能の鎮静効果のある場合には3サイクル移動しない場合でもリーダーシップは消滅しない。なお、火災認知時刻として第4章のシミュレーション1より30秒程度遅い時刻（出火後約17分後）を想定し、火災データおよび群集データを設定した。

図5.5はシミュレーション結果を整理したものである。表現は第4章の図4.16に準じる。図4.16にはない記号は以下の通り。

A, B, C : 避難者名 (n)

G(n) : 避難者nの移動目標

次にシミュレーション結果の内容を説明する。3名によるシミュレーションなので、



煙濃度評価の表示

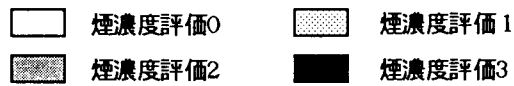
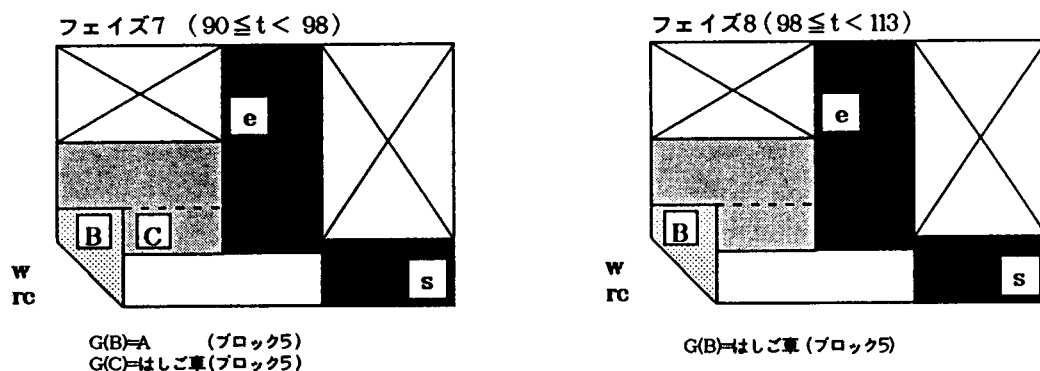


図5.5 シミュレーションの結果(その1)



#### 煙濃度評価の表示





	煙濃度評価0		煙濃度評価1
	煙濃度評価2		煙濃度評価3

図5.5 シミュレーションの結果(その2)

フェイズごとに避難行動過程を要約する（詳細は付録3を参照のこと）。

フェイズ1：Aがブロック3の煙により火災を認知。周囲に他の避難者がいるため、火災警報メッセージとM機能メッセージを発信。B、Cも火災警報メッセージにより火災を認知。AのM機能メッセージがBとCに対して鎮静効果を与えた。Aはブロック1のエレベータを移動目標としてP機能メッセージとM機能メッセージを発信。BとCはメッセージを受けとり、Aをリーダーと見なして追従。

フェイズ2：Aはブロック2を通過してブロック1に至る経路を選択。ブロック2の煙濃度評価が低い（濃度評価1）ため、ブロック2に移動。

フェイズ3：Aに続きBとCもブロック2に移動。Aはブロック1に濃度評価の高い煙（濃度評価2）があるため移動できない。

フェイズ4：Aはエレベータに至る他の経路を考えるが現在の経路の他にない。他の出口（階段）はブロック3にあるが、その方向にも濃度評価の高い煙があるため断念。Aは3サイクル以上ブロック2に滞在するが、M機能の鎮静効果のために、BとCはAに追従して移動せず。結局概念目標を変更して、新鮮な空気の得られる窓（ブロック5）を移動目標とした。ブロック5までの経路として、ブロック7を通る経路を選択。BとCにP機能メッセージとM機能メッセージを発信

した。ブロック7の煙濃度評価が低いため移動。

フェイズ5：Aに続いてBもブロック7に移動。

フェイズ6：Cもブロック7に移動。Aはブロック5の煙濃度評価が低いため、ブロック5に移動。

フェイズ7：Aが窓にはしご車を発見。BとCにP機能メッセージとM機能メッセージを発信した後、はしご車により脱出に成功。Bがブロック5に移動。

フェイズ8：Cがブロック5に移動。Aからのメッセージを受信したCがまずはしご車を発見し脱出に成功。Bも続いてはしご車を発見し脱出に成功。

### (3) 考察

モデルIIは、本シミュレーションを見る限り、実際のパーソントリップをうまく再現できていると言える。Aが避難の初期にリーダーシップを発揮し、BとCは最後までAをリーダーと見なして追従する様子がよくわかる。また、フェイズ4において移動できない状況での対応がよくわかるが、情報処理的アプローチをとらない従来のシミュレーションモデルでは移動しないという現象しかわからず、避難者が何を考えているかはわからない。モデルIIの有効性を示す例と言える。

問題点として、フェイズ8で先にブロック5に到達したBよりCの方が先にはしご車を発見している点がある。これは、Aがリーダーシップメッセージを発信した時期がBの移動途中であったため、モデルの基本サイクルの関係でBがこれを受信できなかったのに対し、Cは確認情報入手ステップにあったためこのメッセージを受信できたことによる。この点はモデルIIの構造上の問題であり、今後何らかの対応が必要と思われる。

本例は典型的なリーダーシップ関係を持つ避難事例である。様々な避難の報告では、未知の空間における避難者は本例のような追従行動をとることが多い。一方、避難空間を熟知している避難者は、リーダーの行動を比較的冷静に判断し、リーダーの行動が誤っていると思われる場合には、自己の知識に基づいた行動をとる。実際にはそのような避難事例に関するシミュレーションも行っており、本例と同程度の満足のゆく結果が得られている。モデルIIを用いたシミュレーションについては、次章で多様な条件の下でのシミュレーションを行うので、それらを参照のこと。

### 5. 6. 2 考察

モデルIIで扱っていない集合避難行動として次のようなものがある。

- ①合議による意思決定を考慮していない。
- ②援助行動あるいは協力行動を考慮していない。
- ③他者に対する強引な働きかけなどの群集雪崩を考慮していない。

①については、従来から社会心理学の研究テーマとされてきた。しかし合議の生起条件や合議の進行過程に関与する要因が十分に解明されていないため、合議過程に関する一般的なモデル化は困難と考え、本モデルでは考慮外とした。扱う状況を限定するなどの対策が必要であろう。

②については、リーダーシップ関係の枠組で把握する方法も考えられる。しかし援助要請過程および援助過程に関する研究がまだその緒についたばかりであり、基本的な過程について不明な点が多く[49]、今後の課題としたい。

③については、モデルⅡでは群集雪崩を、個人的な対応決定不能状況として扱っている。しかしその場合の行動として、他者に暴力を振うなどの積極的な行動をとることはせず、その場で留るだけである。実際には、暴力行為はしばしば生起する。このような心理については十分に解明されていないため、恐怖との関連を含めて、今後の課題としたい。

この他にも、モデルⅠにおける問題がそのまま本モデルにも当てはまる。

## 5. 7 結言

社会的相互作用を考慮した避難行動モデルを提案した。本モデルを用いて避難事例におけるパーソントリップの再現を試みたところ、満足できる結果を得られた。

本モデルは集合行動を個人の情報処理過程という側面からモデル化し分析することのできる新しい研究支援ツールとして有用であると思われる。様々な属性の避難者を設定することにより、様々な特徴を持つ避難者集団の避難過程を個人の情報処理過程という側面から分析することができる。また本モデルの知識を操作することにより得られる知見が災害心理学などにおける実験および調査に還元されることにより、本モデルがそれら諸科学に貢献しうるものと期待される。本モデルの知識表現はモジュラリティが高いため、モデルに仮説を組み込むことが容易であり、このような期待に十分に答えることができるものとする。ただし現段階では、Prologをまったく知らない心理学者が知識の自由な追加や変更を行えるまでにシステム環境が整備されていないので、今後はこの点の改良を行ってゆきたい。また、今後さらに知識を充実し、

より多くの場面に適用することで、モデルの妥当性をさらに高めてゆきたい。

## 第6章 閉所空間避難行動シミュレーション

### 6. 1 緒言

第4章および第5章において情報处理的アプローチによる避難行動シミュレーションモデルを提案した。そこでは単独避難行動モデル（モデルⅠ）と集合避難行動モデル（モデルⅡ）を説明し、その内的整合性および妥当性を検討した。その結果、これらのモデルは、内的に整合的で、十分に人間の避難行動を再現できることがわかった。本章ではそれらのモデルのうちモデルⅡを用いて、避難行動に関するいくつかの仮説を検証する[55]。それらの仮説は、避難におけるリーダーシップの効果に関するもので、実験室実験などである程度検証されてはいるがその範囲が限定されている避難行動特性である。

以下では、最初に検証対象である避難行動特性に関する仮説を提示する。次にそれらの仮説をモデルⅡによりシミュレートする。最後に、シミュレーション結果について考察する。

### 6. 2 仮説

本節では、避難行動におけるリーダーシップの効果に関する仮説のうち、もっとも基本的で、最近多くの側面から活発に実証が試みられるようになった2つの仮説を紹介する。

避難時のリーダーシップに関する研究の歴史は比較的新しい。従来より避難行動におけるリーダーシップの重要性は多くの研究者から一般論としては指摘されていた。しかし、適当な実験方法がなかったこともあって、実証的な確認は行われてこなかった[42]。三隅らは大韓航空機事故の調査[44]に基づき、リーダーシップが避難の成功に決定的な要因であるという仮説を立てた。三隅らはこの仮説を様々な避難状況において多方面から検証するために、Kelleyら[25]の実験枠組を参考にして多数の実験方法を工夫してきた[42]。それらの研究は、リーダーシップPM理論の枠組の下で、次のような仮説の検証を目的としている。

仮説1：リーダーが存在する避難の方がリーダー不在の避難に比べ避難が成功し



やすい。

仮説 2：避難時のリーダーシップとしては、PM型リーダーシップ類型がもっとも効果的で、以下P型、M型、pm型と続く。

ここで、仮説 2 において、PM型リーダーは、第 5 章で説明したように、課題遂行機能（P 機能）と集団維持機能（M 機能）の双方を合せ持つリーダーである。P 型および M 型はそれぞれ、P 機能あるいは M 機能の一方の機能が優勢なリーダーで、pm型は P 機能および M 機能を積極的に示さないリーダーである。

仮説 1 は避難におけるリーダーシップの役割に関する基本的な仮説である。これまで仮説 1 は、いくつかの被験者を用いた実験室実験により部分的に検証されてきた。例えば代表的な研究として釘原ら[31]の研究がある。釘原らは、実験状況として、複数の被験者が脱出ボタンを打叩することにより脱出口までの移動を模擬するような模擬避難状況を設定した。脱出ボタンを打叩すると脱出口までの距離が短くなるが、複数の被験者が同時にボタンを打叩すると距離は変化しない。これは出口での混雑を表現している。混雑の緩和は譲歩ボタンなどにより行われる。被験者は一定時間内に脱出することを求められ、もし脱出できなければ電気刺激が与えられると教示される（実験前に実際にサンプルショックが与えられる）。このような状況で、リーダーを設定した場合と設定しない場合との脱出成功率や混雑度を比較したところ、リーダーを設定した場合の方が避難成功率が高く、混雑度が低かった。このように、これまでの実験からは仮説 1 が支持されているが、常にリーダーシップが効果的であるのか、とくに効果的な条件があるのか、などに関しては明らかにされていない。

仮説 2 は、仮説 1 が検証されたとした上で、効果的なリーダーシップの内容について立てられた仮説である。仮説 2 は、一般的なリーダーシップ理論である PM 理論からの帰結として、避難におけるリーダーシップとして P 機能と M 機能の双方が必要であることを主張している。次に P 型リーダーシップが効果的であるとするのは、避難が典型的な短期的課題解決事態であることによる。このような事態で P 機能が M 機能より優位になることは、これまでのリーダーシップ研究で明らかにされている[40]。仮説 2 に関する代表的な研究として佐藤ら[69]の研究がある。佐藤らは釘原らと同様の実験条件下で同様の評価指標を用いて、PM型、P型、M型などのリーダーシップの効果を比較した（pm型はリーダーシップがない条件に等しいため除外された）。その結果、PM型、P型、M型の順で効果的であるという結果が得られた。また、釘原ら[30]はパソコン上の 3 次元グラフィックによる迷路脱出課題を用いてリーダーシ

ップ類型間の効果を比較しているが、そこでも佐藤らと同様の結果を得ている。

しかしこれらの研究では、実験室実験に関する根本的ないくつかの問題のために、仮説を十分に検証したとは言えない。例えば、実際の避難状況に近い形で実験することは、パラメータ操作の困難さや人道上の問題などの理由により、限界がある。とくに、どのような条件の下でどのような型のリーダーシップが自然発生するかに関するメカニズムが解明されていないため、自然発生的なリーダーシップの効果を実験的実験で検証することは困難である。

### 6. 3 シミュレーション

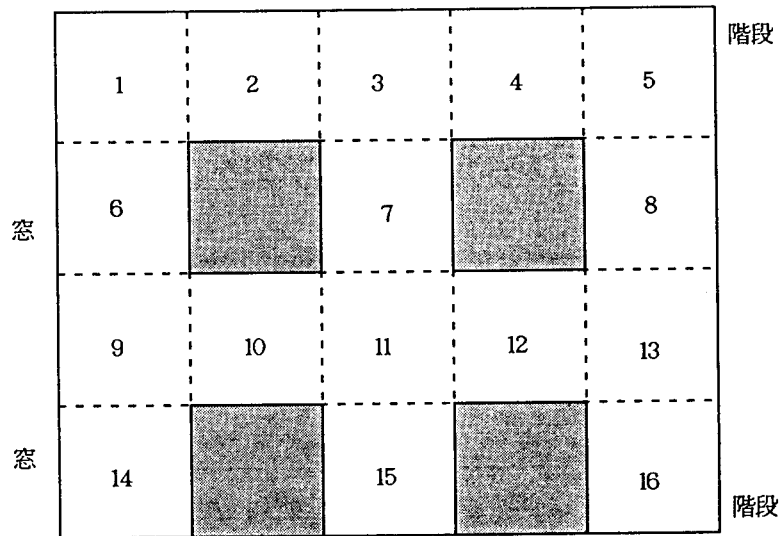
前節のような問題点を克服するためには、実験室実験以外の研究方法による研究を平行して進めることが重要であろう。そこでモデルⅡを用いたシミュレーションによりこれらを検証することを考える。モデルⅡを用いれば、パラメータの操作により多様な避難状況を比較的容易に作ることができることから、従来の研究に比べて、より現実に近い状況を作り出せると考えるからである。また、リーダーの自然発生メカニズムを仮説として持っており、また発生するリーダーシップの型を操作することができるため、自然発生的リーダーシップの効果を調べることができる。

本節では、最初に仮説を検証するために設定した避難状況について説明する。この避難状況は仮説検証のために本稿で行ったすべてのシミュレーションに共通する。シミュレーション間で異なるのは、個人特性のみである。個人特性を操作することによりリーダーシップ条件を変更している。次に、仮説1および仮説2を検証するための実験条件を説明し、シミュレーション結果を示す。最後に、シミュレーション結果に関する考察を行う。

#### 6. 3. 1 避難状況

シミュレーションのために設定した避難空間を図6. 1に示す。ブロックの大きさは等しく、5 m四方である。避難空間には4箇所の障害物がある。障害物の大きさはブロックと同じである。障害物のため、障害物をはさんで相対するブロックにいる避難者は、相手を互いに見ることができない。例えば、ブロック9にいる避難者からはブロック3の避難者が見えない。ブロック5とブロック16に避難に使用できる階段がある。またブロック6とブロック14には外気を吸える窓がある。

避難者はA, B, Cの3名である。避難者の初期位置はすべてブロック11である。



注1：数字はブロック名  
注2：塗りつぶし部分は障害物

図6.1 シミュレーション対象空間

各避難者の対象知識は次の通りである。避難者Aは出口としてブロック5およびブロック16の階段を知っている。また窓も2つとも知っている。避難者BおよびCは、ブロック5の階段および2つの窓を知っている。

火災状況を煙濃度の変化で表現する。煙は最初ブロック5から吹き出し、次第に窓のあるブロックの方向に拡大する。拡大速度については、実験条件間の差異を明確にするため、現実的な煙拡大速度よりも速い速度を設定した。

### 6. 3. 2 リーダーシップの有効性に関する仮説の検証

仮説1（リーダーが存在する避難の方がリーダー不在の避難の方が避難が成功しやすい）を検証するために3つのシミュレーション（実験1～3）を行った。それらの実験の概要は次の通りである。

実験1：リーダー不在で、恐怖耐性が低い避難者の避難行動。

実験2：リーダー不在で、恐怖耐性が高い避難者の避難行動。

実験3：PM型リーダーがいる場合の避難行動。

以下で各実験の条件の詳細とシミュレーション結果について説明する。

(1) 実験1

実験1は、リーダーがいない場合で、かつ避難者の恐怖耐性が低い場合の避難行動をシミュレートするものである。

[避難者特性]

- ① 3名の避難者とも避難誘導責任はない。
- ② 3名の避難者とも恐怖耐性が低い。
- ③ 3名の避難者とも積極性が低い。
- ④ 避難者間で煙などに遭遇した場合の対応を変えている。例えば、避難者Aは濃度評価2の煙に遭遇した場合は安全なブロックへの移動を考えるが、避難者B・Cはその時点での避難経路に固執する。

[シミュレーション]

図6.2は実験1における各避難者のパーソントリップを示したものである。また詳細な避難過程は付録4を参照のこと。

結果を次のように整理することができる。

- ① 全避難者が避難に失敗した。すなわち、耐久時間を越えて煙中に滞在したことにより、全員が死亡したと判断された。その時刻はシミュレーション開始から162秒であった。
- ② この間に避難者はまったくブロック間を移動していない。

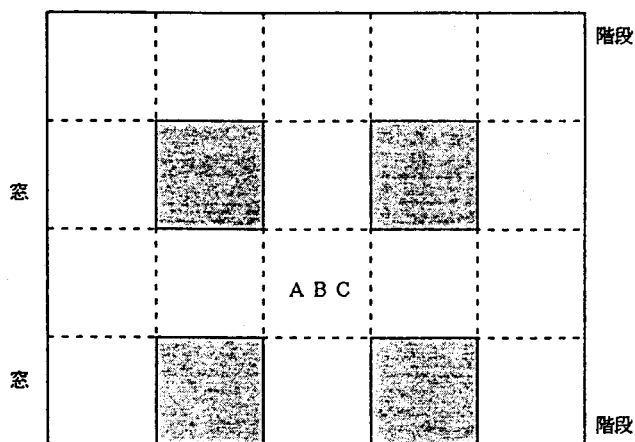


図6.2 実験1におけるパーソントリップ

③ 避難者は他者に依存して自発的な行動をとっていない。

(2) 実験2

実験2は、リーダーがいない場合で、かつ避難者の恐怖耐性が高い場合の避難行動をシミュレートするものである。

[避難者特性]

- ① 3名の避難者とも恐怖耐性が高い。
- ② 他の個人特性は実験1と同じ。

[シミュレーション]

図6.3は実験2における各避難者のパーソントリップを示したものである。また詳細な避難過程は付録5を参照のこと。

結果を次のように整理することができる。

- ① 全避難者とも階段からの避難には失敗したが、窓には到達した。窓に全員が到達したのはシミュレーション開始後126秒であった。
- ② 初期避難行動では各避難者は単独避難を試みたが、途中で出口に関する知識の少ない避難者Cが身近な避難者Bを一方的にリーダーと見なし、追従した。この場合、避難者Bにはリーダーになる意図はなく、この後もリーダーとしての行動は

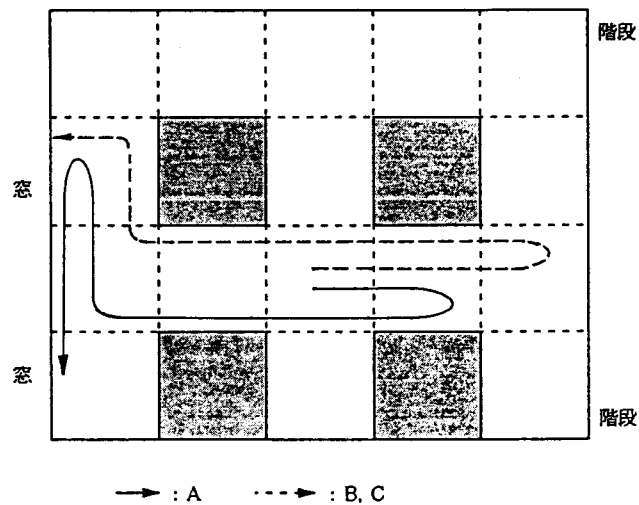


図6.3 実験2におけるパーソントリップ

とっていない。

- ③ 単独避難では、リーダーがいる場合と異なり、濃度評価 2 の煙を 1 度で突破できていない。またこのため、出口に近づく前に息苦しくなり、出口への接近をあきらめている。

### (3) 実験 3

実験 3 は、リーダーがいる場合の避難行動をシミュレートするものである。ここでは避難者 A が潜在的な自然発生的リーダーである。

#### [避難者特性]

- ① 恐怖耐性は A のみが高く、B と C は低い。
- ② 避難誘導責任は A のみにあり、B と C にはない。
- ③ A の潜在的リーダーシップ型は PM 型とする。

#### [シミュレーション]

図 6. 4 は実験 3 における各避難者のパーソントリップを示したものである。また詳細な避難過程は付録 6 を参照のこと。

結果を次のように整理することができる。

- ① 初期情緒安定メッセージにより A がリーダーと認知された。

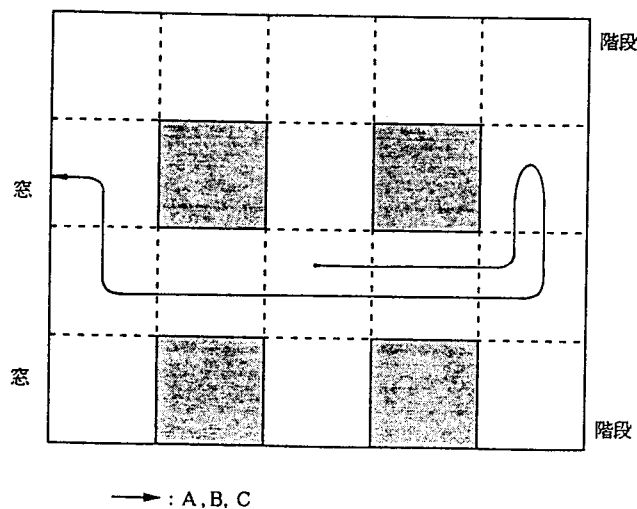


図6.4 実験3におけるパーソントリップ

② B と C は終始 A に追従した。

③ 階段からの避難には失敗したが、全員窓まで到達した。窓に全員が到達した時刻はシミュレーション開始後 136 秒であった。

#### (4) 考察

まず避難の結果を評価する。実験 1～3 のすべてにおいて、階段からの避難には失敗している。これは火災状況を厳しく設定したことによるものと考えられる。ただし実験 2 および実験 3 では窓に到達している。一般的には、窓に到達すれば救助される可能性が高いため、以下では階段からの避難に失敗しても窓に到達すれば避難成功と判断することにする。

次に、避難行動とリーダーシップの関係について整理する。まず、全員が窓に到達した時刻を比較すると、実験 3 より実験 2 の方が早い。これは①実験 3 では階段に固執して煙中に突入したのに対し、実験 2 では早期にあきらめたこと、②実験 3 ではリーダーがメッセージを発信するために時間をとられ、行動が遅れたこと、などの理由によると考えられる。このことから、リーダーが存在する場合に避難時間が長くなる可能性が示唆される。さらにリーダーが存在する場合には全員が同じ行動をとることから、煙中での対応に A が失敗すればフォロワーも失敗する危険性がある。一方実験 2 では、各避難者がそれぞれ単独避難行動をとっているため、このような危険性は少ない。これらの点から、避難成功のためにリーダーシップは効果的ではあるが、常に効果的であるとは限らないことがわかった。したがって、仮説 1 は部分的に支持されたと言える。

以下では個々の実験の重要点を指摘することにより、避難におけるリーダーシップの役割を明確にする。

実験 1 では、避難失敗の第 1 の原因は、避難者が相互に依存し合ったため、避難でもっとも重要な初期対応行動を迅速にとれなかったことにある。その後の行動から、他者依存状態では状況の変化に適切に対応できないことがわかる。例えば、息苦しいという直接生死にかかわる場合にさえ窓への移動を自発的に行っていない。このことから、他者依存的な避難者がいる場合には行動指針を与えるという意味で、リーダーシップは重要であると言える。

実験 2 では、A は階段に関する完全な知識を持っているにもかかわらず、煙に対してためらっているうちに息苦しくなり、階段へ到達できなかった。一方実験 3 では、A は同様の状況で濃度評価 2 の煙の中に突入している。これは A がリーダーである場

合には、自分にフォロワーがいるという自覚があることにより判断基準が変化したためである。また実験3では、Aが煙中に突入したのを見て、BとCも追従して煙中に突入している。BおよびCの単独避難行動時の判断基準では、Aと同様に、煙中への突入をためらう設定になっている。このように、リーダーがいる場合、あるいは自分がリーダーである場合には、単独行動の場合とは異なる判断基準が採用されるという意味で、リーダーシップは重要であると言える。

実験3では、Aが安定したリーダーシップを発揮している。ブロック8において煙中で対応を考えているときにもフォロワーは離反せず、最後まで追従している。このような情緒の安定性は初期情緒安定メッセージの効果による。避難の初期に発したメッセージが避難を通じて正の効果を持つという意味で、このようなM機能の重要性がわかる。

### 6. 3. 3 効果的なリーダーシップ類型に関する仮説の検証

仮説2（避難時のリーダーシップとしては、PM型リーダーシップ類型がもっとも効果的で、以下P型、M型、pm型と続く）を検証するために3つのシミュレーション（実験4～6）を行った。PM型リーダーの効果について実験3で調べたので、ここでは次のような3種類の実験を行った。

実験4：P型リーダーがいる場合の避難行動。

実験5：M型リーダーがいる場合の避難行動。

実験6：pm型リーダーがいる場合の避難行動。

これと実験3を比較することにより、4つの型のリーダーシップの効果を比較する。

以下で各実験の条件の詳細とシミュレーション結果について説明する。

#### (1) 実験4

実験4は、P型リーダーがいる場合の避難行動をシミュレートするものである。ここでは避難者Aが潜在的な自然発生的リーダーである。

#### [避難者特性]

① Aの潜在的リーダーシップ型をP型とする以外は実験3と同じ。

#### [シミュレーション]



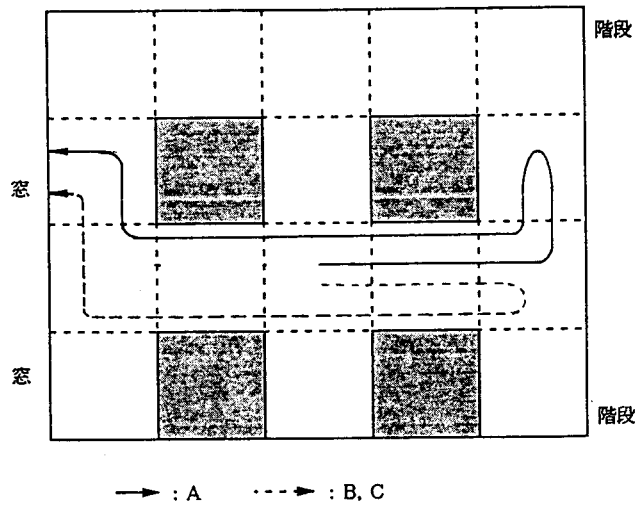


図6.5 実験4におけるパーソントリップ

図6. 5は実験4における各避難者のパーソントリップを示したものである。また詳細な避難過程は付録7を参照のこと。

結果を次のように整理することができる。

- ① 3名とも階段からの避難には失敗している。しかし窓へは到達している。
- ② 避難の初期段階で、当然リーダーになるべきAがリーダーと見なされなかった。代わりに、BとCが相互に相手をリーダーと見なした。いったんAがリーダーとされるが、すぐに離反している。その後も同様のリーダー見直しが行われた。

## (2) 実験5

実験5は、M型リーダーがいる場合の避難行動をシミュレートするものである。ここでは避難者Aが潜在的な自然発生的リーダーである。

### [避難者特性]

- ① Aの潜在的リーダーシップ型をM型とする以外は実験3と同じ。

### [シミュレーション]

図6. 6は実験5における各避難者のパーソントリップを示したものである。また詳細な避難過程は付録8を参照のこと。

結果を次のように整理することができる。

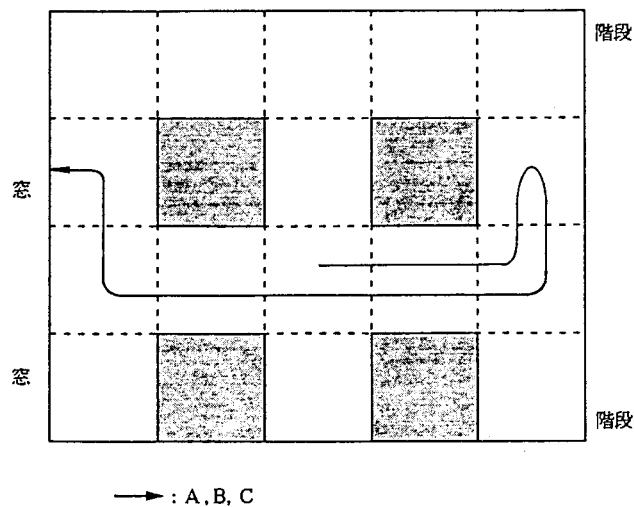


図6.6 実験5におけるパーソントリップ

- ① 初期情緒安定メッセージにより A がリーダーと認知された。
- ② パースントリップは実験 3 の P M 型リーダー条件の場合と同じである。
- ③ B と C は終始 A に追従した。
- ④ 3 名とも階段からの避難には失敗したが、窓まで到達した。窓に全員が到達した時刻はシミュレーション開始後 130 秒であった。

### (3) 実験 6

実験 6 は、p m 型リーダーがいる場合の避難行動をシミュレートするものである。ここでは避難者 A が潜在的な自然発生的リーダーである。

#### [避難者特性]

- ① A の潜在的リーダーシップ型を p m 型とする以外は実験 3 と同じ。

#### [シミュレーション]

図 6. 7 は実験 6 における各避難者のパーソントリップを示したものである。また詳細な避難過程は付録 9 を参照のこと。

結果を次のように整理することができる。

- ① 3 名とも階段からの避難には失敗したが、窓まで到達した。窓に全員が到達した時刻はシミュレーション開始後 130 秒であった。

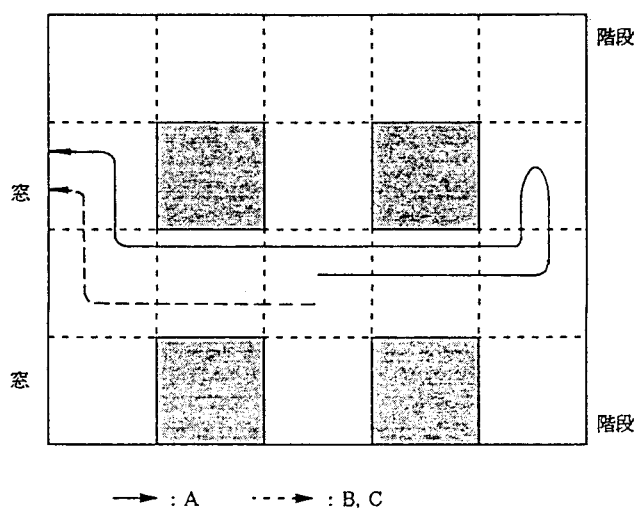


図6.7 実験6におけるパーソントリップ

- ② 避難初期において、CはAをリーダーと見なしたが、BはCをリーダーと見なした。その後BおよびCにおいて何度かリーダーの見直しが行われた。
- ③ BおよびCは階段への接近を試みていない。

(4) 考察

まず実験3を含めた4つの実験結果をまとめると以下のようなになる。

- ① 最終的に窓に到達するまでに要した時間を避難者ごとに比較すると、

避難者 A :  $p m < P < M < P M$

避難者 B :  $p m = M < P < P M$

避難者 C :  $p m < M < P < P M$

であった。なお、上記の  $P M$  は実験3、 $P$  は実験4、 $M$  は実験5、 $p m$  は実験6を示す。

- ②  $P M$  条件でAが最初に移動目標とした出口 (= ブロック5の階段) にもっとも近づいた時刻を比較すると、

避難者 A :  $p m < P < M < P M$

避難者 B :  $M < P M$

#### 避難者 C : $M < P M$

であった。なお、上記の  $P M$  は実験 3、 $P$  は実験 4、 $M$  は実験 5、 $p m$  は実験 6 を示す。また避難者 B および C については、 $P$  (実験 4) および  $p m$  (実験 6) では窓に接近しなかった。

窓への到達に要した時間は、 $p m$  (実験 6) でもっとも短く、 $P M$  (実験 3) でもっとも長い。この結果から、 $P M$  型リーダーの場合は避難に時間を要することが示唆される。このような結果が出た理由としては、 $P M$  ではリーダーがフォロワーのことを考慮する必要があったということが考えられる。すなわち、 $P M$  では、リーダーである A が行動をおこすたびにフォロワーに  $P$  機能メッセージあるいは  $M$  機能メッセージを発信しなければならないのに対し、 $p m$  ではこのような考慮をする必要がなかった。また、 $p m$  で B および C が空間知識を持っていたことも大きな要因と考えられる。B および C が地理不案内者での場合には、 $p m$  における避難時間はより長くなるものと考えられる。

$P$  (実験 4) および  $p m$  (実験 6) では、B および C は階段に接近していない。このことは、他の実験において B および C が A に追従して接近しているのと好対照である。この理由としては、 $P$  および  $p m$  ではリーダーから初期情緒安定メッセージを得られなかったためにリーダーを決定できず、避難の初期に適切な対応をとれなかったことが考えられる。これと関連して、 $P$  および  $p m$  においては、避難中にリーダーの見直しが何度も行われ、実際にリーダーが変更された場合もある。このことはフォロワーの不安が高かったことを示す。

以上のことを整理すると、次のようになる。 $P$  および  $p m$  では、避難者が知識を持っている場合には避難時間が短い場合もあるが、避難者の不安感が強いため、混乱の発生する可能性がある。一方  $P M$  および  $M$  では、リーダーが適切な判断さえ行えば、混乱なく避難できる。避難が混乱なく行われるという避難の安定性は、状況が頻繁に変化する避難においては重要な要因であると考えられるため、総合的には  $P M$  型リーダーあるいは  $M$  型リーダーが効果的であると言える。なお、 $P M$  型リーダーと  $M$  型リーダーの比較については、本実験からは明確な結論を引き出せなかったが、様々な実験室実験からは  $P M$  型リーダーの優位が示唆されている。

#### 6. 4 考察

前節で仮説1および仮説2の検証を行った。その結果、仮説1については、部分的に支持された。すなわち、一般的に避難においてリーダーシップは効果的であるが、常に効果的であるとは言えないことがわかった。仮説2については、各避難者が単独で避難する場合の方が避難に要する時間が短い場合もあるが、避難の安定性という点からはPM型リーダーおよびM型リーダーが効果的であることがわかった。

このように本シミュレーションからは、リーダーシップが効果的である場合とそうでない場合があることが示唆された。従来の実験室実験では、前述のように、リーダーシップの有効性、とくにPM型リーダーシップの有効性が指摘されてきた。すなわち避難時間の点でも、避難の安定性の点でも、PM型リーダーシップが優れていると言われている。本シミュレーションの結果はそのような主張に疑問を投じるものと言える。しかし、本シミュレーションおよび実験室実験の双方に問題点がいくつか存在するため、現段階ではいずれが正しいかを結論できない。本シミュレーションおよび実験室実験の問題点として以下のようなものがある。

#### [シミュレーションの問題点]

- ①モデルⅡでは、恐怖がある場合あるいは混乱している場合の移動速度の変化を考慮していない。このような場合には移動速度が遅くなると考えられるので、pm型リーダーの下では、避難時間はもっと遅くなるのではないか。
- ②シミュレーションの対象とした避難空間が単純すぎたのではないか。より複雑な避難空間ではPM型リーダーシップの有効性が顕著になるかもしれない。
- ③避難者数が少なかったのではないか。より多人数の場合には、単独避難行動をとれば大きく混乱する可能性がある。

#### [実験室実験の問題点]

- ①従来の実験室実験は模擬的被災状況をパネル上あるいは計算機端末上に作り出すもので、実際の避難行動を伴うものではない。したがって実験条件間で避難時間を正確に比較できない。
- ②自然発生的なリーダーに関する研究がほとんどない。従来の研究では、リーダーとなる避難者を予め設定している。したがって、避難者が自然発生的リーダーになるために要する時間などについて、本シミュレーションの結果と比較できない。

これらの原因の当否については、今後異なる条件下でモデルⅡによるシミュレーションを行ったり、新たな実験室実験などを行うことによって検討する必要がある。本研究では、これらを今後の課題として、問題提起をするに留める。

## 6. 5 結言

本章では、モデルⅡを用いて、従来の避難行動研究で問題とされてきた仮説の検証を試みた。それらの仮説は避難時のリーダーシップの効果に関するものである。ひとつは、避難時にリーダーシップが有効であること、もうひとつはリーダーシップの中でもPM型リーダーシップがもっとも有効であるというものである。シミュレーションの結果、リーダーシップは一般的には有効と考えられるが、そうでない場合もありうること、および避難の安定性に関してはPM型リーダーシップおよびM型リーダーシップは有効であるが、避難時間についてはこれ以外のリーダーシップの方が短い場合もありうること、などがわかった。このような知見は、従来の避難行動シミュレータからは得られなかったものであり、本モデルの研究支援ツールとしての有効性を示すものと考ええる。今後本章で提起した問題を実験室実験などにより、より詳細に検討することが重要であると考ええる。

## 第7章 広域避難拒否理由の推定

### 7. 1 緒言

本章では、広域避難時に問題となっている避難拒否者の拒否理由を推定するという課題を計算機により支援する方法を提案する。

第1章で整理したように、広域避難において、避難拒否者の存在が円滑な避難を妨げている。避難拒否者を説得するためには、拒否理由を明確にする必要がある。本研究の目的は、知識システムという枠組を用いて、広域避難における避難拒否者の拒否理由を短時間で推定することである。なお、第2章で述べたように、個々の避難拒否者の拒否理由を推定することは困難なため、地域を単位し、対象地域の避難拒否者に共通して存在すると考えられる要因のみを推定する。

以下では、最初に避難拒否理由を推定する際の留意点を整理する。それを踏まえて、そのような留意点を本方式でどのように解決したかについて説明する。次に、本方式を計算機上に実現した避難拒否理由推定システムM O S E Sの構成について説明し、最後にM O S E Sによって実際の避難拒否例の事後推定を行い、本方式の有用性を検討する。

### 7. 2 広域避難拒否理由推定の問題点

本節では、避難拒否理由を推定する際の留意点を整理する。

#### 7. 2. 1 使用できる知識に関する制約

第2章で述べたように、現在避難拒否に関する研究は、主に災害心理学などの分野で行われている。したがって、避難拒否理由の推定にはこれらの分野で得られた知識を使用することになる。しかし、これらの知識は、災害研究の歴史が浅いこともあって、定性的かつ断片的に表現されたものがほとんどである。また抽象度が一定でない。数理モデルを構築する試みもあるが[39]、現時点では不十分な点が多い。避難拒否理由推定システムでは、このように制限された知識を有効的に使用するための枠組が必要である。

### 7. 2. 2 データの入手方法に関する制約

推定が現実と一致したものであるためには、現実の災害場面に関するデータ（災害データ）に基づいて推定する必要がある。例えば、推定対象地域の地理的条件、災害の種類、災害の進展状況、などが災害データとして考えられる。このような災害データは、推定結果の信頼性を向上させるために、できるだけ具体的かつ客観的なものであることが望ましい。しかし、緊急事態下での災害データの入手はきわめて困難である。現場からの連絡がとだえて現状が把握できないこともしばしば生起する。一方、地理的条件や人口など、平時から蓄積しておける災害データもある。このような災害データの特徴を考慮し、災害データの信頼性を向上させるための配慮が必要である。

### 7. 2. 3 推定結果の提示方法に関する制約

広域避難では、避難拒否理由が複数存在することが多い（例えば、外出中の家族の安否も気になるし、家にも執着がある）。したがって、避難拒否理由推定システムは、考えられるすべての避難拒否理由を抽出する必要がある。一方、緊急事態下の推定であるため、推定過程や推定結果の提示を効率的に行う必要がある。

## 7. 3 広域避難拒否理由推定システムの枠組

本章では、前節で述べた問題点を解決するための解決策を提案する。

### 7. 3. 1 推定ルールによる推定

本方式では現段階で心理学などの分野で得られている定性的知識を用いて推定を行う。定性的知識を、理由とそれにより生起する状況のペアから成るルール形式で表現する。このようなルールを推定ルールと呼ぶ。例えば「緊急事態の報知にサイレンだけが使用されると住民には何の情報かわからない」という知識は、「サイレンしか使用しない」という理由と、それから生起する「住民には何の情報かわからない」という状況のペアで表現できる。

### 7. 3. 2 推定ルールの構造

推定ルールは数が多く、相互に関連づけられていないため、全体を把握しにくい。また、推定ルールの抽象度は一定でなく、抽象度の高い推定ルールについては直接災害データにより検討することができない。そこで、推定ルールを特定の枠組の下に分



類し、さらに各分類内で抽象度に応じて階層化することを考える。

推定ルールの分類枠組として、個人の意思決定過程のモデル[37, 38]を用いた。これは、

- ①地域単位の避難行動を考える場合でもその基礎となるのは個人の意思決定過程であると考えたこと、
- ②個人の意思決定過程に沿って考えれば避難命令と避難拒否との関係を把握しやすくなると考えたこと、
- ③推定ルールの多くは個人の認知・行動特性に関するものであること、

による。このような分類は容易であり、自然であると思われる。

具体的には、避難命令の受け取りから避難行動に至る個人の意思決定過程を

- ①情報の確認
- ②情報の信頼度評価
- ③脅威の認知
- ④被害の予想
- ⑤避難の効果予想
- ⑥避難実行の可能性の評価
- ⑦避難に要するコストの評価

から成ると考える。避難命令を受け取り、他の情報によって確認した結果、脅威が迫り大きな被害を予想した場合、避難が最善策かどうかを吟味し、最善策であればその実行可能性とコストを評価する。これらの過程の一箇所でも避難に対して懐疑的な評価が下されると、避難行動は生起しないと考えられる。その場合の避難拒否理由は、それぞれ

- ①避難命令が正確に伝達されていない
- ②避難命令が信用されていない
- ③脅威が感じられていない
- ④予想される被害規模が過小評価されている
- ⑤避難が効果的と考えられていない

- ⑥ 避難の実行には障害がある
- ⑦ 避難に要する労力が大きい

である。このような避難拒否理由の下に、推定ルールを分類した。

分類後、推定ルールがすべての避難拒否理由を網羅しているかどうかをチェックするために、トップダウン的なチェックを行った。まず意思決定過程に影響すると思われる要因を抽出し、推定ルールがそれらの影響のすべてに言及しているかどうかを調べることにより、欠落している推定ルールを探し出すことにした。考慮した要因は

- ① 地域特性
- ② 脅威特性
- ③ 社会過程特性

の3種類である[67]（表7. 1）。

地域特性は、被災時における地域社会の防災力のことである。地域特性としては、

- ① 物理的・精神的準備
- ② 社会関係
- ③ 社会的風土

を考慮した。脅威特性は災害因の特性とその受けとめ方に関する特性である。脅威特性としては、

- ① 災害因変数
- ② 状況変数

を考慮した。社会過程特性は、地域特性を背景とし、脅威特性に規定されて現われる、地域社会の災害因への対応過程である。社会過程特性としては、

- ① コミュニケーション
- ② 調整
- ③ 遂行されるタスク

表7.1 避難行動に影響する要因

要因名	項目
地域特性	物理的・精神的準備 <ul style="list-style-type: none"> <li>・防災設備・機器</li> <li>・災害関係情報量</li> <li>・防災計画</li> </ul> 社会関係 <ul style="list-style-type: none"> <li>・防災関連諸機関の連携体制</li> </ul> 風土 <ul style="list-style-type: none"> <li>・災害文化の形成</li> <li>・政治的状况</li> <li>・経済的状况</li> <li>・地理的特性</li> </ul>
脅威特性	災害因 <ul style="list-style-type: none"> <li>・災害の規模</li> <li>・事前の予測可能性</li> <li>・災害の出現頻度</li> <li>・進行速度</li> <li>・警戒期間</li> </ul> 状況変数 <ul style="list-style-type: none"> <li>・発生時期（季節，気候，時間帯）</li> <li>・交通機関の状態</li> </ul>
社会過程	コミュニケーション <ul style="list-style-type: none"> <li>・情報の伝達手段</li> <li>・情報内容</li> </ul> 調整 <ul style="list-style-type: none"> <li>・防災関連諸機関の連携状況</li> </ul> タスク <ul style="list-style-type: none"> <li>・避難過程で遂行される一連の対策</li> </ul>

を考慮した。

これらの要因は意思決定過程の各段階に以下のように影響すると考えられる。

① 情報の確認

- ・ 地域特性（物理的・精神的準備）
- ・ 脅威特性（状況変数）
- ・ 社会過程特性（コミュニケーション）

② 情報の信頼度評価

- ・ 地域特性（物理的・精神的準備、社会関係）
- ・ 社会過程特性（調整、コミュニケーション）

### ③脅威の認知

- ・地域特性（物理的・精神的準備、風土）
- ・脅威特性（災害因・状況変数）
- ・社会過程特性（コミュニケーション）

### ④被害の予想

- ・地域特性（物理的・精神的準備、風土）
- ・脅威特性（災害因）

### ⑤避難の効果予想

- ・地域特性（風土）

### ⑥避難実行の可能性の評価

- ・地域特性（風土）
- ・脅威特性（災害因・状況変数）
- ・社会過程特性（タスク）

### ⑦避難に要するコストの評価

- ・地域特性（風土）

チェックの結果、①情報の確認における状況変数や⑥避難実行の可能性の評価における地域特性などに不十分点があった。そのため、過去の避難拒否実例や常識などから妥当と思われる知識を抽出し、推定ルールに使用した。

チェック後、推定ルールを抽象度にしたがって階層化した。その際、推定ルールの階層がそのまま避難拒否理由の階層である点を明確にするために、下位階層が上位階層を生起させる理由となるように表現した（表7. 2）。推定は、このような推定ルールの構造にしたがい、最下位の推定ルールが災害データにより直接検討されるという形式で行われる。

以上の手続きにより、推定ルールを理解しやすい構造にすることができた。意思決定過程のどの段階で避難拒否が決定されたのかという概略的な推定ができるだけでも対策が立てやすい上に、将来推定ルールの修正・変更が必要になった場合の対応も容易である。現段階では災害心理学の知見は十分に蓄積されておらず、推定ルールは今後の研究の進展により改善されてゆくべきものとする。

### 7. 3. 3 推定ルール間の関係

同じ状況を生起させる同一レベルの理由間の関係は、相互に排他的な関係と非排他

表7. 2 避難拒否理由推定ルールの階層

<ul style="list-style-type: none"> <li>▽避難命令が正確に伝達されていない             <ul style="list-style-type: none"> <li>●何の情報か不明</li> <li>●サイレンだけが使用された (O)</li> <li>●情報に接した人が少なかった</li> <li>▽伝達メディアに問題があった                 <ul style="list-style-type: none"> <li>●すべての家庭に情報が伝わるようなメディアでなかった</li> <li>▽使用された伝達メディアの普及率が低い (E)</li> <li>▽巡回による避難の指示を行っていない (O)</li> <li>●伝達メディアが正常に機能しなかった</li> <li>▽街頭メディアが正常に機能しなかった                     <ul style="list-style-type: none"> <li>▽故障している (R)</li> <li>▽音量が小さい (R)</li> <li>▽音質が悪い (R)</li> <li>▽機能を妨害する要因があった (R)</li> <li>▽街頭メディア数が少なすぎる (E)</li> </ul> </li> <li>▽マスメディアが正常に機能しなかった                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●停電になっている (R)</li> </ul> </li> <li>▽巡回が正常に機能しなかった                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●巡回が戸別訪問でなかった (O)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽避難命令の伝達時期が不適当                 <ul style="list-style-type: none"> <li>●忙しい時間帯であった (E)</li> <li>●就寝中であった (E)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽避難命令が信用されていない             <ul style="list-style-type: none"> <li>▽緊急事態を告げる放送だと思われていない</li> <li>▽避難命令の内容に不備がある                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽災害因の規模が不明 (S)</li> <li>▽予想される被害規模が不明 (S)</li> <li>▽災害の到来予想時刻が不明 (O)</li> <li>▽避難命令の内容に誤りがある (R)</li> </ul> </li> <li>▽緊急事態と認識させるような伝達方法でなかった                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽サイレンを使用していない (O)</li> <li>▽街頭メディアを使用していない (O)</li> <li>▽臨時ニュースで放送していない (O)</li> </ul> </li> <li>▽避難命令に権威がない                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽避難の責任の所在があいまい</li> <li>▽避難命令者名が不明 (O)</li> <li>▽誰の指示に従えばよいか不明 (O)</li> <li>▽情報源に権威がない                     <ul style="list-style-type: none"> <li>▽気象庁の発言がない (O)</li> <li>▽大学教授の発言がない (O)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽避難命令の内容を検討できない                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽伝達メディアに問題があった                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●伝達メディアの種類が少なく情報のチェックが困難 (E)</li> <li>●伝達メディアごとに内容が異なる (R)</li> <li>●専門用語が使用されている (S)</li> </ul> </li> <li>▽避難命令が誤報であったことがある (O)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽脅威が感じられていない             <ul style="list-style-type: none"> <li>▽危険がさし迫っていると感じられていない</li> <li>▽避難まで余裕があると思われる                 <ul style="list-style-type: none"> <li>●災害情報から時間に関する判断ができない</li> <li>▽災害の到来予想時刻が不明 (O)</li> <li>▽災害因の現在位置が不明 (O)</li> <li>●災害情報から時間的余裕があると判断された (E)</li> </ul> </li> <li>▽災害の徴候がない (O)</li> <li>▽地理的に安全であると思われる                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽災害因からの距離が遠い (E)</li> <li>▽災害因より高い位置にある (O)</li> <li>▽風上に位置する (O)</li> </ul> </li> <li>▽被災確率が不明</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●避難命令が被災確率について述べていない (O)</li> <li>●避難命令中の被災確率の表現があいまいである (S)</li> <li>▽防災対策が十分であり、安全だと思われている             <ul style="list-style-type: none"> <li>▽最近当該災害に対して施した対策がよく知られている</li> <li>▽関係機関が住民への広報活動を行った (O)</li> <li>▽防災施設を容易に見ることができる (O)</li> <li>▽当該災害に対する対策が十分だと思われる (S)</li> </ul> </li> <li>▽予想される被害規模が過小評価されている</li> <li>▽災害の助長要因に関する警報の程度が弱い (O)</li> <li>▽災害が正しく認識されていない             <ul style="list-style-type: none"> <li>●災害に関する知識がない</li> <li>●初めて経験する災害である (O)</li> <li>●過去の被災経験が忘れられている (E)</li> <li>●最近同じ災害を経験している (E) &amp; 被害が小さかった (E)</li> </ul> </li> <li>▽避難が効果的と考えられていない             <ul style="list-style-type: none"> <li>●避難に関する知識がない</li> <li>●避難の経験がない (O)</li> <li>●避難の経験を忘れた (E)</li> <li>●避難に対して懐疑的である</li> <li>▽避難せずに留まって助かった経験が地域にある (O)</li> <li>▽避難で失敗した経験が地域にある (O)</li> <li>▽避難で失敗した地域が近くにある (O)</li> </ul> </li> <li>▽避難の実行には障害がある             <ul style="list-style-type: none"> <li>▽外出中の家族が心配                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽外出中の家族がまだ帰宅していない                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●外出時間帯 (E) &amp; 交通機関が麻痺している (R)</li> </ul> </li> <li>▽外出中の家族と連絡がとれない                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●電話が使用できない</li> <li>●電話が故障している (R)</li> <li>●電話が過負荷の状態である (R)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽移動手段がない                 <ul style="list-style-type: none"> <li>●道路が使用できない (R)</li> </ul> </li> <li>▽避難目標を設定できない                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽避難目標に関する十分な情報がない                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●避難目標の指定がない (O)</li> <li>●避難目標が何度か変更された (O)</li> <li>●複数の避難目標がある (O)</li> </ul> </li> <li>▽避難目標までのルートに関する十分な知識がない                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●避難目標の位置をよく知らない                         <ul style="list-style-type: none"> <li>●新興住宅地 (E)</li> </ul> </li> <li>●避難目標までの道順をよく知らない                         <ul style="list-style-type: none"> <li>●新興住宅地 (E)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽避難するだけの時間的余裕がない (E)</li> <li>▽執着する対象がある                 <ul style="list-style-type: none"> <li>▽家具に執着がある                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●新興住宅地 (E) &amp; 小さな家が多い (E)</li> </ul> </li> <li>▽家に執着がある                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●新興住宅地 (E) &amp; 家主が多い (E)</li> <li>●新興住宅地 (E) &amp; 小さな家が多い (E)</li> </ul> </li> <li>▽商品に執着がある                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●商店街 (E) &amp; 商店主が多い (E)</li> </ul> </li> <li>▽土地に対する愛着がある                     <ul style="list-style-type: none"> <li>●古くからの土地 (E) &amp; 老人人口が多い (E)</li> <li>●農業地域 (E) &amp; 地主が多い (E)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽農繁期である                 <ul style="list-style-type: none"> <li>●農業地域 (E) &amp; 作物の収穫期 (E)</li> </ul> </li> <li>▽観光客の多い季節である                 <ul style="list-style-type: none"> <li>●観光地 (E) &amp; 観光シーズン (E)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▽避難に要する労力が大きい             <ul style="list-style-type: none"> <li>●避難目標が遠すぎる (E)</li> </ul> </li> </ul>
---	--

\* Oは客観的データ, Rは探索データ, Sは主観的データ, Eは変換データにより診断されることを示す。

的な関係に分類できる。表7. 2の各理由の前の▽印はその理由と他の同レベルの理由とが非排他的な関係にあることを示し、・印は排他的な関係にあることを示す。例えば「避難の経験がない」と「避難で失敗した経験がある」は、地域を推定単位とする場合には同時に成立しない（排他的）。したがってこの場合は、それらのうちのひとつでも避難拒否理由候補（以下候補と略する）として採用されれば他の理由の検討は行わなくてよい。一方、「家に執着がある」と「家具に執着がある」は同時に成立しうる（非排他的）。この場合は非排他的関係にあるすべての理由を検討しなければならない。

排他的関係と非排他的関係を区別することにより、無駄な理由の検討を避けることができる。

### 7. 3. 4 入手方法に基づくデータの分類

災害データを、推定時の入手可能性と客観性という観点から分類し、入手方法を区別した。災害データを

- ①客観的データ
- ②探索データ
- ③主観的データ
- ④変換データ

に分類した（表7. 3）。

客観的データは、疑いようがないか、あるいは経験的に真と言えるデータで、推定以前あるいは推定時に入手可能なデータである。対象地域における被災経験や避難日

表7.3 客観性と推定時収集可能性による災害データの分類

収集可能性	データの客観性	
	客観的	主観的
可 能 不可能／困難	客観的データ 探索データ	変換データ 主観的データ

標までの距離などがこれに相当する。推定以前に入手できるものについてはデータベースに記録しておき、それ以外は推定時に計算機端末より入力する。

探索データは、本来客観的データであるが、緊急時であるために確認が困難なデータである。例えば、伝達メディアごとに情報の内容が異なっていたかどうかの確認は、即時にはできないのが普通である。探索データはすべて推定時に計算機端末から入力するものとし、ユーザが推測するか、判断を保留しておく。

主観的データは、「新しい」や「多くの」などの主観的な判断を伴うデータで、客観的データからは推測できず、推定時には収集が困難なデータである。例えば、避難命令の内容に対する住民の評価は、事後のアンケート調査などからしかわからない。従って、ユーザが推測するか、判断を保留しておく。

変換データは、主観的な判断を伴うが客観的データから推測できるデータである。例えば、避難指定地域までの距離が住民に遠いと感じられているかどうかは、事後のアンケート調査でしか確認できない。しかし、これまでの研究や事例からある程度高い信頼度で客観的データから推測することができる。客観的データから変換データを推測する基準例を表7.4に示す。基準はひとつのデータに対してひとつとは限らないが、表7.4では代表的な基準をひとつだけ示した。

なお、表7.2の最下位の理由についているO、R、S、Eという記号は、各推定

表7.4 変換データを判断するための基準例

変換データ	基準
メディアの普及率が低い	普及率が全世帯の25%以下
街頭メディア数が少なすぎる	可住地面積1km 当たり2つ以下[76]
危険までの距離的余裕	火災の場合、避難未経験者では、火から100m以上[76]
被災経験を忘れた	10年以上過去の経験*
外出時間帯	平日の場合、朝から夕方まで[2]
新興住宅地	建設後5年未満の住宅地*
家主が多い	持ち家を持つ人の割合が75%以上
避難目標が遠すぎる	2km 以上、あるいは徒歩30分以上の距離[83]

注) 基準の後の[]内の数字は基準を支持する参考文献番号、\*は事例からの判断、その他は暫定的な基準

ルールがそれぞれ客観的データ、探索データ、主観的データ、変換データにより検討されることを示している。

### 7. 3. 5 推定方法

本方式は推定ルールを網羅的に検討する。

推論方式には、前向き推論と後向き推論がある。本方式では、推定時に災害データがそろっていないことが多いため、後向き推論を採用した[18]。例えば推定ルールPの下に推定ルールQ1、Q2があり、それぞれの下に最下位推定ルールR1、R2がある場合((7-1)式)、

$$P \quad \left[ \begin{array}{l} Q1 - R1 \\ Q2 - R2 \end{array} \right. \quad (7-1)$$

Pを検討するためにQ1やQ2を検討し、それらを検討するためにさらに最下位のR1やR2を検討する。下位の推定ルールが候補になった場合には、ひとつ上位の推定ルールも候補となる。例えばR1が候補となればQ1も候補となる。もしQ1とQ2が相互に排他的であれば、Q2を検討することなくPを候補とする。もしQ1とQ2が非排他的であれば、Q1の採用後引き続きQ2、R2の検討を行う。R2、Q2が棄却された場合でもすでにR1、Q1が候補となっているため、Pも候補とする。

最下位の推定ルールの検討は、推定ルールを支持する災害データの存在を確認すればよい。例えば、「電話が過負荷の状態にある」ことは、電話が過負荷であるという災害データがあれば候補として採用され、電話の負荷は小さいという災害データがあれば棄却される。関連する災害データがない場合には計算機端末からの入力が必要される。

データの輸入は、緊急時における入力を単純にするため、基本的には選択肢から選択する(図7.1)。探索データや主観的データを入力する場合には、判断を保留すること(図7.1の3番の選択肢)がある。その場合は、その推定ルールの棄却を積極的に支持する証拠がないため、候補として採用する。

推定ルールには、特定の災害などにしか適用されないものがある。例えば、対象地域が風下にあるかどうかは、放射能などには関係があっても洪水には関係がない。このような推定ルールについては、最下位推定ルールの中に適用条件を明記しておく。

なお、災害データのうち常に必要とされるものについては、推定の開始時に収集し



ている。それらは

- ① 対象地域名
- ② 災害の種類
- ③ 災害の前兆
- ④ 季節
- ⑤ 年月日
- ⑥ 曜日
- ⑦ 時間帯
- ⑧ 天候

> 電話に何か異常がありますか？

- 1 故障している可能性がある
- 2 過負荷の可能性がある
- 3 異常はない
- 4 わからない

図7.1 推定中のMOSESからの質問例

である。災害の種類は火災、津波、洪水、原子炉の放射能もれ、地滑り、地震、高潮を考慮した。災害の前兆は地震、台風、梅雨などを考慮した。季節は春夏秋冬、曜日は平日、土曜日、休日に分類した。時間帯は2～3時間を単位として、便宜的に早朝、午前、正午、午後、夕方、夜、深夜に分類した。天候は晴れ、雨、曇り、雪などを考慮した。

推定結果の表示は、候補の意思決定過程における位置をわかりやすくするため、図7.2のような表形式で表現した。特定の候補をさらに詳しく知りたい場合には、その番号を指定すると、下位の候補を示す同様の表が表示される。

番号	該当原因	原因内容
1		避難命令が正確に伝達されていない
2	●	避難命令が信用されていない
3	●	脅威が感じられていない
4	●	避難が効果的と考えられていない
5	●	予想される被害規模が過小評価されている
6	●	避難の実行に障害がある
7		避難に要する労力が大きい

図7.2 推定結果の画面表示例

## 7. 4 広域避難拒否理由推定システムの構成

以上で効果的な広域避難拒否理由の推定の実現性を明らかにした。本節では、これを計算機上で実現できることを示すため、本方式を実現したシステムM O S E Sについて説明する。本システムの性質上、推定ルールの理解・発展や災害データの変更が容易であるようシステムを構築した。

### 7. 4. 1 構成

M O S E Sは図7. 3のような構成を持つ。知識ベースは推定ルールをプロダクションルールで表現した知識ユニットと、災害データをプロパティリストで表現したデータユニットから成る。推論ユニットは、知識ユニットとデータユニットの内容を比較しながら推定を実行する部分である。説明ユニットは、推論の結果をユーザの要求に従ってインターフェイスユニットを通じて提示する。インターフェイスユニットは、ユーザとの間でデータの入出力を計算機端末を通じて行う部分である。

### 7. 4. 2 知識の表現形式

次に、推定ルールおよび災害データの表現形式について説明する。本システムは定性的な知識の処理を主とするため、計算機言語には Prolog を用いている[63]。M O S E Sの推論アルゴリズムは Prolog の推論機構を利用することで容易に実現できる

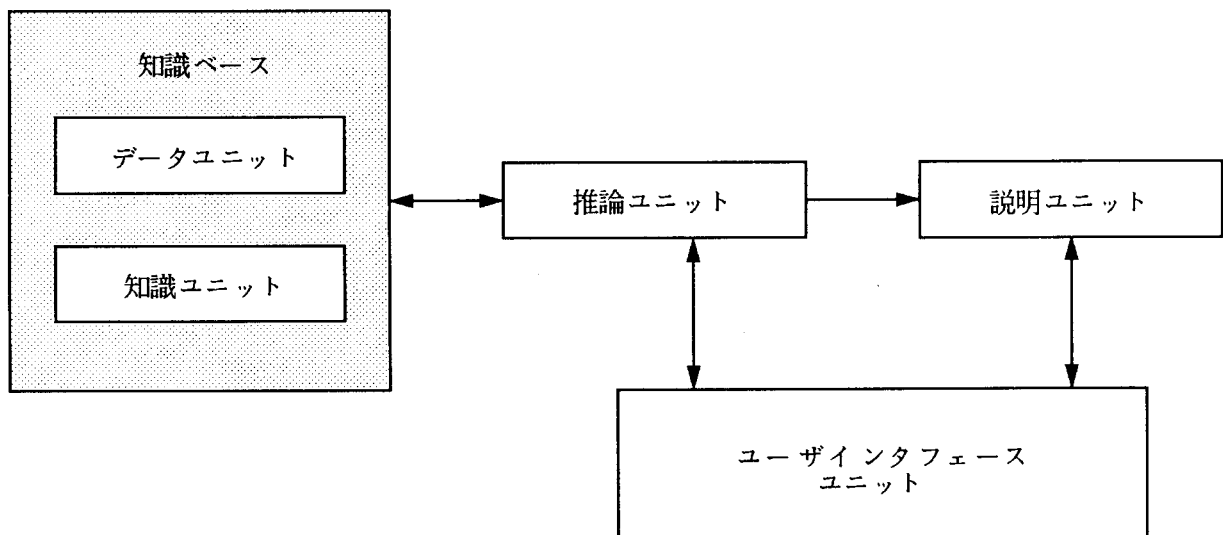


図7.3 システムの構成

ため、すっきりした表現形式が可能である。

(1) 推定ルールの表現形式

「状況 P を生起させる理由は Q である」という推定ルールを (7-2) 式のようなプロダクション・ルールで表現した。状況 P を生起させる理由が n 個 (Q1 ~ Qn) あり、それらの関係が排他的であれば

$$\begin{aligned} P &: - \text{exc}(Q_1). \\ &: \\ P &: - \text{exc}(Q_n). \end{aligned} \tag{7-2}$$

と表わし、非排他的であれば

$$\begin{aligned} P &: - \text{or}(Q_1). \\ &: \\ P &: - \text{or}(Q_n). \end{aligned} \tag{7-3}$$

と表わす。例えば「災害に関する知識がない」という状況を生起させる排他的理由（「初めて経験する災害である」、「過去の被災経験が忘れられている」）は

```
ignorant_of_disaster :- exc( first_experience ).
ignorant_of_disaster :- exc( forget_experience ).
```

と表現し、「予想される被害規模が過小評価されている」という状況を生起させる非排他的理由（「警報の程度が弱い」、「災害が正しく認識されていない」）は、

```
underestimated_damage :- or( weak_alarm ).
underestimated_damage :- or( mistaken_disaster ).
```

と表現される。

また Qn が m 個の連言的理由 Qn1 … Qnm から成る場合は (7-4) 式あるいは (7-5) 式のように表現する。

P : - exc(( Q n1、 …、 Q nm )). (7-4)

P : - or(( Q n1、 …、 Q nm )). (7-5)

このような表現形式により、表7. 2の推定ルールをそのままのイメージで表現でき理解しやすいとともに、かつ推定ルールの変更も容易である。

## (2) 災害データの表現形式

災害データは、避難担当者自身が容易に作成・変更できることが望ましい。例えば、特定の地域の人口は地域に独自のものであり、しかも変動する。MOSESではすべての災害データをプロパティリスト形式で表現し、データの記述を容易にした。

災害データは、表現形式により属性データ、メンバーデータ、距離データに分類できる。

### [属性データ]

様々な対象の属性を表現するデータで、(7-6)式のようなプロパティリストで表現した。

fact( 対象名、属性名、属性値 ). (7-6)

属性値は名詞、数値、形容詞、「はい／いいえ」、「未知」をとる。例えば、推定の対象地域名がa地域であることは

fact( area, name, area(a) ).

のように表わす。特別な場合として、過去に被災した災害に関するデータを(7-7)式のように表現した。

fact( 災害の種類、災害名、被災年、  
被災地域、対象名、属性名、属性値 ). (7-7)

例えば、1970年に起った津波AによりB地域に死者が10人出たことは、

fact( tsunami, tsunami(a), 1970, area(b),  
damage, death, 10 ).

と表現する。

なお、避難対象地域として 500m 四方程度のメッシュを一応想定しているが、厳格な基準ではない。

[メンバーデータ]

対象地域内の各種施設などに関するデータをメンバーデータと呼び、(7-8)式のように表現した。

```
fact( 対象名、属性名、リスト ). (7-8)
```

リストは特定の対象が所有する属性の具体例の集合である。例えば、a 地域の所有する街頭広報メディアがサイレンと広報車である場合、

```
fact( area(a), street_media, [ siren, broadcasting_car ] ).
```

と表現する。

[距離データ]

特定の2対象間の距離を表現したデータを距離データと呼び、(7-9)式のように表現した。

```
fact( 対象 A、対象 B、A B間の距離 ). (7-9)
```

地域間の距離は地域の中心からの直線距離とし、距離の単位はメートルである。例えば、

```
fact( area(a), area(b), 3000 ).
```

は a 地域と b 海の距離が 3000m であることを表わす。

## 7. 5 推定例

M O S E S の有効性を調べるために、3種類の避難拒否実例を事後推定した。事後推定なので M O S E S が実際に使用される場面での有効性を必ずしも保障しないが、

ある程度の指標にはなると思われる。

推定対象は、浦河沖地震（津波）[79]、長崎市水害（洪水）[80]、酒田大火（火災）[68]をとりあげた。これらの災害では被災後住民への避難拒否（酒田大火の場合は遅延）理由に関するアンケート調査が実施されているため、推定結果と比較することができる。具体的な推定対象地域として、浦河沖地震では北海道日高郡浦河町東栄地区、長崎市水害では長崎県長崎市古川町、酒田大火では秋田県酒田市二番町を選んだ。

浦河沖地震は3月21日（土）に発生した。天候は雨。規模は震度6の烈震であったが、死者や火災はなかった。津波警報は沿岸8地区に対して11時45分、避難命令は正午に発令された。メディアは広報車、各地区2名ずつの町役場職員の指示、ラジオ、テレビ、などである。浦河町は地震多発地帯で、1981年の有感地震は32回、1965年以降だけでも20回震度4以上の地震を経験しているが、津波の経験はない。避難場所である町の中央の高台に避難したのは50人程度であった。

長崎市水害は7月23日（金）に3日間続く豪雨で中島川と銅座川が氾濫し発生した。短時間の降雨量としては我国観測史上最大級であった。大雨洪水警報は被災10日前から4回発令されていたが、被害はなかった。当日も同警報は発令されていた。避難命令は午後7時40分頃に発令された。伝達率は7%。メディアは広報車、ラジオ、人づてなど。避難命令発令時点では、被災地区はすでに1m程度浸水していた。なお、長崎市近郊の大型の豪雨災害は昭和32年以来である。

酒田大火は1976年10月29日（金）午後5時40分頃に発生した映画館の火災が原因である。最大瞬間風速30mという突風にあおられて、被害は焼失戸数1017戸、被災面積22.5ha。二番町は火元から400mほど離れているが、警察や消防の広報、サイレンなどにより6時までには半数以上の人が火災に気づいていた。避難誘導にもかかわらず、9時を過ぎても半数程度の避難率で、二番町より火元から遠い地区の方が早かった。他の地区が古くからの商店街であるのに対し、二番町は比較的新しい住宅街である。延焼速度は1時間100m程度であった。酒田市は80年前に大火を経験している。

アンケート調査は市町村単位で行われており、対象地区ごとの避難拒否理由は調査されていない。そこで推定には市町村全体の回答を参考にした。また、データを端末から入力する場合は、被災当時の状況を十分に考慮し、確実に情報が入手できたと思われる場合を除いて保留とした。

表7. 5は、被災後のアンケート調査結果とMOSESによる推定結果とを要約して比較したものである。アンケート調査結果は個人の自由回答を頻度順に示し、推定結果は表7. 2の順序に示した。全体としては推定結果とアンケート調査結果はよく

表7.5 アンケート調査結果と推定結果の比較

災害事例	アンケート調査結果	推定結果
<p>浦河沖地震 (津波)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海岸線が単調で安全</li> <li>・ 今まで津波は来たことがない</li> <li>・ 避難命令を聞いていない</li> <li>・ 過去の津波警報のときも安全であった</li> <li>・ 来ても大したことはない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地震の揺れの割には被害が小さかった</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難命令が正確に伝達されていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 停電</li> <li>・ 巡回が戸別訪問でなかった</li> </ul> </li> <li>・ 避難命令が信用されていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予想災害規模が不明</li> <li>・ サイレンを使用していない</li> <li>・ 街頭メディアを使用していない</li> </ul> </li> <li>・ 脅威が感じられていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 被災確率が述べられていない</li> <li>・ 防災対策が十分だと思われる</li> </ul> </li> <li>・ 予想災害規模が過小評価されている               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 初めて経験する災害である</li> </ul> </li> <li>・ 避難が効果的と考えられていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難の経験がない</li> <li>・ 避難せず助かった経験がある</li> </ul> </li> <li>・ 避難の実行に障害がある               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土地に対する愛着がある</li> </ul> </li> </ul>
<p>長崎市水害 (洪水)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 道路が使用できない</li> <li>・ これ以上増水しないだろう</li> <li>・ どこにいても危険</li> <li>・ 外出中の家族が帰宅していない</li> <li>・ 老人や子供がいた</li> <li>・ 避難命令を聞いていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難命令が正確に伝達されていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 巡回による指示をしていない</li> <li>・ 街頭メディアの音が小さい</li> <li>・ 街頭メディアへの妨害要因(雨音)</li> <li>・ 街頭メディアが少なすぎる</li> </ul> </li> <li>・ 停電               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 忙しい時間帯であった</li> </ul> </li> <li>・ 避難命令が信用されていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予想被害規模が不明</li> <li>・ サイレンを使用していない</li> <li>・ 誰の指示に従えばよいか不明</li> </ul> </li> <li>・ 脅威が感じられていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防災対策が十分だと思われる</li> </ul> </li> <li>・ 予想被害規模が過小評価されている               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 被災経験が忘れられている</li> </ul> </li> <li>・ 避難が効果的と考えられていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難の経験がない</li> </ul> </li> <li>・ 避難の実行に障害がある               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外出中の家族が帰宅していない</li> <li>・ 外出中の家族と連絡がとれない</li> <li>・ 道路が使用できない</li> <li>・ 避難目標の指定がない</li> <li>・ 土地に対する愛着がある</li> </ul> </li> </ul>
<p>酒田大火 (火災)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ここまで火災は来ない</li> <li>・ 大火の経験がない</li> <li>・ 大火の経験を忘れた</li> <li>・ 火元から遠い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難命令が正確に伝達されていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 巡回が戸別訪問でなかった</li> </ul> </li> <li>・ 避難命令が信用されていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 街頭メディアを使用していない</li> </ul> </li> <li>・ 脅威が感じられていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 災害因からの距離が遠い</li> </ul> </li> <li>・ 予想被害規模が過小評価されている               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 被災経験が忘れられている</li> </ul> </li> <li>・ 避難が効果的と考えられていない               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難の経験がない</li> </ul> </li> <li>・ 避難の実行に障害がある               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難目標の位置をよく知らない</li> <li>・ 避難目標への道順をよく知らない</li> <li>・ 家具や家に愛着がある</li> </ul> </li> </ul>

対応しており、M O S E S の有効性が証明されたと言える。特に長崎市水害の場合は、被災後に避難命令が出され、被災予防を目的とするM O S E S の本来の推定対象ではないが、推定結果は良好である。一方、海岸線の単調さなど、予想しなかった要因がアンケート調査結果にあり、今後考慮する必要性を示唆する。また、推定結果の方がアンケート調査結果より内容が詳細であるが、これは①一般にアンケート調査では主要な拒否理由しか回答されない傾向にある、②災害データの入力で保留とした項目があり、拒否理由の十分な絞り込みができなかった、などの理由による。推定内容については、十分に納得のゆくものであり、推定ルールの妥当性は支持されたと言える。災害事例間で推定結果を比較してみると、各事例に特徴的な拒否理由（例えば、浦河沖地震の場合の「避難せずに助かった経験がある」）と事例間で共通する拒否理由（例えば「避難の経験がない」）がある。このことは、多くの避難拒否に共通して存在する拒否理由のあることを示唆し、今後の避難拒否対策の参考になると思われる。なお、各例の推定に要した時間は入力などの時間を含めても1分以内であり、実際に使用する場合にも問題はないと思われる。

今後の課題として、重要な推定ルールを重点的に検討することが考えられる。例えば、上記3例では避難命令の伝達状況や被災経験などが共通した原因となっており、重要な理由であることを示唆する。

## 7. 6 結言

知識システムの枠組に基づく広域避難拒否理由推定方式を提案した。推定のための推定ルールを推論システムと分離し構造化したことにより、推定ルールに変更がある場合でもシステム全体への影響を少なくすることができる。推論に要する時間も問題になるものではないと思われる。また、避難拒否実例を事後推定した結果も良好であった。このように本システムは緊急時において避難担当者の負担を軽減するのに有効であると思われる。しかし推定ルールの内容および推定・説明機能には不十分点が残っており、また災害データの収集方法にも改善すべき点が多い。今後災害心理学や知識システム技術の進歩を踏まえて改善して行きたい。また対応策の提案機能についても今後考慮したい。



## 第 8 章 結論

本論文は、近年急激な都市化の進展により問題となっている災害時の避難誘導支援に関して考察を行ったものである。

都市におけるビルや地下街などの閉所空間における避難対策立案や避難行動特性研究のための有効な方法として避難行動シミュレーションがある。しかし従来のシミュレーションモデルの多くは、人間の避難行動を流体や粒子の運動としてモデル化しており、人間の避難行動の背後にある意思決定過程についてはほとんど考慮していない。そこで本論文では、避難者の意思決定過程を考慮したモデル化手法の構築を課題として取り上げた。

また広域避難では、避難命令発令時の避難拒否者の存在が問題となっている。円滑な広域避難にとって、避難拒否者の拒否理由を短時間で把握し、説得することが必要である。しかしこれらのすべてを人手に頼っている現状では担当者の負担が大きく、しかもこの分野の専門家は育っていない。そこで本論文では、広域避難拒否者の拒否理由の推定を計算機により支援する手法を課題として取り上げた。

これらの考察の結果、次の結論を得た。

### [第 3 章]

避難行動モデルの構築や広域避難拒否理由を推定する方法を確立するためには、人間の避難行動特性に関する心理学的・社会学的知識が基礎となる。そこで第 3 章では、避難者の避難行動特性を、心理学や社会学などの分野でこれまで得られている知識によって明らかにした。その結果、恐怖などの感情に動機づけられた合目的的行動をとる存在としての避難者像を明らかにした。

### [第 4 章]

閉所空間単独避難行動のモデル化手法として、避難者の内部情報処理過程を記号処理的にモデル化する情報处理的アプローチの適用を提案した。

(1) 避難行動特性を情報処理過程のモデルとして構築した。その結果、避難行動が情報入手、状況定義、対応決定、確認情報入手、状況再定義、対応再決定、対応実行という 7 つの情報処理ステップのサイクルで表現できることを明らかにした。各ステップは複数の認知・行動方略から成る。各認知・行動方略は、第 3 章で整理した閉所空間避難行動特性をルール形式で表現したものである。

(2) 認知・行動方略の選択基準のひとつに恐怖度を考慮することにより、恐怖による対応変化を扱えた。

(3) 単独避難行動モデルを計算機上に実現し、避難実例を再現したところ、本手法の有効性が明らかになった。

#### [第5章]

第4章で提案した単独避難行動モデルを集合避難行動モデルに適用した。

(1) リーダーの発生・消滅条件、フォロワーの追従条件などを明らかにした。それらの結果を避難者間の相互作用モデルとしてモデル化した。

(2) 集合避難行動モデルを計算機上に実現し、避難実例を再現したところ、本手法の有効性が明らかになった。

#### [第6章]

本手法が心理学などにおける有効な研究支援ツールとなりうることを示すため、第5章で提案した集合避難行動モデルによるシミュレーションを通じて、避難時リーダーシップの有効性および最適なリーダーシップ型に関して心理学で議論されている仮説を検討した。

(1) 避難におけるリーダーシップの有効性が確認された。

(2) 従来最適なリーダーシップ型とされてきたPM型リーダー（課題遂行機能および情緒安定機能の両方に優れる）は、避難時間だけを見れば必ずしも最適ではない点や、フォロワーのリーダーへの盲従という問題があることが明らかになった。

#### [第7章]

広域避難における避難拒否者の拒否理由を推定する手法を研究するため、第3章で整理した広域避難行動特性に関する知識を拒否理由の推定ルールとして知識ベース化し、地理情報や災害情報などの災害データを用いて推定する手法を提案した。

(1) 避難拒否に至る意思決定過程を、避難命令の入手、避難命令の信用、脅威の認知、被害規模の予想、避難の効果の評価、避難の実行可能性、避難に要するコストの評価、というステップで表現できることを明らかにした。また、推定ルールをこれらのステップに分類するとともに、抽象度により階層化したことにより、拒否者が各自の意思決定のどの段階で避難拒否を決定したのかを容易に同定でき、対策を立てやすくした。

(2) 推定ルール、災害データ、および推論機構を分離したことにより、推定ルールや災害データに変更がある場合にも、その影響を最小限におさえることができた。

(3) 本手法により避難拒否実例における拒否理由を事後推定し、調査結果と比較し

たところ、短時間で的確な推定を行えることが明らかになった。

今後に残された課題としては、以下の項目があげられる。

- (1) 避難行動モデルには避難者間の相互作用としてリーダーシップ関係を考慮しているが、実際の避難においては、この他に合議、援助、攻撃などの相互作用が存在する。避難者間の相互作用が避難の成功／失敗を左右する場合も多い。本モデルをさらに有効なモデルとするには、このような相互作用を避難行動モデルに取り込む必要がある。避難者間の相互作用については心理学などで研究されているが、相互作用の生起条件を特定できるまでには至っておらず、十分とは言えない。この理由としては、相互作用に影響する要因が多様なことや、実験室実験が困難なことなどが考えられる。しかし仮説的な被災シナリオに対する被験者の反応を調査するためのシナリオ法などの新たな研究手法が開発されてきており、研究に進展が期待される。今後は得られた研究成果を逐次モデルに取り込んでゆくことは当然として、本モデル上に相互作用に関するモデルを仮説として構築し、その結果を実験や調査などにフィードバックすることが重要と考える。
- (2) 提案した避難行動モデル化手法を心理学などの有効な研究支援ツールとするには、知識の追加や変更を、プログラム経験の少ない研究者が自由に行えるための支援環境を提供することが必要である。このような支援環境を提供することで、研究者が自己の仮説をモデルに組み込んで計算機シミュレーションにより仮説を検討することが容易になる。このような支援環境を提供するためには、使いやすいマンマシンインタフェースや自然言語で表現された仮説をプログラムの形式に変換する方法などを明らかにする必要がある。
- (3) 広域避難における避難拒否理由の推定の精度は、基礎となる災害データを推定時に収集できるかどうかにかかっている。しかし実際には、電話回線の混雑や交通の混乱などのために、推定に必要な災害データを収集できないことが考えられる。本手法は災害データを収集の可能性に応じて分類し、収集の困難な災害データについては収集のより容易な災害データから推定するという対策をとっているが、災害データの収集方法については触れていない。推定の精度を向上させるためには、避難対象地域でのデータ収集方法や収集したデータを避難責任者に送るための確実な方法を開発することなどが必要となる。

## 謝 辞

神戸大学自然科学研究科システム科学専攻 平井一正教授には、本研究をまとめるにあたり御懇篤な御指導を賜った。

神戸大学自然科学研究科システム科学専攻 前川禎男教授、依田博教授、同研究科環境科学専攻 室崎益輝教授には、本研究をまとめる過程において御討論と御審査をいただいた。

また、筆者の所属していた三菱電機株式会社中央研究所前所長 馬場準一博士（現在同社顧問）、同所システム研究部前部長 上村勝彦博士（現在東京電力株式会社システム研究所主席研究員）、同部前次長 武田捷一博士（現在同社情報電子研究所システムソフトウェア開発部部長）、同部第3グループ前グループマネージャ 福田豊生博士（現在筆者が所属する同社産業システム研究所社会システム開発グループ第1グループマネージャ）には、本研究を行う機会を与えていただくとともに、有益な御教示と深い御配慮を賜った。また、同部第3グループ前主事 荒屋真二博士（現在福岡工業大学通信工学科教授）には、本研究の過程において有益な御指導をいただいた。さらに、三菱電機株式会社産業システム研究所社会システム開発グループおよび中央研究所システム基礎研究部の方々には、暖かい御援助と御協力をいただいた。

以上の方々に対し心より感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 安倍：ある巨大ビルの火災と避難、予防時報、130号、日本損害保険協会(1982).
- 2) 安倍：災害心理学序説、サイエンス社、東京(1982).
- 3) 安倍：パニックの人間科学～防災と安全の危機管理、ブレーン出版、東京(1986).
- 4) 安倍、秋元：都市災害の科学、有斐閣、東京(1982).
- 5) 秋元・太田：都市と災害、学文社、東京(1980).
- 6) Anderson, J.R. : The Architecture of Cognition, Harvard University Press, Cambridge(1983).
- 7) 安西・佐伯・無藤：L I S Pで学ぶ認知心理学(1) 学習、東京大学出版会、東京(1981).
- 8) 安西・佐伯・難波：L I S Pで学ぶ認知心理学(2) 問題解決、東京大学出版会、東京(1982).
- 9) 荒屋・仲谷：火災時避難行動の情報処理モデル、システムと制御、第29巻, 第1号, pp.37-43(1985).
- 10) Carbonell, Jr. J.G. : Automated Ideological Reasoning, Cognitive Science, 2, pp.27-51(1978).
- 11) Chalmet, L. G., Francis, R. L. and Saunders, P. B. : Network Models for Building Evacuation, Management Science, Vol.28, No.1, pp.86-105(1982).
- 12) Fodor, J.A. : The Modularity of Mind - An Essay on Faculty Psychology, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts(1983).
- 13) Gardner, H. : The Mind's New Science - A History of the Cognitive Revolution, Basic Books Inc., New York(1985) (佐伯・海保訳、認知革命－知の科学の誕生と展開、産業図書、東京(1987)).
- 14) 羽子岡・北原・日方：防災情報システム、三菱電機技報、Vol.60, No.2, pp.7-10(1986).
- 15) 平井・樽井：パニック時の群集の行動とそのシミュレーション、システムと制御、第21巻、第6号、pp.331-338(1977).
- 16) 広井：災害情報と社会過程、東京大学新聞研究所(編)、災害と情報、pp.3-62(1986).
- 17) 広瀬：生存のための災害学、新曜社、東京(1984).

- 18) 市川：制御からみた知識工学、計測と制御、第22巻、第9号、pp.749-754(1983).
- 19) 池田：災害時における意思決定、広瀬弘忠(編)、災害への社会科学的アプローチ、新曜社、東京(1981).
- 20) 池田：緊急時の情報処理、認知科学選書9、東京大学出版会、東京(1986).
- 21) 今田：恐怖と不安、感情心理学、第3巻、誠信書房、東京(1975).
- 22) 位寄：避難行動モデルに関する研究－火災状況の認識と心理状態を考慮したモデルの提案、日本建築学会論文報告集、第325号、pp.125-132(1983).
- 23) 神：煙の中での心理的動揺度について、日本火災学会論文集、第30巻、第1号、pp.1-6(1980).
- 24) 加藤・森脇：火災時における避難開始までの人間行動、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.709-710(1977).
- 25) Kelley, H. H. : Collective Behavior in a Simulated Panic Situation, Journal of Experimental Social Psychology, 1, pp.20-54(1965).
- 26) 小林(重)：知識工学、人工知能シリーズ10、昭晃堂、東京(1986).
- 27) 小林(正)・堀内：オフィスビルにおける火災時の人間行動の分析－その1. 行動の分類、日本建築学会論文報告集、第280号、pp.137-142(1979).
- 28) 釘原：危機状況からの脱出行動における同調性と固着性に巻する実験的研究、心理学研究、第56巻、第1号、pp.29-35(1985).
- 29) 釘原・三隅・佐藤：模擬被災状況における避難行動力学に関する実験的研究(I)、実験社会心理学研究、第20巻、第1号、pp.55-66(1980).
- 30) 釘原・三隅：緊急恐怖状況下の迷路脱出に及ぼすリーダーシップ条件効果に関する研究、心理学研究、第55巻、第4号、pp.214-220(1984).
- 31) 釘原・三隅・佐藤・重岡：模擬被災状況における避難行動力学に関する実験的研究(II)－緊急事態のリーダーシップの研究、実験社会心理学研究、第21巻、第1号、pp.159-166(1982).
- 32) Kuipers, B. : Modeling Spatial Knowledge, Cognitive Science, Vol.2, No.2, pp.129-254(1978).
- 33) Leventhal, H. : A Perceptual-Motor Theory of Emotion, In Berkowitz, L. (ed.), Advances in Experimental Social Psychology, Vol.17, Academic Press, New York(1984).
- 34) Lindsay, R.K., Buchanan, B.G., Feigenbaum, E.A., and Lederberg, J. : Applications of Artificial Intelligence for Organic Chemistry: The DENDRAL Proj-

- ect, McGraw-Hill Book Company, New York(1980).
- 35) 松田：時間感覚、新版心理学辞典、pp.292-295、平凡社、東京(1981).
  - 36) McDermott, D. and Davis, E. : Planning Route through Uncertain Territory, Artificial Intelligence, 22. pp.109-156(1984).
  - 37) 三上：災害警報の社会過程、東京大学新聞研究所（編）、災害と人間行動、pp.73-107(1982).
  - 38) 三上：災害警報への対応行動、東京大学新聞研究所（編）、災害と情報、pp.62-100(1986).
  - 39) Mileti, D. S. and Beck, E. M. : Communication in crisis explaining evacuation symbolically, Communication Research, Vol.2, No.1, pp.24-49(1975).
  - 40) 三隅：リーダーシップ行動の科学、有斐閣、東京(1978).
  - 41) 三隅：自然災害と行動科学、年報社会心理学、第24号、pp.3-12(1983).
  - 42) 三隅：自然災害と行動科学（Ⅱ）－方法論的視座と研究状況、被災状況における避難行動の予測と制御に関する研究、文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果(1984).
  - 43) 三隅、佐古：模擬的緊急被災状況における誘導者のリーダーシップ行動が被誘導者の追従行動に及ぼす効果に関する実験的研究、実験社会心理学、第22巻、第1号、pp.49-60(1982).
  - 44) 三隅・佐古：大韓航空機火災時（1980年11月19日）における避難誘導行動の実態調査、年報社会心理学、第24号、pp.65-78(1983).
  - 45) 宮谷：時間評価の基礎となる2つの処理系、心理学研究、第53巻、第1号、pp.9-15(1982).
  - 46) 水野：災害と情報、広瀬（編）災害への社会科学的アプローチ、新曜社、pp.83-109(1981).
  - 47) 室崎：病院における避難誘導を考える、月刊消防、8(5)、pp.1-9(1986).
  - 48) 中島：Prolog 入門1、bit、14-5, pp.67-73(1982).
  - 49) 中村：災害時の援助行動、広瀬（編）：災害への社会科学的アプローチ、新曜社、東京(1981).
  - 50) 仲谷：知識ベースに基づく広域避難診断システム、情報処理学会論文誌、第28巻、第8号、pp.884-893(1987).
  - 51) 仲谷・荒屋：情報处理的アプローチによる避難行動シミュレーション、計測自動制御学会論文集、第20巻、第3号、pp.47-54(1984).

- 52) 仲谷・荒屋： ESCAPE-II： 情報处理的アプローチを用いた避難行動シミュレーション・モデル、情報処理学会論文誌、第26巻、第4号、pp.609-616(1985).
- 53) 仲谷、荒屋： 社会的相互作用を考慮した避難行動の情報处理的シミュレーションモデル、情報処理学会論文誌、第27巻、第4号、pp.471-479(1986).
- 54) Nakatani, Y. and Araya S. : The Information Processing Model of Collective Escape Behavior, Proceedings of JSST Conference on Recent Advances in Simulation of Complex Systems, pp.305-310(1986).
- 55) 仲谷： 情報处理的避難行動シミュレーションによるリーダーシップの効果の検討、日本心理学会第53回大会発表論文集(1989掲載予定).
- 56) Neisser, U. : Cognition and Reality, Freeman, New York(1976) (古崎・村瀬訳、認知の構図、サイエンス社、東京、1978).
- 57) Newell, A. and Simon, H.A. : The logic Theory Machine: A Complex Information Processing System, IRE Transactions on Information Theory, IT-2(3), pp.61-79(1956).
- 58) Newell, A. and Simon, H.A. : Human Problem Solving, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey(1972).
- 59) Norman, D.A. : Twelve Issues for Cognitive Science, Cognitive Science, Vol.4, No.1, pp.1-32(1980).
- 60) Norman, D.A. : Memory and Attention, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York(1976) (富田他(訳)： 記憶の科学、紀伊国屋書店、東京(1982)).
- 61) 大阪都市環境会議編： 危険都市の証言、関西市民書房、大阪(1981).
- 62) Paul, J. L. and Jones, B. K. : Building Evacuation: Research Methods and Case Studies, in Fires and Human Behavior, Canter, D.(Ed.), John Wiley and Sons, New York(1980).
- 63) Pereira, F. : C-Prolog User's Manual Version 1.5, Nihon DEC & Edinburgh Computer Aided Architectural Design, Edinburgh(1984).
- 64) Pereira, L.M. et al. : User's Guide to DEC-system-10 Prolog, University of Edinburgh, Edinburgh(1978).
- 65) Perry, J.B., Jr. and Pugh, M.D. : Collective Behavior: Response to Social Stress, West Publishing Co., Minnesota(1978) (三上(訳)： 集合行動論、東京創元社、東京(1983)).
- 66) Quarantelli, E.L. : Panic Behavior: Some Empirical Observations, Ohio State



- University Disaster Research Center(1977).
- 67) Quarantelli, E. L. : Evacuation Behavior and Problems: Findings and Implications from the Research Literature, Columbus, Ohio: Disaster Research Center(1980).
- 68) 災害行動科学研究会：酒田大火における避難行動の心理学的分析、東京(1978).
- 69) 佐藤・釘原・三隅・重岡：模擬被災状況における避難行動力学に関する実験的研究(Ⅲ) - P M式リーダーシップ条件の効果、実験社会心理学研究、第24巻、第1号、pp.83-91(1984).
- 70) Shortliffe, E.H. : Computer-Based Medical Consultations: MYCIN, Elsevier Scientific Publishing Company, New York(1976).
- 71) 自然災害科学総合研究班：被災状況における避難行動の予測と制御に関する研究、(1984).
- 72) Smelser, N.J. : Theory of Collective Behavior, The Free Press, New York (1962) (会田・木原訳、集合行動の理論、誠信書房、東京(1973)).
- 73) Stahl, F.I. : BFIRE-Ⅱ : A Behavior Based Computer Simulation of Emergency Egress During Fires, Fire Technology, 18, pp.49-65(1980).
- 74) Talebi, K. and Smith, J. M. : Stochastic Network Evacuation Models, Computer and Operations Research, Vol.12, No.6, pp.559-577(1985).
- 75) 田村・掘端・角：ビル火災時の避難誘導シミュレータの試作(効用理論に基づく群集挙動解析と圧縮性混合流体モデルによる煙流動解析)、電気学会論文誌C, 第103巻、第3号、pp.15-22(1983).
- 76) 田崎：災害情報と避難行動、東京大学新聞研究所(編)、災害と情報、pp.273-299(1986).
- 77) 戸田：行動プランについて：感情のアージ理論拡張の試み、日本認知科学会(編)、認知科学の発展、pp.189-209(1988).
- 78) 戸川：災害時の行動心理、数理科学、No.135, pp.63-67(1974).
- 79) 東京大学新聞研究所「災害と情報」研究班：1982年浦河沖地震と住民の対応、東京(1982).
- 80) 東京大学新聞研究所「災害と情報」研究班：1982年7月長崎市水害における住民の対応、東京(1984).
- 81) Turner, R.H. : Earthquake Prediction and the Public Policy, Mass Emergencies, 1, pp.179-202(1976).

- 82) Wenger, D.E., Dykes, J.D., Sebok, T.B. and Neff, J.D. : It's a Matter of Myth: An Empirical Examination of Individual Insight into Disaster Response, Mass Emergencies, 1, pp.33-46(1975).
- 83) 山本・磯本：都市と防災と安全、都市と防災・安全、明日の都市16、中央法規社、東京(1982).
- 84) 柳田：災害情報を考える、NHKブックス、日本放送出版協会、東京(1978).

## 付録1 避難者1の避難行動過程

経過時間(秒)	避難行動過程
0	現在位置=ブロック6 入手情報=煙濃度評価2(ブロック3より) 状況定義=火災
4	概念目標=出口 移動目標=階段(ブロック1)
8	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 次のブロック=ブロック2 対応=移動開始
11	入手情報=群集密度評価2(ブロック2より) 状況定義=障害
14	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=階段への固執 次のブロック=ブロック2
21	入手情報=群集密度評価2(ブロック2より) 状況定義=障害
24	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=階段への固執 次のブロック=ブロック2
31	入手情報=煙濃度評価2 & 群集密度評価1(ブロック2) 状況定義=障害の無視 対応=ブロック2への移動  ** ブロック2へ到達 **
41	次のブロック=ブロック1 入手情報=煙濃度評価2(ブロック1より) 状況定義=障害
53	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=階段への固執 次のブロック=ブロック1
67	入手情報=煙濃度評価2(ブロック1より) 状況定義=障害
73	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=階段への固執 次のブロック=ブロック1
87	入手情報=煙濃度評価2(ブロック1より) 状況定義=障害の無視 対応=ブロック1への移動  ** ブロック1へ到達 **
127	** 階段へ到達 **

# 付録1 (続き)

経過時間(秒)	避難行動過程
129	入手情報=煙濃度評価2(ブロック1より) 状況定義=障害  ** 洗面所に関する知識あり **  概念目標=水 移動目標=洗面所(ブロック1)
143	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 次のブロック=ブロック1 対応=移動開始  ** 洗面所に到達 **
443	** 水により回復 **  入手情報=煙濃度評価3(ブロック1より) 状況定義=障害 概念目標=出口 移動目標=階段(ブロック1)
458	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 次のブロック=ブロック1 対応=移動開始
461	入手情報=煙濃度評価3(ブロック1より) 状況定義=障害 対応=階段への固執
467	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 次のブロック=ブロック1 対応=移動開始
473	** 階段への到達 **
476	入手情報=煙濃度評価3(ブロック3より) 状況定義=障害 対応=階段への固執
482	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=移動開始
488	入手情報=煙濃度評価3(ブロック3より) 状況定義=障害 対応=階段への固執
494	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=移動開始
500	入手情報=煙濃度評価3(ブロック1より) 状況定義=障害の無視  ** 避難成功 **

## 付録2 避難者2の避難行動過程

経過時間(秒)	避難行動過程
0	現在位置=ブロック6 入手情報=煙濃度評価2(ブロック3より) 状況定義=火災
4	概念目標=出口 移動目標=エレベータ(ブロック1)
8	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 次のブロック=ブロック2 対応=移動開始
11	入手情報=群集密度評価3(ブロック6より) 状況定義=障害 対応=避難経路の変更
17	** 新しい経路を知らない **
	入手情報=なし 状況定義=救助者なし 概念目標=新鮮な空気 移動目標=窓(ブロック5)
21	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 次のブロック=ブロック5 対応=移動開始
24	入手情報=群集密度評価3(ブロック6より) 状況定義=障害 対応=避難経路の変更
28	** 新しい経路を知らない **
30	確認情報=なし 状況再定義=救助者なし 対応=避難経路への固執 次のブロック=ブロック5
33	入手情報=煙濃度評価1(ブロック5より) 状況定義=障害の無視 対応=ブロック5への移動

## 付録2 (続き)

経過時間(秒)	避難行動過程
53	<p>＊＊ ブロック5への到達 ＊＊</p> <p>＊＊ 窓への到達 ＊＊</p>
54	<p>入手情報=煙濃度評価1(ブロック5より)</p> <p>状況定義=障害の無視</p> <p>概念目標=出口</p> <p>移動目標=エレベータ(ブロック1)</p>
57	<p>確認情報=なし</p> <p>状況再定義=救助者なし</p> <p>次のブロック=ブロック7</p> <p>対応=移動開始</p>
62	<p>入手情報=煙濃度評価2(ブロック7より)</p> <p>状況定義=障害</p> <p>＊＊ 新しい経路を知っている ＊＊</p> <p>対応=避難経路の変更</p>
65	<p>確認情報=なし</p> <p>状況再定義=救助者なし</p> <p>次のブロック=ブロック6</p> <p>対応=移動開始</p>
68	<p>入手情報=煙濃度評価2(ブロック6より)</p> <p>状況定義=障害</p> <p>対応=避難経路の変更</p> <p>＊＊ 新しい経路を知らない ＊＊</p>
74	<p>確認情報=なし</p> <p>状況再定義=救助者なし</p> <p>対応=窓への固執</p>
78	<p>入手情報=煙濃度評価1(ブロック5より)</p> <p>状況定義=障害の無視</p>
81	<p>＊＊ 窓への到達 ＊＊</p>
82	<p>入手情報=煙濃度評価1(ブロック5より)</p> <p>状況定義=障害の無視</p>

## 付録2 (続き)

経過時間(秒)	避難行動過程
83	<p>** 窓への到達 **</p> <p>入手情報=煙濃度評価1(ブロック5より)</p> <p>( 同様の対応をしばらく続ける )</p>
183	<p>入手情報=煙濃度評価2(ブロック5より)</p> <p>状況定義=障害</p> <p>概念目標=出口</p> <p>移動目標=エレベータ(ブロック1)</p>
189	<p>確認情報=なし</p> <p>状況再定義=救助者なし</p> <p>次のブロック=ブロック6</p> <p>** ブロック6に障害の記憶 **</p> <p>** ブロック7に障害の記憶 **</p> <p>** 新しい経路を知らない **</p> <p>対応=窓への固執</p>
194	<p>** 窓への到達 **</p> <p>** 新鮮な空気により回復 **</p>
195	<p>入手情報=煙濃度評価2(ブロック5より)</p> <p>状況定義=障害</p> <p>( 同様の対応をしばらく続ける )</p>
302	<p>確認情報=はしご車(ブロック5より)</p> <p>状況再定義=救助</p> <p>概念目標=救助</p> <p>移動目標=はしご車(ブロック5)</p>
308	<p>** はしご車へ到達 **</p>
309	<p>入手情報=煙濃度評価2(ブロック5より)</p> <p>状況定義=障害の無視</p>
312	<p>** 避難成功 **</p>

### 付録3 モデルIIのシミュレーション例

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
4	A B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。火災報知メッセージおよび初期情緒安定メッセージを発信。 ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。各避難者が火災報知メッセージを発信。
8	A B・C	救助者を発見できないため、ブロック1のエレベータを移動目標にする。B・CにP機能メッセージを発信。 P機能メッセージによりAをリーダーと見なす。
13	A	濃度評価1の煙にもかかわらずブロック2に移動。
22	B・C	Aに追従してブロック8に移動。
27	A	ブロック1に移動しようとするが、濃度評価3の煙のために移動できず。  ( この間Aは何度かブロック1への移動をころみるが失敗。経路変更を考えるが、知らないため断念。B・Cは初期情緒安定メッセージの効果によりリーダーの見直しを行わない )
39	A	移動目標をブロック3の階段に変更。しかし濃度評価3の煙のため進めず。
45	A	息苦しくなったため、移動目標をブロック5の窓に変更。ブロック5までの経路として最短のブロック7を通る経路を選択。P機能メッセージおよびM機能メッセージを発進して移動を開始。
70	A B・C	ブロック7に移動。 まずBがAの移動するのを見て移動目標をブロック7に変更。続いてCも移動目標をブロック7に変更。
76	B	Aに追従してブロック7に移動。
83	A C	ブロック5に移動し、窓に到達。新鮮な空気により回復。 ブロック7に移動。
90	A B	窓にはしご車が来るのを発見し、移動目標をはしご車に変更。 ブロック5に移動し、窓に到達。新鮮な空気により回復。
95	A	はしご車に到達し、P機能メッセージおよびM機能メッセージを発進して避難に成功。



付録3 (続き)

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
95	C	Aからのメッセージを受信して、移動目標をはしご車に変更。
98	B C	窓に固執。 ブロック5に移動し、窓に到達。新鮮な空気により回復。
105	B	はしご車を発見し、移動目標をはしご車に変更。
108	C	はしご車に到達し、避難に成功。
113	B	はしご車に到達し、避難に成功。

## 付録4 実験1のパーソントリップ

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
0	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価1)を発見するが様子を見る。
16	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。各避難者が火災報知メッセージを発信。
20	A B・C	救助者を発見できないため、身近な避難者であるBをリーダーと見なす。 救助者を発見できないため、身近な避難者であるAをリーダーと見なす。  ( この間何度かリーダーの見直しが行われるが、結局変更はされない )
60	A B C	Bがまったく移動しないため、リーダーをCに変更。 Aがまったく移動しないため、リーダーをCに変更。 Aがまったく移動しないため、リーダーをBに変更。  ( この間何度かリーダーの見直しが行われるが、結局変更はされない )
100	A・C B	リーダーがまったく移動しないため、他にリーダーを探す。しかし適当な避難者がいない。単独避難を考えるが、恐怖のために移動目標を設定できない。 リーダーがまったく移動しないため、他にリーダーを探す。しかし適当な避難者がいない。しかしCに頼られているとの自覚から、恐怖が低く、単独避難を考える。移動目標をブロック5の階段にする。
112	B A・C	ブロック12が煙(濃度評価3)のため移動できない。他に出口を知らない。 移動目標を設定できない。
120	B	再度Aをリーダーと見なす。
136	A	Bに頼られているとの自覚から、恐怖が低下し、ブロック5の階段を移動目標にする。
144	A	ブロック12が煙(濃度評価3)のため移動できない。結局Bを再度リーダーと見なす。
162	A・B・C	** 逃げ場を失って避難に失敗 **

## 付録5 実験2のパーソントリップ

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
0	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価1)を発見するが様子を見る。
16	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。各避難者が火災報知メッセージを発信。
20	A・B・C	救助者を発見できないため、ブロック5の階段を移動目標にする。
26	A・B・C	煙(濃度評価1)にもかかわらずブロック12に移動。
32	A	濃度評価2の煙のためブロック13に移動できず。安全なブロック11への移動を考える。
	B・C	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック13に固執。
38	A	ブロック12の周囲に煙濃度の低いブロックが見つからない。
52	A	息苦しくなったため、新鮮な空気の得られるブロック6の窓を移動目標にする。しかしブロック11の煙(濃度評価2)のため移動できない。そのまま窓に固執。
65	B・C	何度か煙の突破を試みた後ブロック13への移動に成功。しかし煙(濃度評価2)のためブロック8には移動できず。
79	B	息苦しくなったため水の得られる場所を考えた。しかしそのような場所を知らないため、新鮮な空気の得られるブロック6の窓を移動目標にする。
	C	息苦しくなったため水の得られる場所を考えた。しかしそのような場所を知らないため、Bをリーダーと見なす。
84	A	何度か煙の突破を試みた後ブロック11に移動。
90	A	ブロック10に移動。
	B	ブロック12に移動。
98	A	ブロック9、ブロック6に移動。
	B	ブロック11に移動。
	C	ブロック12に移動。
108	A	窓に到達したが濃度評価2の煙で息苦しいため、ブロック14の窓を移動目標にする。
111	B	ブロック10、ブロック9を経てブロック6に移動。
	C	ブロック11に移動。

## 付録5 (続き)

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
120	A B C	ブロック9に移動。 息苦しいが他に窓を知らないため窓に固執。 ブロック10を経てブロック9に移動。
122	A	ブロック14に移動。そのまま窓に固執。
127	C	ブロック6に移動。そのまま窓に固執。

## 付録6 実験3のパーソントリップ

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
0	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価1)を発見するが様子を見る。
17	A	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。火災報知メッセージおよび初期情緒安定メッセージを発信。
	B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。
21	B・C	初期情緒安定メッセージによりAをリーダーと見なす。
26	A	救助者を発見できないため、ブロック5の階段を移動目標にする。
29	A・B・C	AはP機能メッセージとM機能メッセージを発信して、濃度評価1の煙にもかかわらずブロック12に移動。BおよびCも追従してブロック12に移動。
35	A・B・C	Aはブロック13に移動。続いてBおよびCもブロック13に移動。
43	A	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック8に移動。しかし濃度評価3の煙のためブロック5には進めず。
46	B・C	Aに追従してブロック8に移動。
57	A	前進できず、救助者も発見できず、他に経路もないため、安全なブロック13を次の移動目標とし、移動。
65	A	ブロック16の階段を移動目標にする。
	B・C	Aに追従してブロック13に移動。
79	A	濃度評価3の煙のためブロック16へは移動できず。
87	A	新鮮な空気の得られるブロック6の窓を移動目標にする。
103	A	P機能メッセージを発信しながら、濃度評価2の煙にもかかわらずブロック12に移動。
	B・C	Aに追従してブロック12に移動。
109	A	ブロック11に移動。
115	A	ブロック10に移動。
	B・C	Aに追従してブロック11に移動。
123	A	ブロック9を経てブロック6に移動。そのまま窓に固執。
136	B・C	Aに追従してブロック10、ブロック9、ブロック6に移動。

## 付録7 実験4のパーソントリップ

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
0	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価1)を発見するが様子を見る。
16	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。火災報知メッセージを発信。
24	A B C	救助者を発見できないため、ブロック5の階段を移動目標にする。 身近な避難者であるCをリーダーと見なす。 身近な避難者であるBをリーダーと見なす。
27	A	P機能メッセージを発信して、濃度評価1の煙にもかかわらずブロック12に移動。
31	B・C	P機能メッセージによりAをリーダーと見なす。
33	A B C	ブロック13に移動。 ブロック12に移動。Aが先に行ってしまったため、Cをリーダーと見なす。 ブロック12に移動。Aが先に行ってしまったため、Bをリーダーと見なす。
39	A	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック8に移動。しかしブロック5の濃度評価3の煙のため進めず。  ( BとCは相互依存関係を続け移動しない。何度かリーダーの見直しはされた。)
53	A	前進できず、救助者も発見できず、他に経路もないため、安全なブロック13を次の移動目標とし、移動。
61	A	ブロック16の階段を次の移動目標にする。
68	B・C	相互にまったく移動しないため、視野に入ったAをリーダーと見なす。
73	A B・C	濃度評価3の煙のためブロック16に移動できず。 ブロック13に移動。
81	A	新鮮な空気の得られるブロック6の窓を移動目標にする。
95	A B・C	P機能メッセージを発信して、濃度評価2の煙にもかかわらずブロック12に移動。 Aがまったく移動しないために他にリーダーを探すが、結局Aをリーダーと見なす。

## 付録7 (続き)

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
107	A B・C	ブロック11を経てブロック10に移動。 ブロック12に移動。
113	A B・C	ブロック9に移動。 ブロック11に移動。
115	A	ブロック6に移動。そのまま窓に固執。
134	B・C	ブロック10、ブロック9を経てブロック6に移動。

## 付録8 実験5のパーソントリップ

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
0	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価1)を発見するが様子を見る。
16	A	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。火災報知メッセージおよび初期情緒安定メッセージを発信。
	B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。
21	A	救助者を発見できないため、ブロック5の階段を移動目標にする。
	B・C	初期情緒安定メッセージによりAをリーダーと見なす。
28	A	M機能メッセージを発信して、濃度評価1の煙にもかかわらずブロック12に移動。
34	A・B・C	Aはブロック13に移動。続いてBおよびCもブロック12、ブロック13に移動。
40	A	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック8に移動。しかし濃度評価3の煙のためブロック5には進めず。
42	B・C	Aに追従してブロック8に移動。
54	A	前進できず、救助者も発見できず、他に経路もないため、安全なブロック13を次の移動目標とし、移動。
64	A	ブロック16の階段を移動目標にする。
68	B・C	Aに追従してブロック13に移動。
76	A	濃度評価3の煙のためブロック16へは移動できず。
84	A	新鮮な空気のでられるブロック6の窓を移動目標にする。
98	A	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック12に移動。
	B・C	Aに追従してブロック12に移動。
110	A	ブロック11を経てブロック10に移動。
	B・C	Aに追従してブロック11に移動。
116	A	ブロック9に移動。
	B・C	Aに追従してブロック10に移動。
118	A	ブロック6に移動。そのまま窓に固執。
130	B・C	Aに追従してブロック9、ブロック6に移動。



## 付録9 実験6のパーソントリップ

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
0	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価1)を発見するが様子を見る。
16	A・B・C	ブロック3の煙(濃度評価2)により火災と判断。火災報知メッセージを発信。
20	A B C	救助者を発見できないため、ブロック5の階段を移動目標にする。 身近な非難者であるCをリーダーと見なす。 身近な非難者であるBをリーダーと見なす。  ( BとCは相互依存関係を続け移動しない。何度かリーダーの見直しはされた。)
26	A	濃度評価1の煙にもかかわらずブロック12に移動。
32	A	ブロック13に移動。
38	A	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック8に移動。しかしブロック5の濃度評価3の煙のため進めず。
52	A	前進できず、救助者も発見できず、他に経路もないため、安全なブロック13を次の移動目標にし、移動。
60	A B C	ブロック16の階段を移動目標にする。 Cがまったく移動しないため、他のリーダーを探すが、適当な避難者がいない。単独避難を考えて、ブロック5の階段を移動目標にする。 Bがまったく移動しないため、他のリーダーを探すが、適当な避難者がいない。単独避難を考えるが、恐怖のために移動目標を設定できない。
72	A B	濃度評価3の煙のためブロック16に移動できず。 濃度評価2の煙のためブロック12に移動できず。
80	A B	新鮮な空気の得られるブロック6の窓を移動目標にする。 他に移動目標を設定できないため、再度Cをリーダーと見なす。
92	A C	濃度評価2の煙にもかかわらずブロック12に移動。 視野に入ったAをリーダーと見なす。
112	A C	ブロック11、ブロック10、ブロック9を経てブロック6に移動。そのまま窓に固執。 ブロック10に移動。

## 付録9 (続き)

経過時間(秒)	避難者名	避難行動過程
114	B C	ブロック10に移動。 ブロック9に移動。
122	C	ブロック6に移動。そのまま窓に固執。
130	B	ブロック9を経てブロック6に移動。そのまま窓に固執。