

災害弱者施設における火災危険度評価に関する研究

長谷部 弥

平成5年度

名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻

GRADUATE SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE
NAGOYA UNIVERSITY

災害弱者施設における火災危険度評価 に関する研究

名古屋大学大学院 工学研究科 建築学専攻

防災安全工学講座 辻本研究室

長谷部 弥

1994年2月

目次

序	1
1 避難訓練時の計測データの分析	3
1.1 はじめに	3
1.2 指導マニュアルの目的と対応事項	3
1.2.1 指導マニュアルの目的	4
1.2.2 指導マニュアルで定めている対応事項と実施方法	4
1.3 分析データの概要	7
1.3.1 建物・人に関するデータ	8
1.3.2 計測データ	11
1.4 避難時間の分析	12
1.4.1 避難開始時間の分析	12
1.4.2 避難所要時間の分析	12
1.5 重回帰分析を用いた避難所要時間の予測	18
1.5.1 重回帰分析<I>	18
1.5.2 重回帰分析<II>	18
1.5.3 考察	19
1.6 まとめ	20
2 避難時間予測のためのデータ整理	21
2.1 はじめに	21
2.2 既往の研究調査	21
2.3 人に関するデータ	22
2.3.1 入所者の定性的な歩行能力とその比率	22
2.3.2 夜間勤務の職員数	25
2.3.3 自力避難困難者に対応する自衛消防隊員数	27
2.4 速度に関するデータ	29
2.4.1 自衛消防隊員の歩行速度	30
2.4.2 自力避難困難者を搬送手段に移す時間	30
2.4.3 搬送手段・介助中の搬送速度	30
2.5 まとめ	31

3	統計・確率論的手法に基づく火災危険度評価法	33
3.1	はじめに	33
3.1.1	目的	33
3.1.2	概要	33
3.2	評価対象区画	34
3.3	避難時間分布の算定	37
3.3.1	避難時間分布算定の考え方	37
3.3.2	避難時間分布の算定	37
3.3.2.1	不確定要因の分布型の仮定	38
3.3.2.2	避難時間分布の算定	39
3.4	限界時間分布の算定	41
3.4.1	限界時間分布算定の考え方	42
3.4.1.1	想定火源の設定	42
3.4.1.2	恕限值の設定	44
3.4.2	限界時間分布の算定	45
3.4.2.1	開口条件の同定	45
3.4.2.2	開口条件(1)での限界時間の分布	45
3.4.2.3	開口条件(2)での限界時間の分布	48
3.5	危険度の計算結果	49
3.5.1	危険度算出の考え方	49
3.5.2	危険度の計算結果	50
3.6	まとめ	51
	結	51
A	避難時間評価シミュレーション	57
A.1	はじめに	57
A.2	シミュレーションの構成	58
A.2.1	シミュレーションの考え方	58
A.2.2	搬送手段	59
A.2.3	変数値の同定	59
A.2.4	避難時間の計算方法	59
A.3	入力に用いたデータ	63
A.4	シミュレーション結果と検討	63
A.4.1	計算結果	64
A.4.2	プログラムの修正	67
A.5	まとめ	70
	参考・引用文献	70

目次

1.1	避難訓練時に作成された平面図の一例	9
1.2	出火区画面積と自力避難困難者数(施設別)	10
1.3	出火区画面積と自衛消防隊員数(施設別)	10
1.4	対応行動の時系列の一例	12
1.5	避難開始時間のヒストグラム	13
1.6	避難所要時間と出火区画面積(施設別)	15
1.7	避難所要時間と合計避難距離(施設別)	15
1.8	避難所要時間と平均避難距離(施設別)	16
1.9	避難所要時間と自力避難困難者数(施設別)	16
1.10	避難所要時間と自衛消防隊員数(施設別)	17
1.11	避難所要時間と平均避難距離(バルコニー避難の有無)	17
1.12	計測値と重回帰分析<I>による予測値	19
1.13	計測値と重回帰分析<II>による予測値	20
2.1	入所者に対する自力避難困難者の割合の分布(その1)	24
2.2	入所者に対する自力避難困難者の割合の分布(その2)	25
2.3	夜間勤務の職員数の分布(その1)	26
2.4	夜間勤務の職員数の分布(その2)	27
2.5	夜間に自衛消防隊員が介助する自力避難困難者数の分布(その1)	28
2.6	夜間に自衛消防隊員が介助する自力避難困難者数の分布(その2)	29
3.1	出火区画の平面図	35
3.2	シミュレーションの想定図面	36
3.3	入所者に対する自力避難困難者の割合	38
3.4	自衛消防隊員数の分布	39
3.5	モンテカルロ・シミュレーションによる避難時間計算結果と仮定した分布型	40
3.6	ガンベル確率紙による検定	40
3.7	焼損面積の相対度数分布	43
3.8	最大発熱量の相対度数分布	43
3.9	想定火源の発熱速度	44
3.10	各最大発熱量ごとの煙層高さの時間変化(1)	46

3.11 各最大発熱量ごとの煙層温度の時間変化(1)	46
3.12 限界時間の分布(1)	47
3.13 各最大発熱量ごとの煙層高さの時間変化(2)	48
3.14 各最大発熱量ごとの煙層温度の時間変化(2)	49
3.15 危険度計算の概念図	50
A.1 避難開始時間の散布図	66
A.2 避難所要時間の散布図	66
A.3 避難時間の散布図	67
A.4 避難開始時間(修正後)の散布図	69
A.5 避難所要時間(修正後)の散布図	69
A.6 避難時間(修正後)の散布図	70

表目次

1.1	指導マニュアルの対象施設	4
1.2	自衛消防訓練経過表	6
1.3	資料の提供先	7
1.4	24 施設の概要	7
1.5	分析に用いた資料	8
1.6	24 施設において計測された避難時間データ	11
1.7	各対応行動に要した時間の分析結果	13
1.8	避難所要時間と各要因間の相関係数	14
1.9	自力避難困難者数/自衛消防隊員数との相関係数	19
2.1	アンケート調査の項目	22
2.2	データを示していない施設とその扱い	23
2.3	搬送手段別所要時間・平均速度	30
2.4	搬送手段に移す時間・介助中の搬送速度	31
3.1	施設の概要	35
3.2	開口の大きさ	36
3.3	指導マニュアルで定めている限界時間の算定方法	41
3.4	最大発熱量の発生確率	43
3.5	開口条件	45
3.6	限界時間の算定結果(1)	47
A.1	避難時間の内訳	59
A.2	デフォルト値一覧	60
A.3	手段 p に移す時間と各手段による搬送速度	60
A.4	計算結果(修正前)	65
A.5	計算結果(修正後)	68

序

火災時に建築物に要求される性能の第一は、その空間を利用する人々の生命を確保することであると考えられる。ところで、現状の防火設計では建築基準法や消防法の規定に適合させることを最終目標としている傾向にあるが、規定の根拠が明確でない部分もあるため、その有効性については数々の問題点が指摘されている。したがって、そのような建物内で火災が発生した場合にその空間の利用者が本当に無事に避難できるかどうか疑問である。また、これらの規定は防災の最低基準であって、身体に障害がある人のために特別に考えられたものとなっていないので、特別養護老人ホームや病院などの災害弱者施設においてはこれらの規定を遵守しているからといって安全が完全に保障されたとは言い難い。また、災害弱者施設では日常生活においても自力での移動が困難な入所者の比率が高く、さらに入所者数に対する介助者数の比率が(特に夜間において)低いという問題もある。他にも、施設における医療看護の観点から防火の基本である居室の区画ができず、日常は開放されたままであることも特徴の一つである。したがって、これらの施設での火災時の避難行動を考えた場合、

- 運動能力が異なる人が混在すること
- 介助者が必要であること
- 避難時に移動器具が必要となること
- 区画形成が遅れ火災の進展が速くなる可能性が予想される

等の特徴が挙げられる。このため避難誘導が効率的に行えず避難時に混乱が生じることが予想される。このことは、急速な高齢化と共に高齢者施設が増加・高層化することや今後の介助者不足が予想されることを考えるとより深刻な問題になってくるものと思われる。こういったことから、これらの施設の入所者の火災発生時の避難安全性を確保するためには、スプリンクラーや屋内消火栓といったような防災設備(ハード)面の対策だけでなく、施設管理者の火災発生時の対応方法(防火管理体制)などのソフト面の対策も検討することが重要になってくると考えられる。

このような背景から災害弱者施設の防火管理体制の見直しを図るために1988年に自治省消防庁による「社会福祉施設・病院 夜間の防火管理体制指導マニュアル^[3]」が作成された。この指導マニュアルは社会福祉施設・病院における防火管理のうち、特に夜間に火

災が発生した場合に入所者の安全確保を図るために、消火、通報及び避難の体制が一定の水準以上となるよう対応すべき防火管理体制の整備に関する指導方法を示すことを目的としており、訓練での対応事項と手順、対応事項を終了すべき時間(これを限界時間としている)を定めたものである。この指導マニュアルでの避難訓練の際に限界時間内に対応事項を終了させることができた場合は、その防火管理体制を維持するよう努めることとし、限界時間内に終了させることができない場合には、別に定める指導要項により防火管理体制の改善を図るよう所轄の消防機関が指導するという主旨のものである。しかし、その建物の平面構成に問題があるために、指導マニュアルにしたがった避難訓練を行い防火管理体制を改善したにもかかわらず、限界時間内に対応事項を終了させることができないという場合も考えられる。そのような建物が建てられないようにするためには、設計時にある程度避難時間を予測し平面構成などをチェックする必要があると考えられる。

本論では、この指導マニュアルでの検証の際に不都合が生じないように、予め設計時に設計図面と予想される利用状況から火災による危険度を定量的に求め、設計・利用計画の成否の判断を行うための火災危険度評価法を開発することを目的としている。

本論文の構成は序に続く3章と結、付録から成り、各章の内容は以下のようなものである。

1章では、指導マニュアルが作成された経緯・目的・対応事項について説明し、指導マニュアルにしたがって行われた避難訓練時に計測されたデータを分析することによって、避難時間がどのような要因によって変動するかを探り、さらにそれらの要因を用いて重回帰分析を行い、避難時間の予測式を導いている。

2章では、設計時に避難行動を予測するために必要となる人に関するデータと、避難時間を計算するために必要となる速度に関するデータを既往の研究から整理しまとめている。

3章では、限界時間・避難時間を変動させる要因を統計手法を用いて定量化し、限界時間・避難時間の変動幅を算定する方法を示している。これら2つの時間から避難時間が、限界時間を超える確率を危険度とする火災危険度評価法を提案している。

結では、以上の結果から、災害弱者施設での火災危険度評価について総合的な考察を加えている。

付録では、介助行動を考慮できる避難時間評価シミュレーションの考え方を述べ、作成した避難時間計算プログラムをマニュアルにしたがった避難訓練での避難時間を用いて検討し、提案しているシミュレーションの有効性を示している。

第 1 章

避難訓練時の計測データの分析

1.1 はじめに

本章では、自治省消防庁による「社会福祉施設・病院 夜間の防火管理体制指導マニュアル³⁾」が作成された経緯、目的、対応事項について説明し、指導マニュアルにしたがった避難訓練の際に記録された建物・人に関するデータと訓練中の計測データを用いて、避難時間に影響を与える要因を明らかにすることを目的としている。また、それらの要因を用いて重回帰分析を行い避難時間に影響を与える要因を変数とした避難時間の予測を導いている。

1.2 指導マニュアルの目的と対応事項

病院や社会福祉施設の火災によって死者が発生した場合、常に指摘されている要因は、「社会福祉施設及び病院の夜間、休日の体制は大丈夫か。十分な人員配置のできない状況の中で夜間等で火災が発生した場合に十分な対応ができるのか。消防法で最低限の宿直人数等を決めて守らせるべきではないか。」という問題である。

これらの問題提起に対して

- 火災が発生して自動火災報知設備が作動した場合の対応行動の基本は、発報箇所の確認、現場確認、初期消火、119番通報、避難誘導等である。
- 必要な対応行動が一定の安全と考えられる時間の範囲内に行うことができれば必要十分であり、最低の宿直人数を決める必要はない。
- 対応行動の内容(主に避難誘導について)及び安全と考えられる時間は、建築構造や防災設備等の状況に応じて変わり得るものである。

という3つの原則を基に「社会福祉施設・病院 夜間の防火管理体制指導マニュアル」が作成された。

1.2.1 指導マニュアルの目的

この指導マニュアルは病院・社会福祉施設における防火管理のうち、特に夜間に火災が発生した場合に、入所者の安全確保を図るために、対応すべき防火管理体制の整備に関する指導方法を示すことを目的としており、訓練での対応事項と手順、対応事項を終了すべき時間(これを限界時間としている)を定めたものである。この指導マニュアルでの避難訓練の際に限界時間内に対応事項を終了させることができない場合には、別に定める指導要項により防火管理体制の改善を図るよう所轄の消防機関が指導するという主旨のものである。

この指導マニュアルの対象となる施設は、身体上または精神上の理由により自ら避難することが困難なものが入所する社会福祉施設および病院で表1.1のとおりである。

表 1.1: 指導マニュアルの対象施設

養護老人ホーム	特別養護老人ホーム
救護施設	乳児院
精神薄弱児施設	盲ろうあ児施設*
肢体不自由児施設*	重症心身障害児施設
重度身体障害者更生援護施設	視覚障害者更生施設
聴覚・言語障害者更生施設	身体障害者療護施設
重度身体障害者授産施設	精神薄弱者更生施設*
精神薄弱者授産施設*	老人保健施設
病院	

*: 通所施設を除く

1.2.2 指導マニュアルで定めている対応事項と実施方法

指導マニュアルに定められている避難訓練時の対応事項は以下のようになっている。

1) 出火場所の確認

自動火災報知設備の受信機または副受信機により出火場所を確認する。

・実施方法

- ① 避難が最も困難であると思われる防火区画内で感知器を発報させる。
- ② 隊員は、夜間に正規に勤務する場所に待機しているものとする。
- ③ 受信機または副受信機で火災表示灯が点灯した場所を見て自火報発報場所を確認する。
- ④ 仮眠状態で待機することとしている場合は、発報後15秒経過した後に行動を起こすこととする。

2) 現場の確認

出火場所に行き、現場の状況を確認する。

・実施方法

- ① 受信機または副受信機で出火場所を確認した者は、自らまたは他の隊員に指示して、発報場所に行き火災の有無を確認する。
- ② 火災を確認した者は、その場で「火事だー!」と2回叫ぶ。

3) 初期消火

消火器または屋内消火栓により初期消火を行う。

・実施方法

- ① 消火器を用いる場合は、消火器を実際に放出するか、放出のための動作を行った上で放出体勢をとり、15秒間維持する。
- ② 屋内消火栓を用いる場合は、放水のための動作を行った上で放水体勢をとり、30秒間維持する。

4) 消防機関への通報

電話または非常通報装置により火災である旨を消防機関へ通報する。

・実施方法

- ① 訓練用の電話機・内線電話等を利用し、消防機関への模擬通報を行う。
- ② 非常通報設備が設置されている場合には、非常通報装置の起動用押しボタンを押す。
- ③ 消防機関への模擬通報の内容は、施設の場所・火災の状況・入所者の状況などである。

5) 区画の形成

防火戸を閉鎖して、出火区画、隣接区画等の防火区画を形成する。

・実施方法

- ① 出火室の戸は、出火室の避難及び初期消火行動終了後直ちに閉鎖する。
- ② 出火区画内においては、出火区画内の各室の戸をできるだけ早い時期に閉鎖する。

6) 情報伝達及び避難等

火災を確認後、入所者等及び隊員に火災である旨及び避難すべき旨を伝達・指示するとともに、入所者等をより安全な場所へ順次避難させる。

・実施方法

- ① 非常放送設備あるいは業務用放送設備を用いて非常放送を行う。

- ② 放送内容は3回繰り返す。
- ③ 情報伝達及び避難等は、出火区画、隣接区画、その他の区画と火点に近い区画から順に行うこととする。

7) 消防隊への情報提供

消防隊の活動が効率的に行われるよう、消防隊に対し情報の提供を行う。

8) 近隣事業所等の応援

近隣事業所等の応援がある場合は、上記対応事項の一部について応援を受けることができる。

実際の避難訓練では、表1.2に示す経過表にそれぞれの対応行動ごとに訓練開始からの経過時間が記録されている。

表 1.2: 自衛消防訓練経過表

巻頭-4-B: 計測時間記録の一覧表 (バルコニー避難を行わない場合)

A. 自火報発報後の各行動経過時間

測定項目		記号	内容補足	経過時間	備考
受信機における確認終了時点		T ₁	受信機前で発報区域を指差し確認した時点	分 2 秒	10-A
非常放送での確認指示終了時点 (放送3回)		T ₂	(放送により確認依頼する場合)	分 13 秒	10-A
現場で火点確認時点		T ₃	「火事だ!」と現場で2回叫び終わった時点	1分 01 秒	10-C
119番通報開始時点		T _{4a}	受信機を持った時点	1分 34 秒	10-C
非常通報装置起動時点		T _{4b}	鈕を押す動作を行った時点	分 / 秒	
初期消火開始時点		T ₅	消火器、屋内消火栓で消火体制をとった時点	1分 46 秒	10-D
放送による区内通報開始時点		T ₆	マイクで放送し始めた時点	1分 37 秒	10-A
出火区画での避難救助	自力避難困難者	開始	T _{7a} 出火区画で救助者に手を触れた時点	2分 23 秒	
		終了	T _{7b} 出火区画から最後の入所者を運び出した時点	6分 26 秒	
	自力避難者	開始	T _{7c} 出火区画からの最も早い自力避難開始時点	分 9 秒	
		終了	T _{7d} 出火区画から最後の入所者を運び出した時点	2分 17 秒	① 1分 26 秒 ② 2分 17 秒
隣接区画での避難救助	自力避難困難者	開始	T _{8a} 隣接区画で救助者に手を触れた時点	3分 45 秒	① 3分 45 秒 ② 6分 45 秒
		終了	T _{8b} " 区画から最後の入所者を運び出した時点	9分 10 秒	① 4分 07 秒 ② 9分 10 秒
	自力避難者	開始	T _{8c} " 区画からの最も早い自力避難開始時点	分 14 秒	① 1分 14 秒 ② 14 秒
		終了	T _{8d} " 区画から最後の入所者を運び出した時点	9分 22 秒	① 2分 44 秒 ② 9分 22 秒

1.3 分析データの概要

分析に用いたデータは、表 1.1 に示した施設において実際に指導マニュアルにしたがって避難訓練が行われた際に記録されたものであり、全部で 24 施設分 (病院 9 施設, 社会福祉施設 15 施設) である。これらのデータを建物・人に関するデータと訓練中に計測された避難時間に関するデータに分けて分析を行う。資料の提供先は、表 1.3 のとおりである。また、避難訓練が行われた施設の概要を表 1.4 に示す。

表 1.3: 資料の提供先

資料提供先	病院	社会福祉施設
東京消防庁	5	12
名古屋市消防局	—	2
横浜市消防局	4	1
計	9	15

表 1.4: 24 施設の概要

	施設の種類	構造	延床面積 (m ²)	建築面積 (m ²)	地上階	地下階	入所定員 (人) ¹	入所者数 (人) ¹
1	(社会福祉施設) ²	耐火	4974.0	1611.0	3	1	—	97
2	特別養護老人ホーム	耐火	3457.8	1191.3	5	—	34	34
3	養護老人ホーム	耐火	1510.0	1065.0	2	—	58	57
4	養護老人ホーム	耐火	1510.0	1065.0	2	—	58	57
5	精神病院	耐火	1990.4	659.2	3	1	112	92
6	精神病院	耐火	3694.1	1259.3	3	—	230	211
7	特別養護老人ホーム	耐火	3677.0	992.0	6	—	120	103
8	総合病院	耐火	10439.0	1659.0	6	1	288	233
9	(病院) ²	耐火	2726.0	757.6	4	1	110	87
10	(病院) ²	耐火	2726.0	757.6	4	1	110	87
11	特別養護老人ホーム	耐火	3578.0	1388.0	3	—	104	100
12	特別養護老人ホーム	耐火	3578.0	1388.0	3	—	104	100
13	精神薄弱者更正施設	耐火	1126.8	405.9	3	—	62	62
14	特別養護老人ホーム	耐火	2190.0	668.0	3	1	—	85
15	特別養護老人ホーム	耐火	1509.0	385.0	5	1	—	50
16	特別養護老人ホーム	耐火	3536.0	992.1	5	1	—	80
17	特別養護老人ホーム	耐火	3945.0	1426.0	3	1	—	84
18	特別養護老人ホーム	耐火	3893.7	1723.1	3	1	100	102
19	(病院) ²	耐火	3938.2	2022.4	3	—	67	66
20	(病院) ²	耐火	16253.0	2917.7	5	2	250	177
21	(病院) ²	耐火	3728.3	574.5	8	—	138	—
22	(病院) ²	耐火	4496.6	1186.6	4	1	—	166
23	特別養護老人ホーム	耐火	3896.3	1546.0	4	—	110	86
24	特別養護老人ホーム	耐火	3389.0	1699.0	2	1	140	131

¹入所定員・入所者数が記述されていない施設は“—”を記した。

²施設の種類が明確に示されていなかった。

1.3.1 建物・人に関するデータ

マニュアルに基づき実際に避難訓練時にデータが測定された施設に関する諸情報を表1.5に示す。各施設では一定のシナリオに基づいて避難訓練が行われ、図1.2に示した経過表に各行動の避難訓練開始からの経過時間が記録されており貴重な資料と言える。

表1.5以外の情報としては自力避難困難者および夜間勤務の職員(自衛消防隊員)の位置等が記録された平面図(図1.1参照)がある。この図から表1.5に示した自力避難困難者1人当たりの移動距離を計算した。なお、避難訓練時の計測に不備があったり、図面から正確な情報が得られなかったものが4施設あり、その内容は表1.5の下に付記した。24施設の基本的な情報として図1.2に出火区画面積と其中的自力避難困難者数の分布図をまた、図1.3に出火区画面積と自衛消防隊員数の分布図を示す。

表1.5: 分析に用いた資料

	訓練階	バルコニー避難	避難所要時間(秒)	出火区画面積(m ²)	合計避難距離(m)	平均避難距離(m)	自力避難困難者数(人)	自衛消防隊員数(人)
1	2	有	671.0	1005.6	174.0	8.3	21	4
2	3	有	188.0	534.1	72.0	8.0	9	4
3	2	有	(50.0) ¹	419.6	15.4	7.7	2	4
4	2	無	(29.0) ¹	419.6	33.6	16.8	2	4
5	2	無	165.0	511.1	92.6	15.4	6	5
6	2	無	253.0	450.5	228.3	22.8	10	4
7	3	無	175.0	320.3	176.8	25.3	7	4
8	4	無	185.0	700.2	139.2	19.9	7	10
9	2	有	86.0	916.9	62.0	12.4	5	5
10	2	無	102.0	916.9	80.0	16.0	5	5
11	2	有	72.0	523.4	48.0	8.0	6	4
12	2	無	116.0	523.4	91.4	15.2	6	4
13	1	無	94.0	811.8	92.0	18.4	5	6
14	2	無	284.0	408.9	108.5	21.7	5	3
15	3	無	294.0	317.0	407.2	29.1	14	3
16	2	無	140.0	793.1	262.0	29.1	9	4
17	2	無	95.0	(947.0) ²	107.6	26.9	4	5
18	2	無	999.0	1068.3	908.3	20.2	45	5
19	3	無	238.0	469.0	274.8	12.5	22	6
20	4	無	284.0	(1484.0) ²	558.0	22.3	25	14
21	4	無	292.0	369.0	115.0	14.4	8	5
22	3	無	377.0	818.8	846.1	19.2	44	22
23	2	有	237.0	497.3	80.0	8.0	10	5
24	1	無	668.0	725.6	751.1	13.9	54	5

¹自力避難者が避難する時に同室の自力避難困難者を選びだしたので正確に計測できなかった。

²平面図に寸法が入っていないので、建築面積や法で定められている値から出火区画面積を推定した。

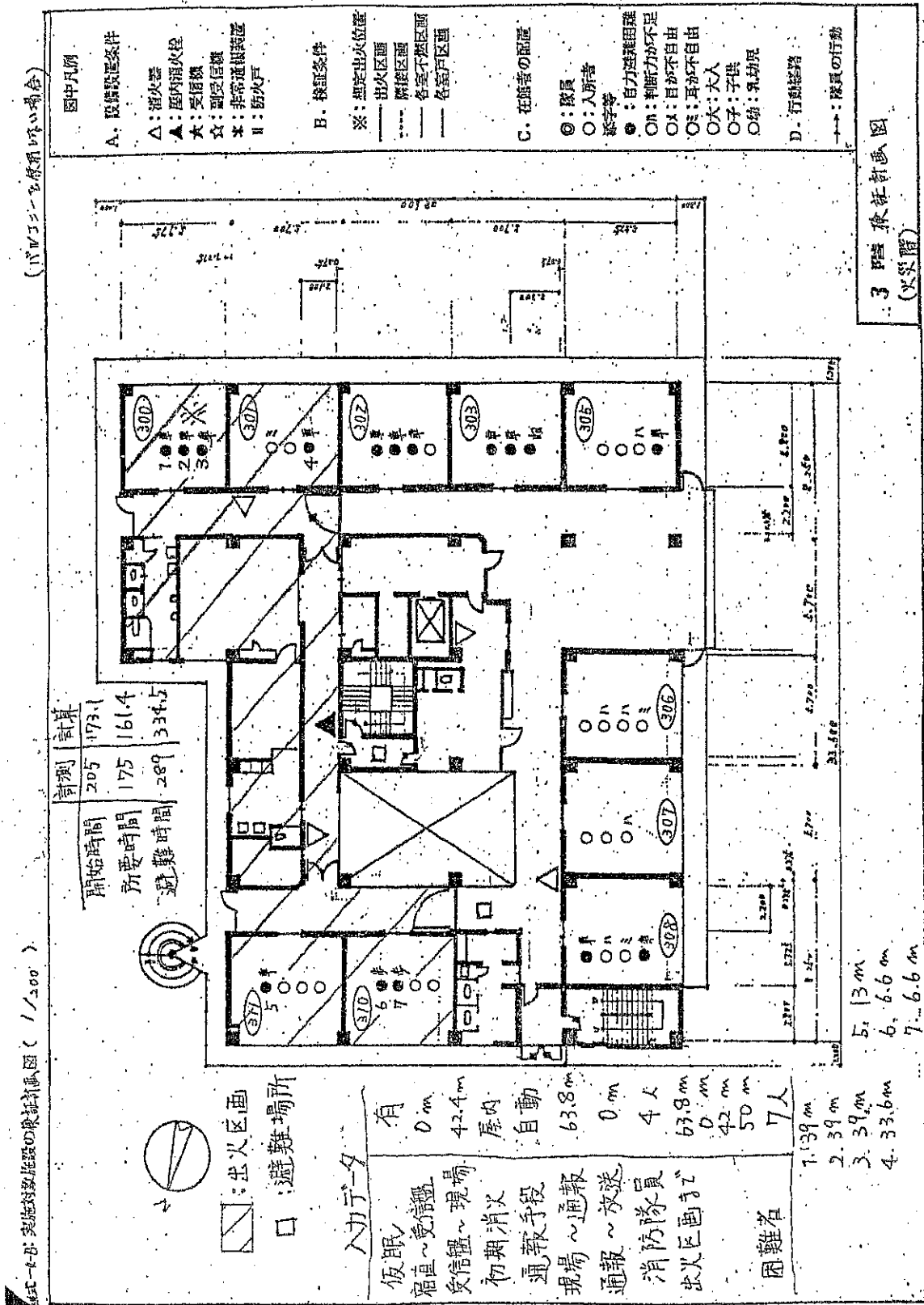


図 1.1: 避難訓練時に作成された平面図の一例

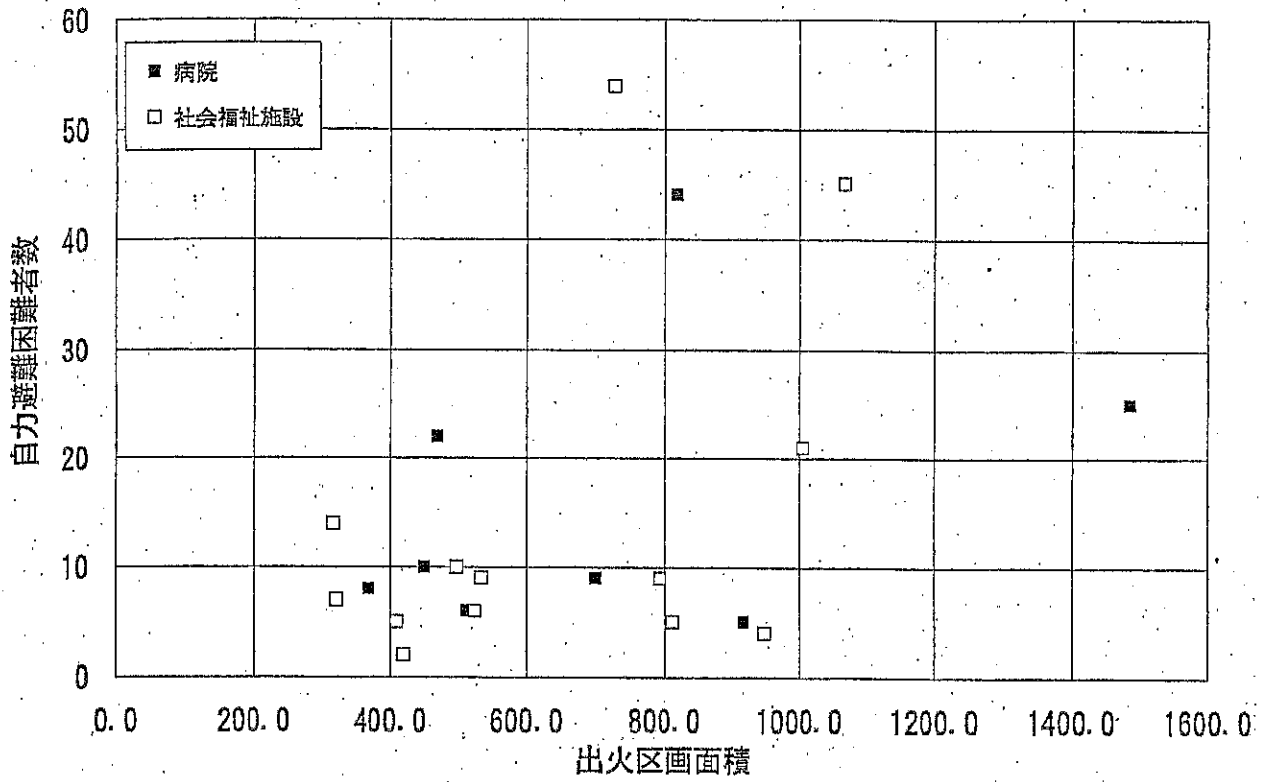


図 1.2: 出火区画面積と自力避難困難者数(施設別)

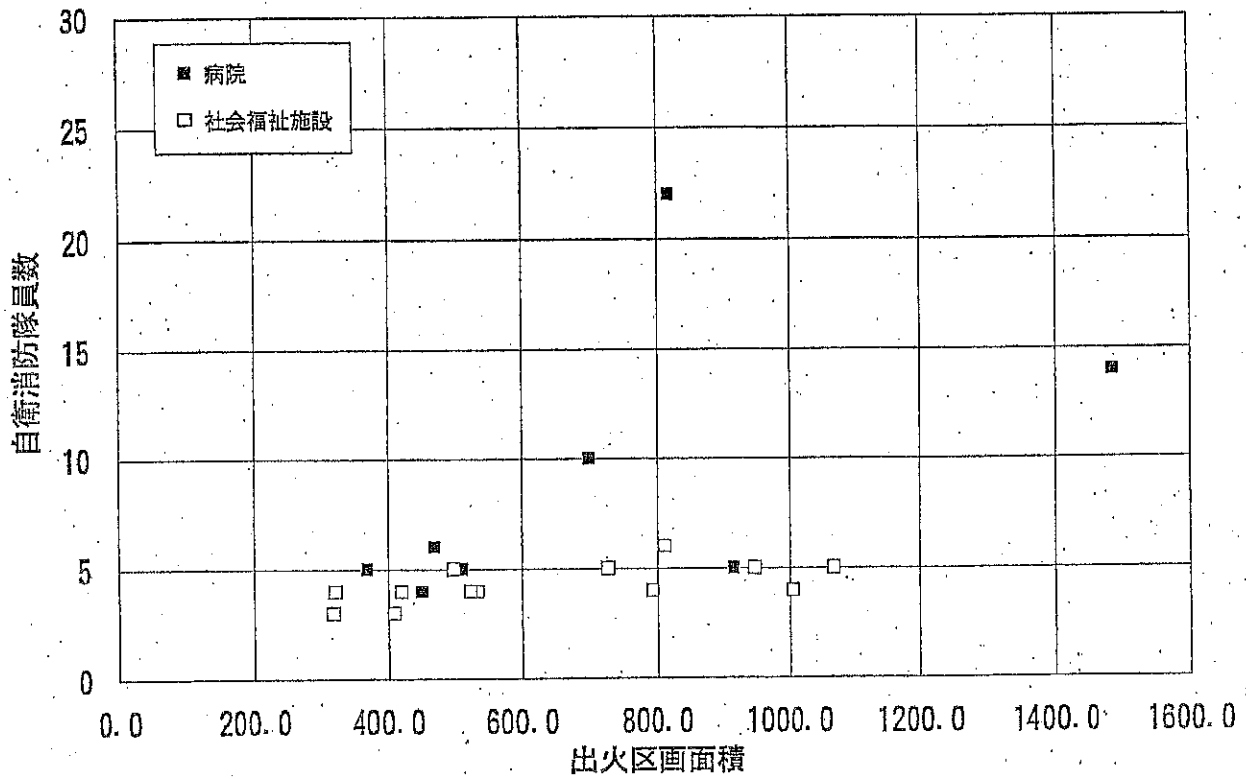


図 1.3: 出火区画面積と自衛消防隊員数(施設別)

1.3.2 計測データ

1.2.2節で説明した対応事項のうち1)の出火場所の確認から4)の消防機関への通報までと6)の情報伝達及び避難等を避難誘導のための非常放送と出火区画の避難誘導・同階隣接区画の避難誘導・直上階隣接区画の避難誘導の4つの対応行動に分けた計8つの対応行動に要した時間を表1.2の自衛消防訓練経過表に記録された数値から読み取った。結果を表1.6に示す。避難誘導については出火区画の避難誘導に要した時間とした(空白はデータを読み取れなかったものである)。また、これらの対応行動の関係を示す一例を時系列で表したものを図1.4に示す。

表 1.6: 24 施設において計測された避難時間データ

	出火確認	現場確認	初期消火	消防への通報	非常放送	避難誘導
1	20.0	14.0	46.0	11.0	28.0	671.0
2	4.0	53.0	43.0	26.0	43.0	188.0
3	41.0			35.0		50.0 ¹
4	39.0	26.0	62.0	18.0		29.0 ¹
5	22.0	46.0		28.0		165.0
6	4.0	57.0				253.0
7	17.0	68.0	90.0	19.0		175.0
8	28.0	38.0	52.0	139.0	80.0	185.0
9	4.0	38.0				86.0
10	3.0	34.0				102.0
11	6.0	56.0	43.0	8.0		72.0
12	6.0	69.0	40.0	14.0		116.0
13	32.0	52.0	19.0	37.0		94.0
14	5.0	5.0	79.0	6.0	10.0	284.0
15	23.0	17.0	29.0	57.0	22.0	294.0
16	25.0	20.0	44.0	20.0	61.0	140.0
17	15.0	22.0	71.0	9.0	35.0	95.0
18	99.0	130.0	158.0	5.0		999.0
19	18.0	75.0	37.0	8.0	30.0	238.0
20	15.0	75.0	30.0	37.0	36.0	284.0
21	19.0	40.0	45.0	47.0	44.0	292.0
22	25.0	20.0	30.0	47.0	40.0	377.0
23	2.0	43.0	48.0	33.0	52.0	237.0
24	18.0	32.0	28.0	18.0	43.0	668.0

¹自力避難者が避難するときに、同室の自力避難困難者を運びだしたので、計測者が正確に計測できなかった。

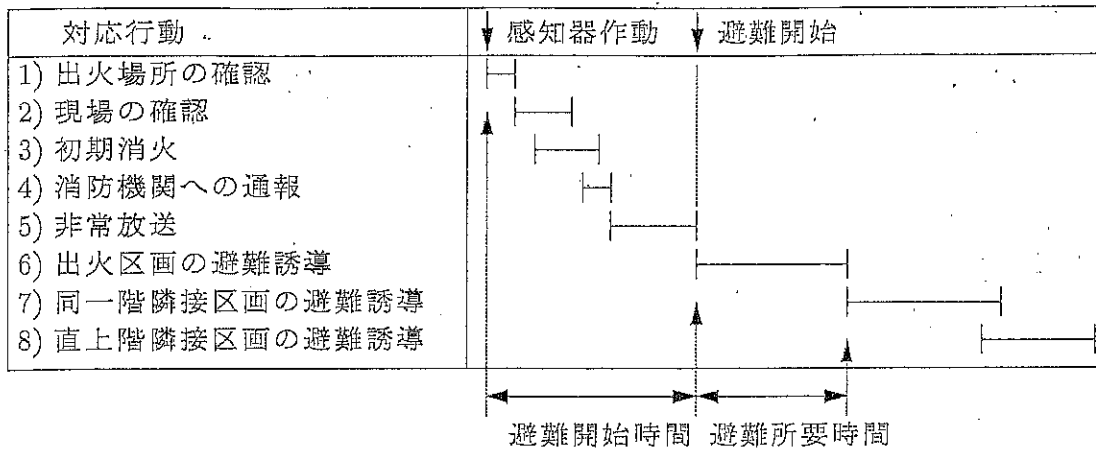


図 1.4: 対応行動の時系列の一例

1.4 避難時間の分析

ここでは、実際にマニュアルどおりに避難訓練が行われた24施設の災害弱者施設での測定値をもとに、避難時間の分析を行う。

自動火災報知設備(自火報)が作動してから避難完了するまでの全体の避難時間は、火災を感知してから避難誘導のための非常放送終了までの時間と、避難開始から避難行動によって避難場所に到達するまでの時間の2種類とする。前者を避難開始時間、後者を避難所要時間と呼び、実際の避難訓練での計測値をこの2種類に分けて分析を行っている。

1.4.1 避難開始時間の分析

避難開始時間は、図1.4に示した出火場所の確認から避難誘導のための非常放送が終了するまでの時間であるが、図1.4に示したように、対応行動が1つずつ順番に行われるのではなく、複数の自衛消防隊員によって同時に行われているので1つの対応行動に要した時間を単純に足していったものが避難開始時間にならないこと、また、マニュアルに定めている時間内だけその対応行動をとるものもあることから出火場所の確認から非常放送終了までに要した時間を対応行動別に分析することは、避難開始時間を分析する上で余り有効な方法とはいえない。

そこで本節では、各行動に要した時間と避難開始時間の平均値、標準偏差、変動係数、最大値、最小値を計算するにとどめる。計算結果を表1.7に示す。また、図1.5に避難開始時間のヒストグラムを示す。

1.4.2 避難所要時間の分析

ここでいう避難所要時間とは、図1.4の6)に示されている、出火区画の避難誘導の開始から終了までの時間である(今回の分析では隣接区画の避難誘導図1.4中の7), 8)は扱わない)。

表 1.7: 各対応行動に要した時間の分析結果

	出火確認	現場確認	初期消火	消防への通報	非常放送	避難開始時間
平均値	20.4	44.8	52.3	29.6	40.3	157.9
標準偏差	20.2	27.3	31.4	29.2	17.6	36.1
最大値	99.0	130.0	158.0	139.0	80.0	219.0
最小値	2.0	5.0	19.0	5.0	10.0	107.0

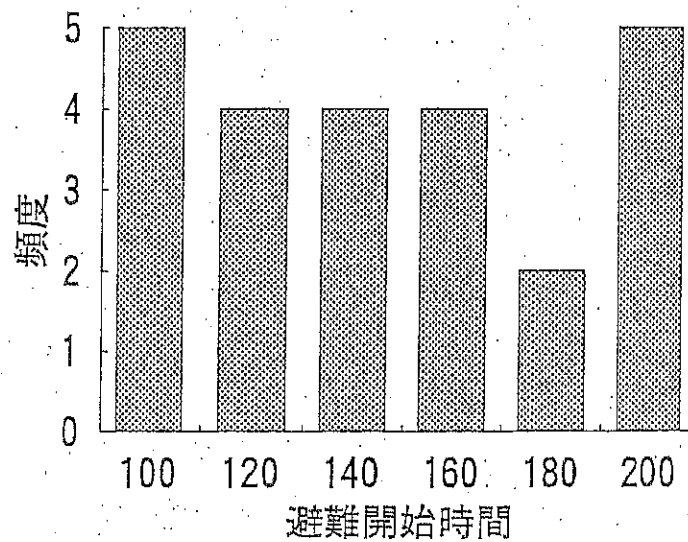


図 1.5: 避難開始時間のヒストグラム

避難所要時間に影響を与えていると考えられる要因は、

- 出火区画面積
- 自力避難困難者の避難距離
- 自力避難困難者数
- 自衛消防隊員数

などである。

これらの要因が避難所要時間とどのような関係があるかを確認するために、縦軸に避難所要時間をとり、横軸に出火区画面積、合計避難距離、自力避難困難者1人当りの平均避難距離、自力避難困難者数、自衛消防隊員数をとった散布図を作成した。結果を図1.6～図1.10に示す。また、施設の種別間(病院、社会福祉施設)での違いを確認するために散布図の中に病院・社会福祉施設の区別を付記した。さらに、自力避難困難者1人当りの平均避難距離については、バルコニーを一時待避場所として使用するか否かによって値が大きく

変動すると考えられるので、バルコニー避難の有無を付記した図 1.11 を作成した。また、表 1.8 に避難所要時間と各要因間の相関係数を示す。各要因間の相関を見ると $L \times NP$ と NP の相関が非常に高いことが分かる。その他の要因間の相関は、高いものでも $L \times NP$ と NS の 0.54 で、それぞれの要因がほぼ独立であることが分かる。

図 1.6 についての相関係数は、0.34 となっており避難所要時間と出火区画面積にはそれほど相関がないことが分かる。図 1.7 についての相関係数は、0.76 となっており、かなり高い相関があることが分かる。図 1.8 についての相関係数は、0.00 となっており避難所要時間は自力避難困難者 1 人当たりの平均避難距離とは全く相関がないことが分かる。図 1.9 についての相関係数は、0.82 となっており非常に高い相関がみられ、避難所要時間に多大な影響を及ぼしていることが分かる。図 1.10 についての相関係数は、0.10 となっており避難所要時間にはそれ程影響がないと考えられる。

図 1.6～図 1.10 のそれぞれの要因に対して、施設種別間の差はほとんど認められず、自力避難困難者の避難にとって病院であるか社会福祉施設であるかは関係ないと判断される。

図 1.11 を見ると、避難の際にバルコニーを使用することによって 1 人当たりの平均避難距離が短くなるが、避難所要時間には余り影響がないと判断できる。

以上の結果から、出火区画面積、合計避難距離、自力避難困難者数が避難所要時間に影響を与える要因であることが分かる。

表 1.8: 避難所要時間と各要因間の相関係数

	T_e	S	L	$L \times NP$	NP	NS
T_e	1.00					
S	0.34	1.00				
L	0.00	0.11	1.00			
$L \times NP$	0.76	0.42	0.29	1.00		
NP	0.82	0.39	0.02	0.94	1.00	
NS	0.10	0.45	0.11	0.54	0.47	1.00

T_e : 避難所要時間

S : 出火区画面積

L : 自力避難困難者 1 人当たりの平均避難距離

$L \times NP$: 合計避難距離

NP : 出火区画内の自力避難困難者数

NS : 自衛消防隊員数

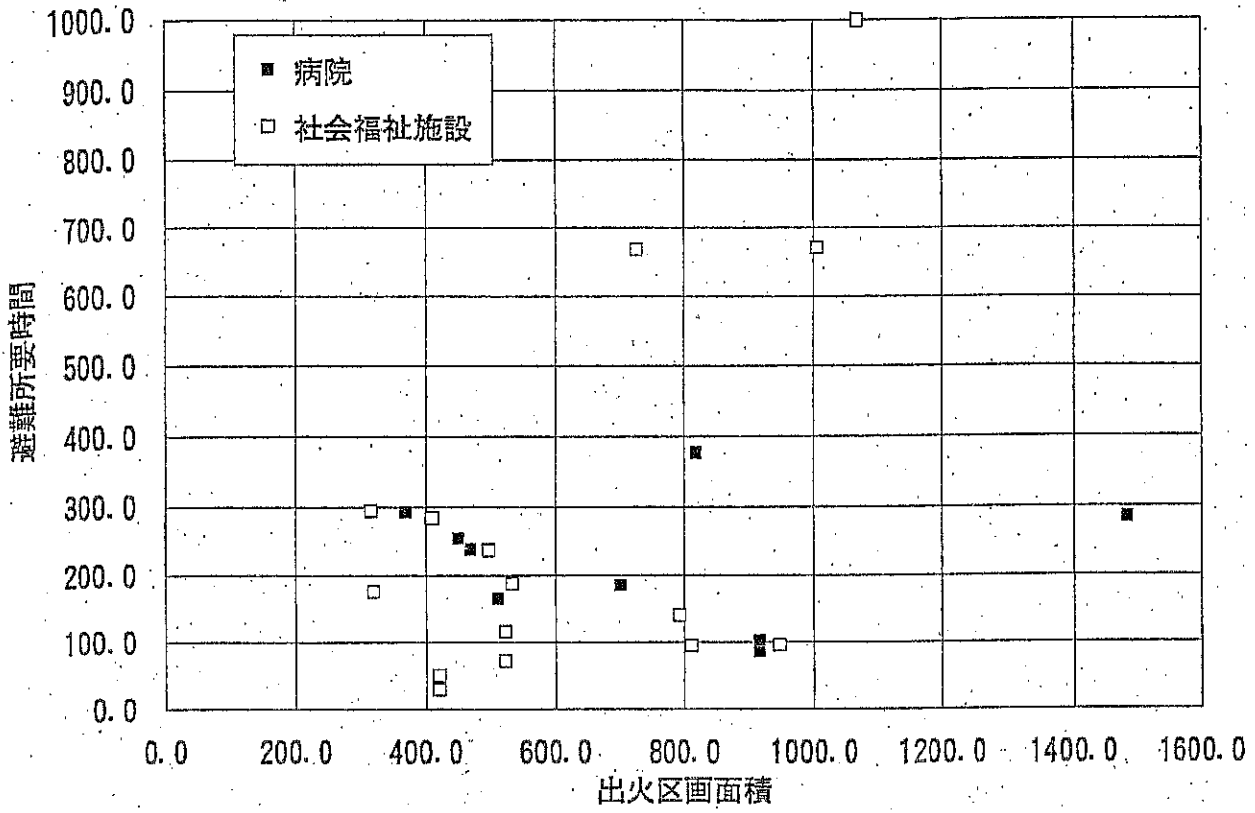


図 1.6: 避難所要時間と出火区画面積 (施設別)

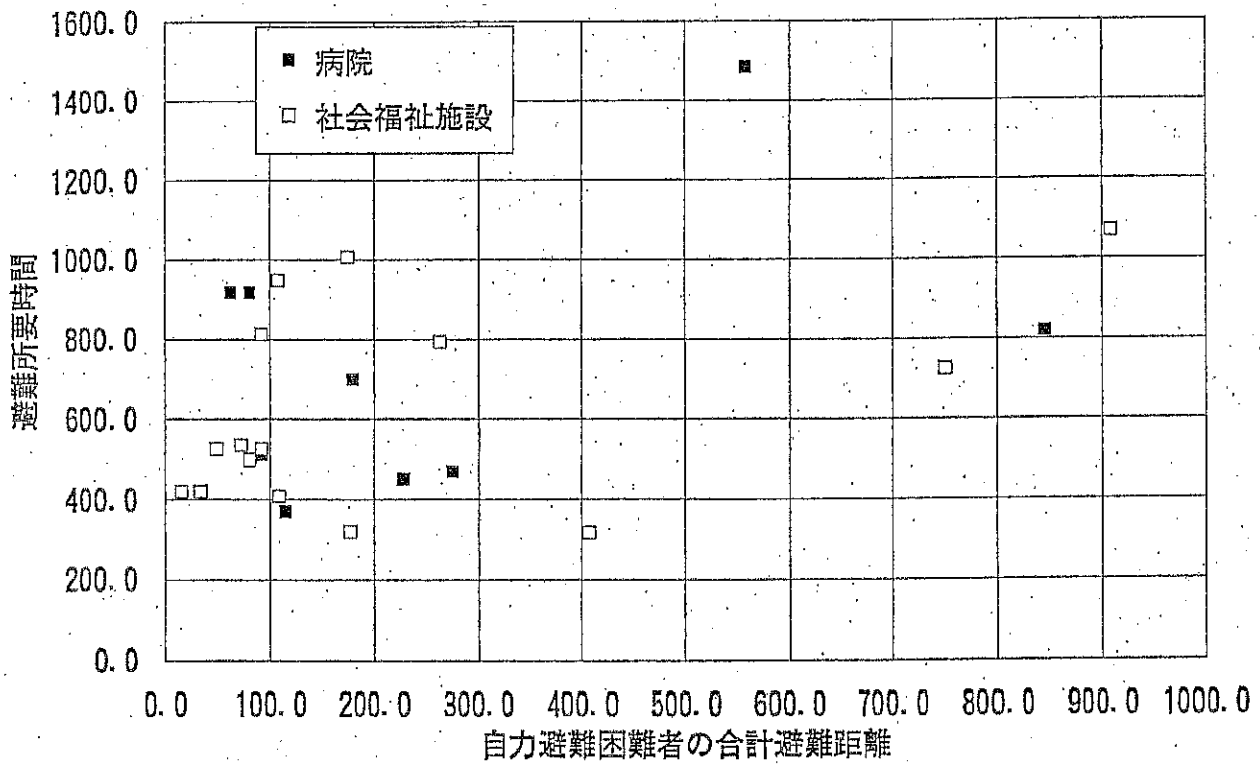


図 1.7: 避難所要時間と合計避難距離 (施設別)

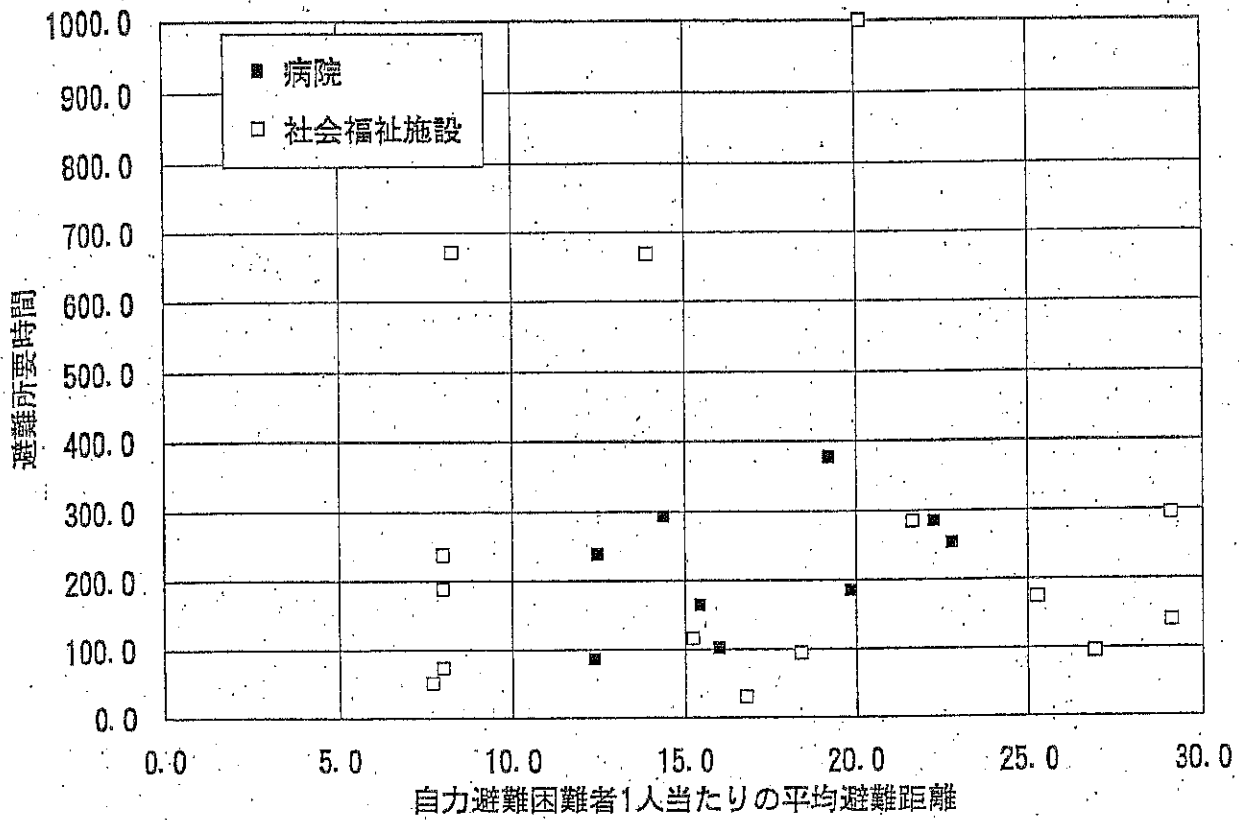


図 1.8: 避難所要時間と平均避難距離 (施設別)

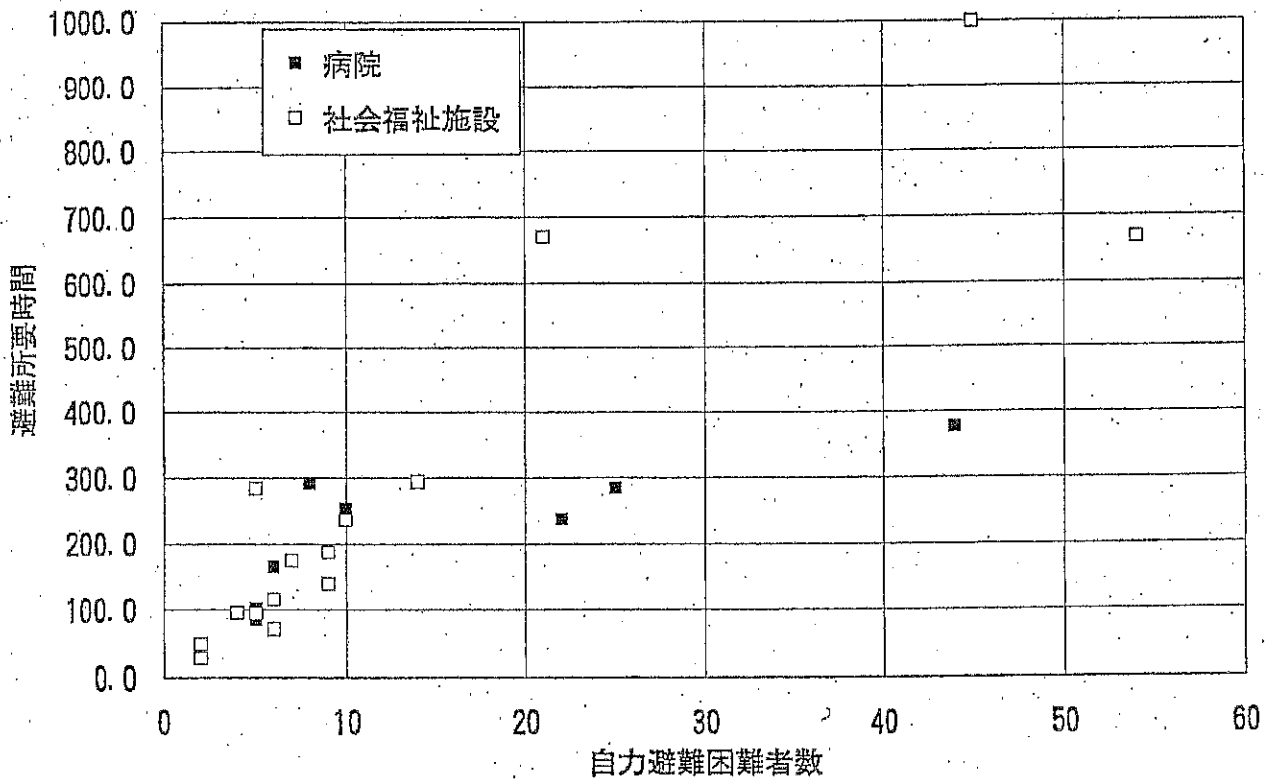


図 1.9: 避難所要時間と自力避難困難者数 (施設別)

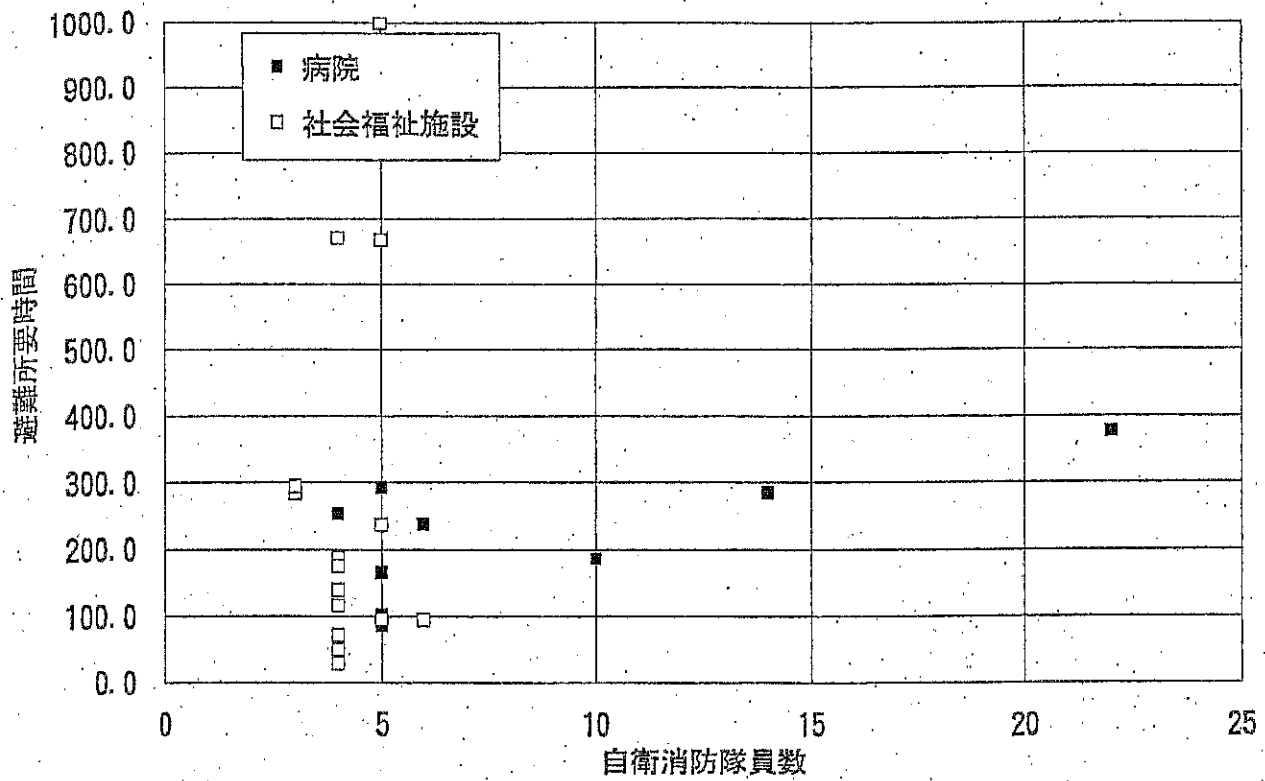


図 1.10: 避難所要時間と自衛消防隊員数 (施設別)

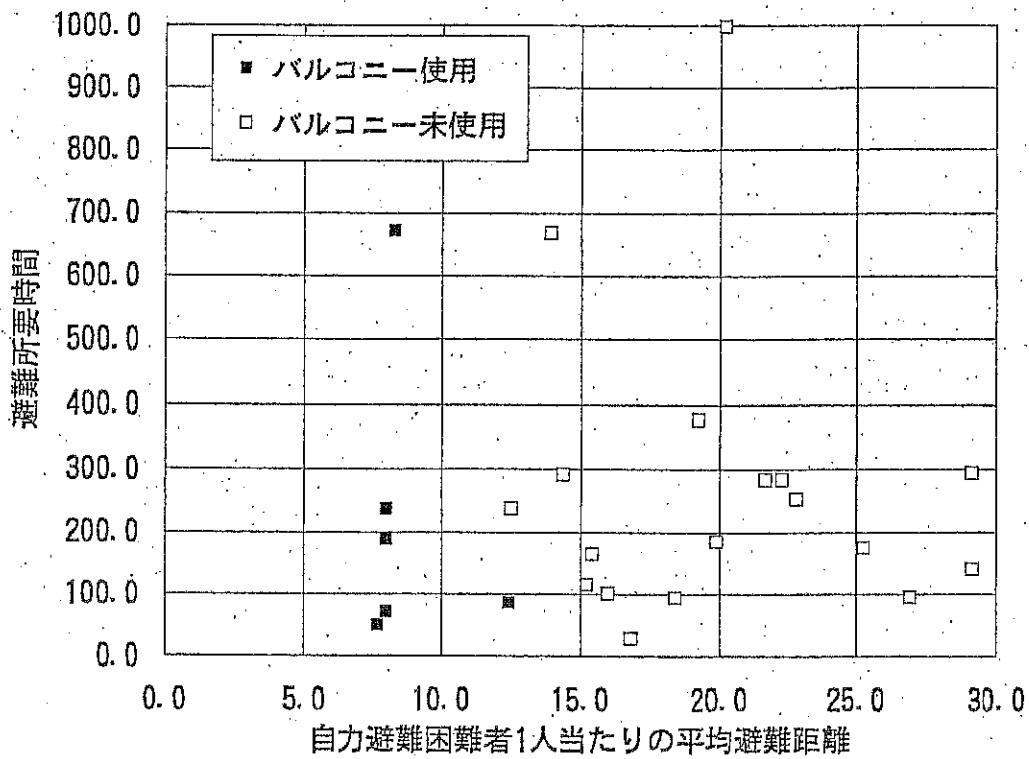


図 1.11: 避難所要時間と平均避難距離 (バルコニー避難の有無)

1.5 重回帰分析を用いた避難所要時間の予測

避難訓練時に測定した避難所要時間を目的変数とし、1.4.2節で明らかになった避難所要時間を変動させると考えられる要因を説明変数として重回帰分析を行った。

1.5.1 重回帰分析<I>

避難所要時間と相関のある出火区画面積、合計避難距離、自力避難困難者数の3つを説明変数として重回帰分析を行った。分析によって得られた回帰式を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{避難所要時間}(T_e) = & 63.20 & (1.1) \\ & +0.02 \times \text{出火区画面積}(S) \\ & -0.09 \times \text{合計避難距離}(L \times NP) \\ & +14.22 \times \text{自力避難困難者数}(NP) \end{aligned}$$

式(1.1)によって求めた予測値と避難訓練での計測値との重相関係数は0.82であった。また、この重回帰分析でのF(I)値は13.6であった。F(3,20,0.005)=5.82でF(I)>F_{0.005}であるので式(1.1)にデータのあてはめを行うことに意味はある。式(1.1)を見ると合計避難距離の係数が負になっており、合計避難距離が延びると避難時間が短くなるという結果になっている。したがって、この式は実際の現象を正確に説明しているとは言えない。このような結果になった原因としては、自力避難困難者数と合計避難距離の相関が0.94と非常に高くなっており、合計避難距離の項が自力避難困難者数に引きずられてこのようになっているということが考えられる。この結果、合計避難距離は避難所要時間の説明変数としては適当でないと判断される。この他にも、表1.8よりT_eとNPの相関係数が0.82であることから、重回帰分析<I>では説明量は増えていないことが分かる。図1.12に計算結果の散布図を示す。図中の直線はy=xである。

1.5.2 重回帰分析<II>

1.5.1節では、出火区画面積、合計避難距離、自力避難困難者数を説明変数として重回帰分析を行ったが、合計避難距離と自力避難困難者数の相関が非常に高く、説明変数が独立であるとは言い難いので、重回帰分析<II>では、合計避難距離を説明変数からはずした。避難距離の項として自力避難困難者1人当たりの平均避難距離を説明変数とすることも考えられるが、避難所要時間との相関係数が0.00と、全く相関がないので説明変数として適当でないと判断した。また、自衛消防隊員数と避難所要時間との相関が低いとは言うものの、自衛消防隊員数が説明変数に含まれていないと現象を正確に説明しているとは言い難いので、自力避難困難者数/自衛消防隊員数という形にして説明変数に取り込んだ。自力避難困難者数/自衛消防隊員数と避難所要時間・出火区画面積の相関係数を表1.9に示す。避難所要時間との相関係数は0.88とかなり高く、出火区画面積との相関係数は0.18と低くなっているため、自力避難困難者数/自衛消防隊員数は説明変数として適当であると判断される。

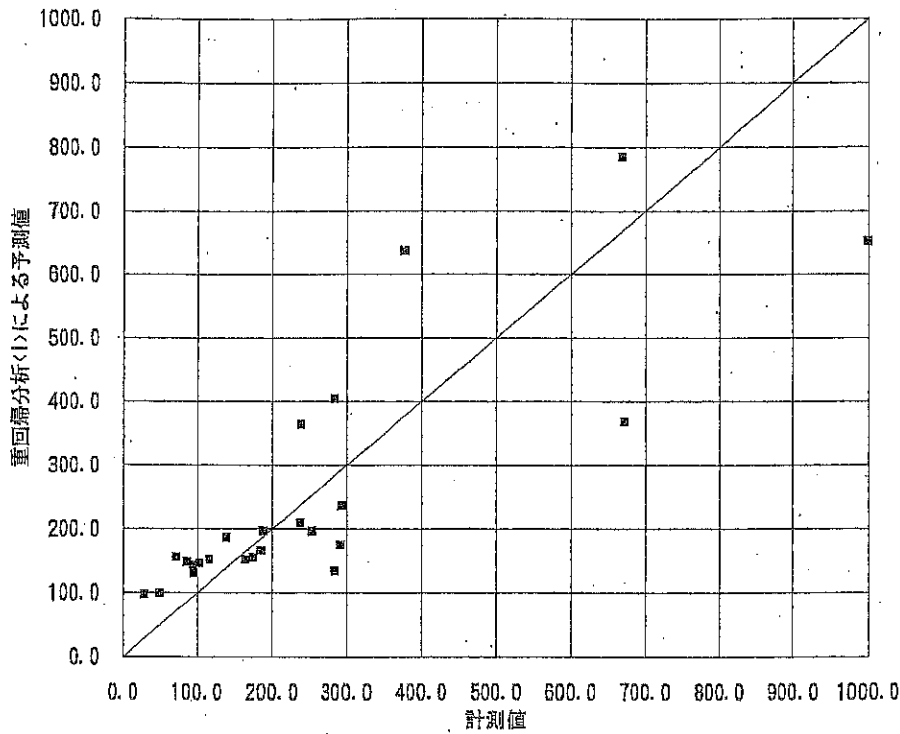


図 1.12: 計測値と重回帰分析<I>による予測値

表 1.9: 自力避難困難者数/自衛消防隊員数との相関係数

	<i>T</i>	<i>S</i>
<i>NP/NS</i>	0.88	0.18

以上の考えから出火区画の面積，自力避難困難者数/自衛消防隊員数の2つを説明変数として重回帰分析をやり直した。分析によって得られた回帰式を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 \text{避難所要時間 } (T_e) = & -32.37 & (1.2) \\
 & +0.15 \times \text{出火区画面積 } (S) \\
 & +74.73 \times \text{自力避難困難者数/自衛消防隊員数 } (NP/NS)
 \end{aligned}$$

式(1.2)によって求めた予測値と避難訓練での計測値との重相関係数は0.90であった。また、この重回帰分析でのF(II)値は42.5であった。F(2,21,0.005)=6.9でF(II)>F_{0.005}であるので式(1.2)にデータのあてはめを行うことに意味はある。図1.13に計算結果の散布図を示す。図中の直線はy=xである。

1.5.3 考察

避難所要時間を予測するための説明変数として出火区画面積，合計避難距離，自力避難困難者数，自衛消防隊員数を取りあげ、重回帰分析を行った結果、1.4.2節で述べた避難所

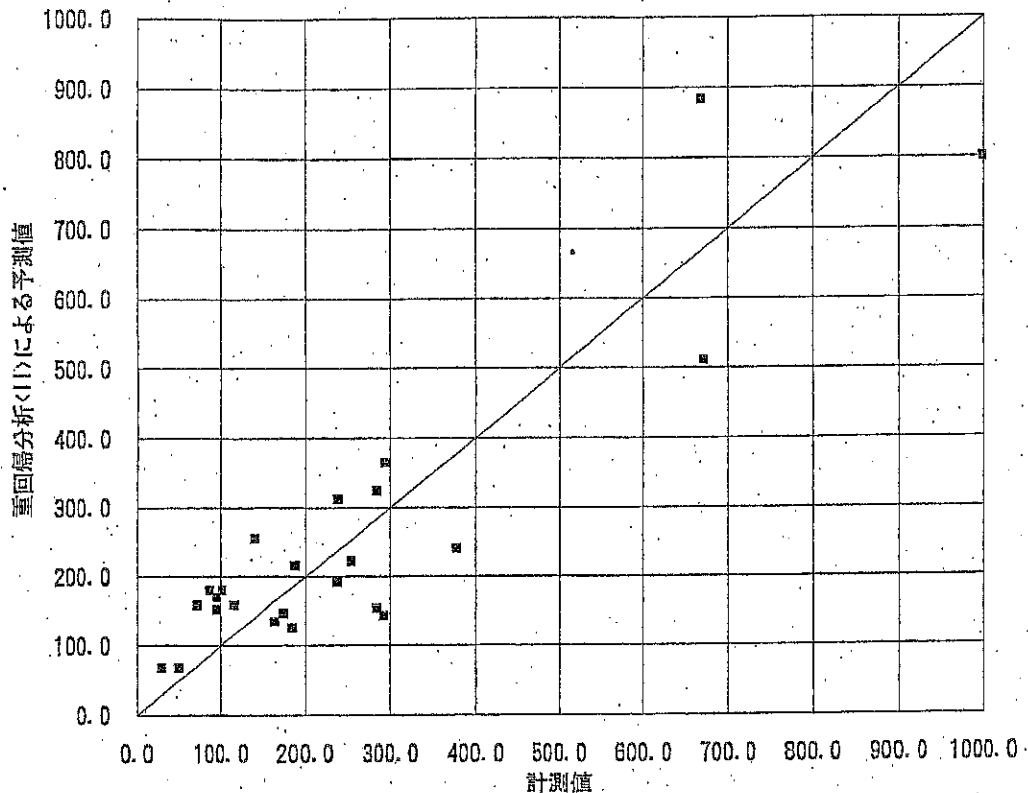


図 1.13: 計測値と重回帰分析<II>による予測値

要時間と出火区画面積の相関それほど高くないことと、避難所要時間と自力避難困難者数/自衛消防隊員数の相関係数(0.88)と1.5.2節で述べた避難所要時間の計測値と予測値の重相関係数(0.90)がほとんど変わらないことから、結局、自力避難困難者数/自衛消防隊員数の値、特に自力避難困難者数が避難所要時間のほとんど全てを決定していると判断できる。

1.6 まとめ

本章では、自治省消防庁により作成された「社会福祉施設・病院 夜間の防火管理体制指導マニュアル」を紹介し、この指導マニュアルにしたがった避難訓練のデータを分析することによって、避難所要時間を決定する要因は区画内にいる自力避難困難者数であることを明らかにした。また、重回帰分析を用いて出火区画面積と自力避難困難者数/自衛消防隊員数を変数とした避難所要時間の予測式を導いた。

第 2 章

避難時間予測のためのデータ整理

2.1 はじめに

本章では、設計時に避難時間を予測するために必要となる人に関するデータと Appendix A で述べる避難時間評価シミュレーションのデフォルト値として必要となる速度に関するデータを既往の文献から引用し整理している。

本章で整理しているデータは、設計者が建物のプラン(構造等を含む)とベッド数(≒入所者数)を決定した後に、避難時間予測を行うために必要となる諸値を与えるものであり、Appendix A の避難時間評価シミュレーションの入力値を決定するための判断材料となるものである。

2.2 既往の研究調査

自力避難困難者、看護婦、介助者に関する研究には、野村らが行った社会福祉施設へのアンケート調査^[7]がある。この調査は全国における各施設の基本的な要因(規模、入所者数、職員数、防災設備など)をアンケートによって把握し、分析している。調査対象は「社会福祉施設・病院 夜間の防災管理体制指導マニュアル」の対象施設のうち、特別養護老人ホーム、老人保健施設、精神薄弱者更正施設、精神薄弱者授産施設、精神薄弱児施設、重症心身障害児施設、重度身体障害者授産施設、身体障害者療護施設、乳児院の 9 種別、合計 917 施設である(アンケートの内容については表 2.1 参照)。

速度や避難動線に関する既往の研究には、大西らが行った模擬患者を使った実験^[8]がある。これは搬送患者の避難行動の定量化を目的としており、特に介助を前提とした搬送避難における個々の介助行為ごとの所要時間とその変動に着目し、様々な搬送手段による避難速度の違いについて調査している。また、森田が行った老人ホームの避難訓練の計測^[13]がある。これは入所中の老人の夜間避難訓練中の移動時間を計測したものである。この他にも、辻本らが行った入院中の患者に関して日常的に移動する際の速度を移動方法ごと(自由歩行、車いす、杖、介助されて移動)に計測したもの^[15]もある。この文献では他にも、移動方法を担送・護送・独歩に分け診療科ごとの比率を 1ヶ月にわたって調査している。また、入院患者を具体的な移動方法に分けて、病室位置を調査している。

表 2.1: アンケート調査の項目

分類	項目	項目内容
建物に関して	建築規模 建築構造 建築用途 建築形式	面積, 階数 鉄筋コンクリート造, 鉄骨造, 木造 使用用途(就寝, 管理サービス) 就寝室の数・階数 就寝室のドアの構造, バルコニーの設置
人に関して	職員 入所者	昼ならびに夜の職員数, 勤務する階 人数(運動能力別), 就寝する階
防火のソフト面	消防署までの距離 消防計画書 防災設備の法定点検 喫煙制限 夜間の巡回 夜間の指導マニュアル	提出の有無, 提出時期 点検の有無, 点検時期 制限の有無, 制限の方法 巡回の回数 マニュアルの認知, マニュアルによる訓練の有無
防火のハード面	自動火災報知設備 非常用通報装置 スプリンクラー 屋内消火栓 放送設備 非常用照明	設置の有無, 設置場所 同上 同上 同上 同上 同上
火災コスト	保険 安全対策費	保険の内容, 保険金額, 保険料

2.3 人に関するデータ

本節で扱っているデータは文献^[7]の引用である。この文献は、全国の社会福祉施設のうち、前述9種の全施設を母集団とし、うち30%(1188施設)を無作為にサンプリングしてアンケート調査を行ったものである。回収率は77.2%(917施設)であった。詳細については、文献^[7]、文献^[9]を参照されたい。また、残り7施設についてのそれぞれの対応関係は表2.2を参照されたい。また、病院に関するデータについては各診療科ごとにデータをまとめた文献^[15]を参照されたい。

2.3.1 入所者の定性的な歩行能力とその比率

文献^[7]では、入所者の日常的な移動を、「介助が必要か」、「歩行の補助道具が必要か」という観点で分類している。数字は各分類の平均値である。

- I) 全面的に「介助」が必要(寝たきり, 介助されての車いす移動など, 28%)
- II) 部分的に「介助」が必要(他の人に支えられて歩行, 9%)
- III) 車いすで「自力」移動(13%)
- IV) 杖, 歩行補助具で「自力」歩行(10%)
- v) 「自力」歩行(40%)

表 2.2: データを示していない施設とその扱い

データを示していない施設	対応策
養護老人ホーム	自力避難困難者数は、特別養護老人ホームより明らかに少ないと考えられる。したがって、特別養護老人ホームの値の数%を用いればよいと考えられる
救護施設 聴覚・言語障害者更生施設 肢体不自由児施設	施設の性格上、自力避難困難者はほとんどいないと考えられる。
盲ろうあ児施設 視覚障害者更生施設	全盲の人の割合が分かればそれを自力避難困難者と考えられるが現状では整理したデータはない。
重度心身障害者更生施設	重度身体障害者授産施設で代用する。

本論では、分類I)とII)を自力避難困難な入所者と判断している。したがって、避難の際に介助が必要な入所者の合計は37%にもなる。図2.1に各施設ごとの入所者に対する自力避難困難者の割合のヒストグラムを示す。なお、上述のようにこの値は日常的な移動に関するものであり、特に精神薄弱者施設等で非常時に値の変動する可能性に留意すべきである。

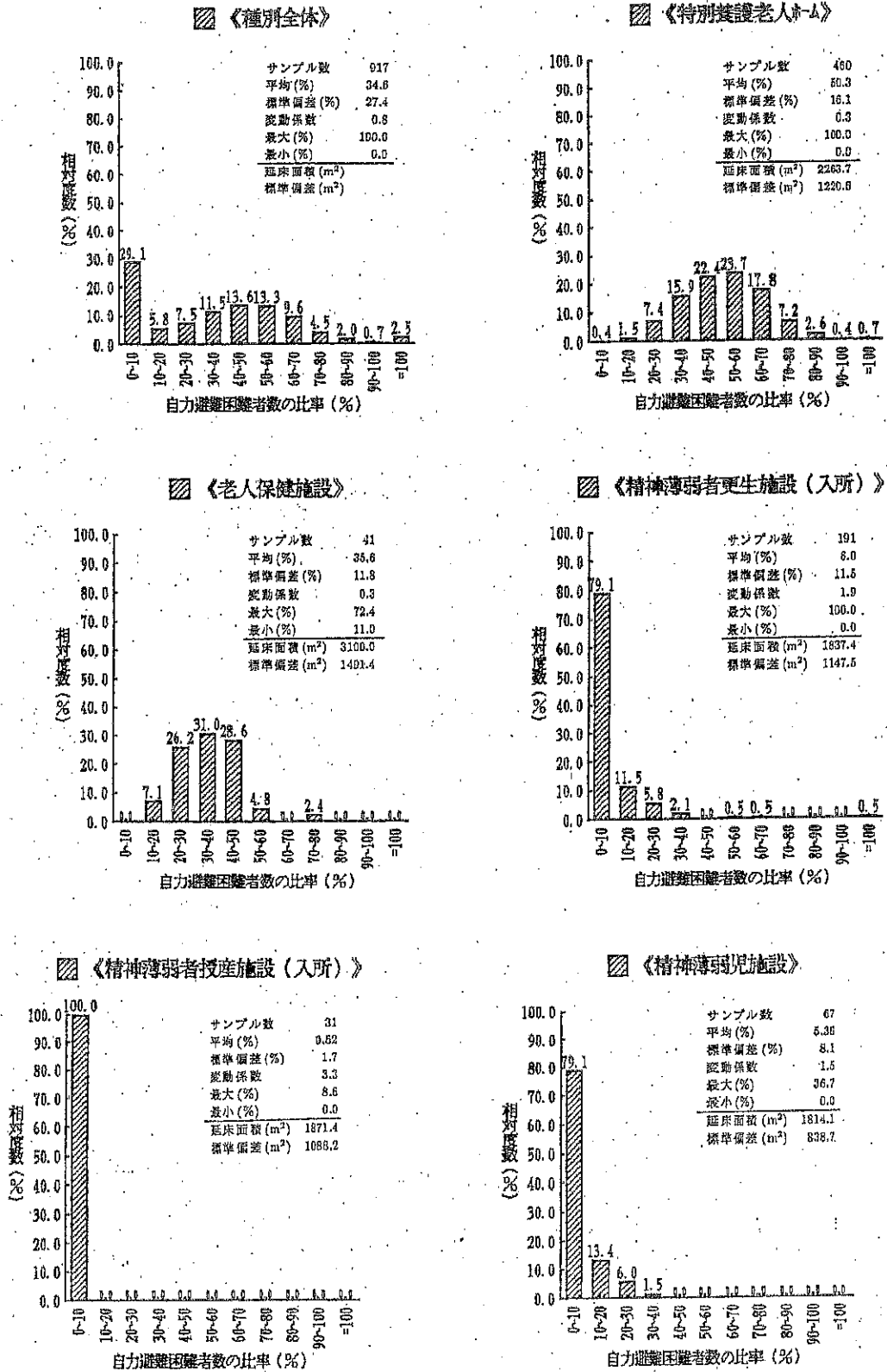


図 2.1: 入所者に対する自力避難困難者の割合の分布(その1)

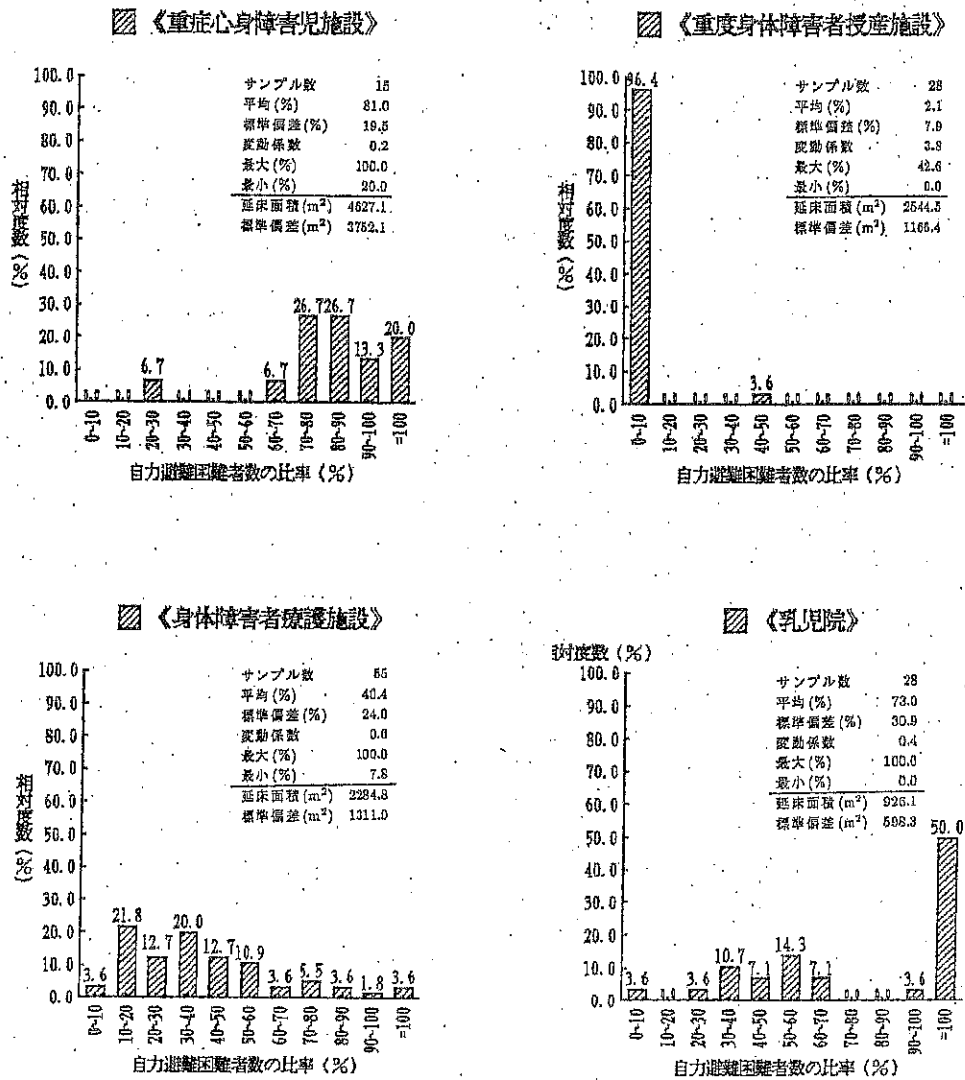


図 2.2: 入所者に対する自力避難困難者の割合の分布(その2)

2.3.2 夜間勤務の職員数

文献^[7]を基に全国の施設の夜間勤務の職員数の平均値と分布を図 2.3に示す。これらは、施設の設置基準にしたがって入所者にほぼ比例する値である。

種別全体では平均 3.6 人(標準偏差 3.1 人)で、重症心身障害児施設の平均 10.3 人(標準偏差 7.5 人)を除いて、ほぼ 2 人から 4 人の範囲である。種別全体というのは、アンケート対象となった 9 施設の全体という意味である。

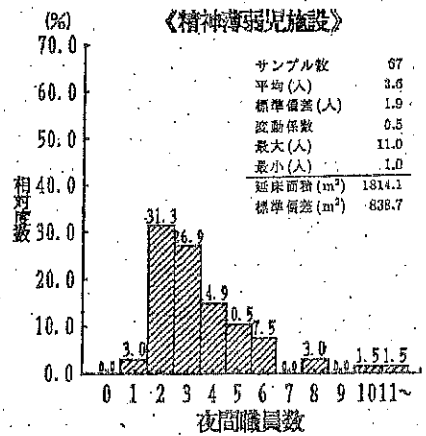
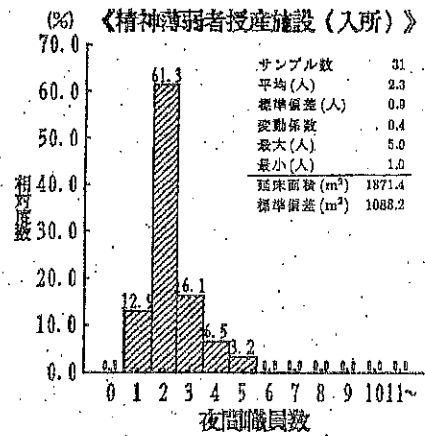
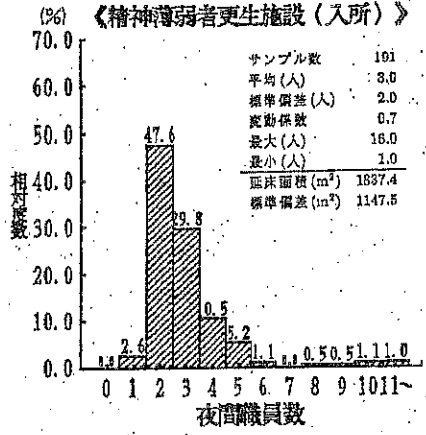
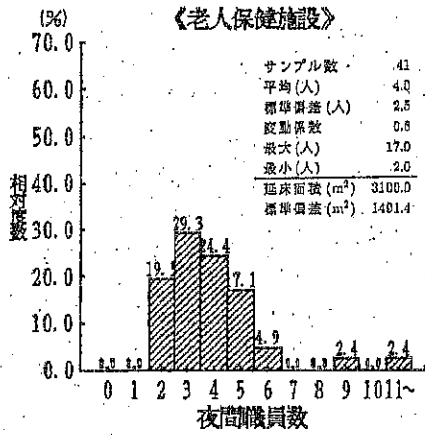
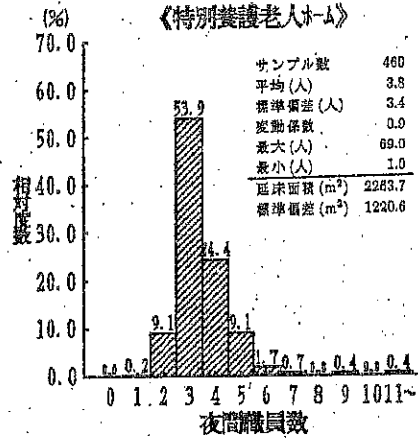
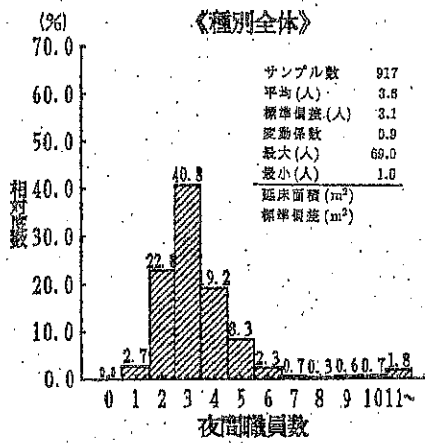


図 2.3: 夜間勤務の職員数の分布(その1)

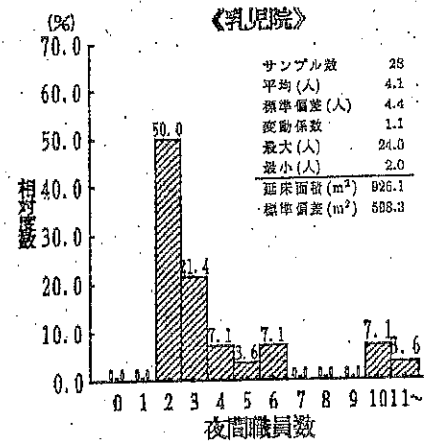
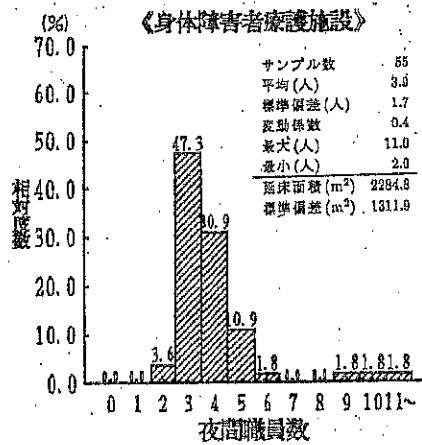
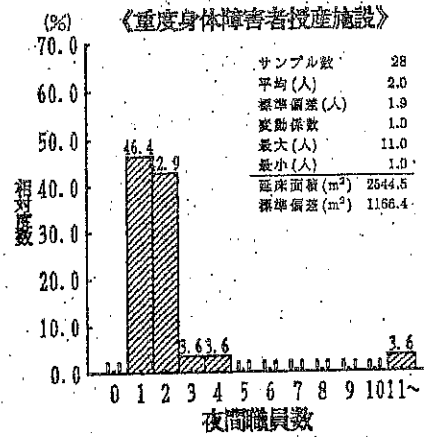
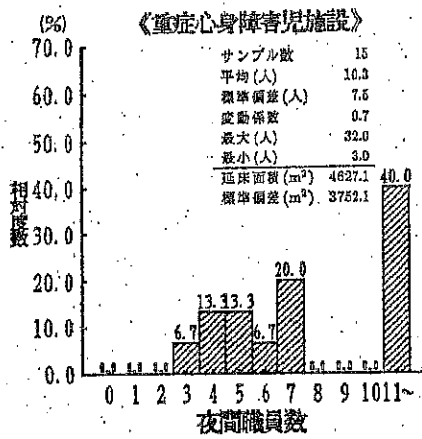


図 2.4: 夜間勤務の職員数の分布(その2)

2.3.3 自力避難困難者に対応する自衛消防隊員数

各施設における自力避難困難者数を 2.3.1 節に定義した分類の人数とし(その合計を NP とする), また, 夜間の自衛消防隊員は 2.3.2 節に示した夜間勤務の職員と考え(施設外からの援助は考慮しない), 自衛消防隊員 2 人 1 組(その組数を NS_2 とする)が搬送する回数 (NP/NS_2 , 単位: 回/組)を求めた。

NP/NS_2 は 1 組の自衛消防隊員が介助を担当する自力避難困難者数を示すものである。

したがって、自力避難困難者を介助する自衛消防隊員の組数は、先に求めた自力避難困難者数に、対応する施設の NP/NS_2 の値の逆数をかけた値になる。

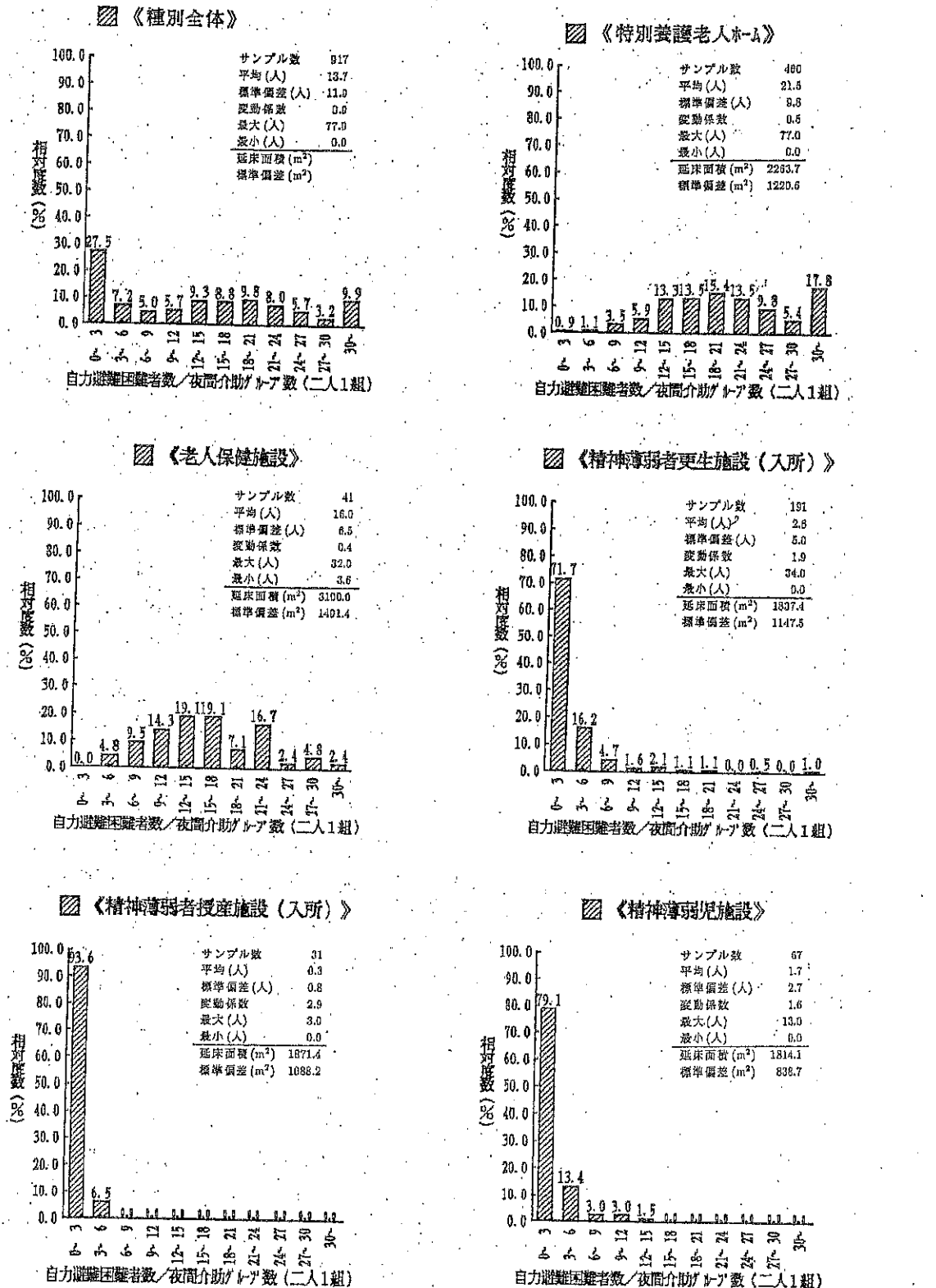


図 2.5: 夜間に自衛消防隊員が介助する自力避難困難者数の分布(その1)

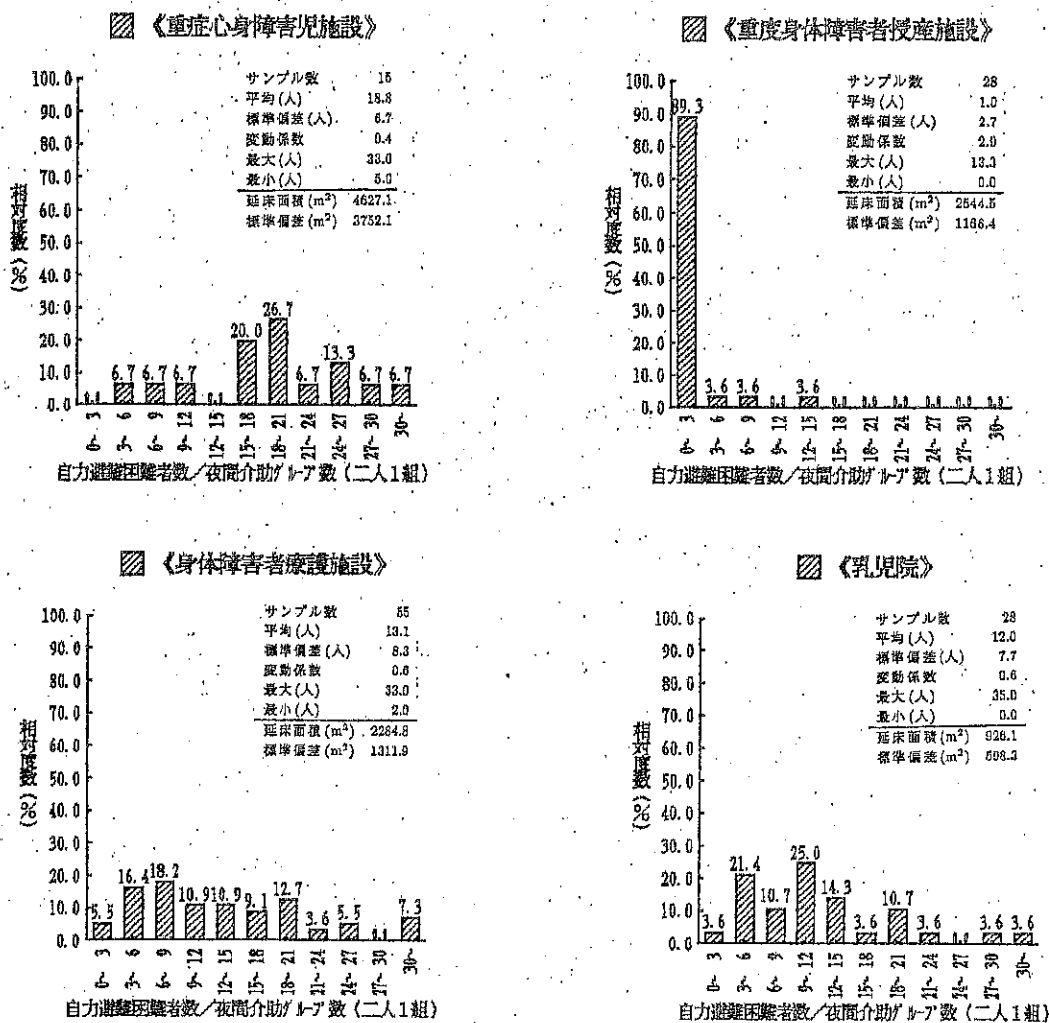


図 2.6: 夜間に自衛消防隊員が介助する自力避難困難者数の分布(その2)

2.4 速度に関するデータ

自衛消防隊員による自力避難困難者の搬送に要する時間については過去の調査結果とシミュレーション利用上の簡便さから、搬送手段を2人1組によるストレッチャー、車いす、腕組みに限定し、これら3種による搬送のための時間を、自力避難困難者なしでの移動時間、自力避難困難者を上記3つの手段へ移すための時間、自力避難困難者を介助しながら

の移動時間の3種に分けて、文献値を示した(表2.4参照)。なお、施設間の差異(施設の用途によって自衛消防隊員の能力に差があるかどうか)については考慮していない。

自力避難困難者を介助しながらの移動速度に関するデータをまとめた研究には、大西らが行った模擬患者を使った実験^[8]、森田が行った老人ホームの夜間避難訓練中の計測^[13]がある。大西らが行った実験は搬送患者の避難行動の定量化を目的としており、特に介助を前提とした搬送避難における個々の介助行為ごとの所要時間とその変動に着目し、様々な搬送手段による避難速度の違いについて調査している。表2.3は、文献^[8]からの引用である。この数値から自衛消防隊員の歩行速度、搬送手段に移す時間、介助中の搬送速度を計算することができる。

表 2.3: 搬送手段別所要時間・平均速度

時間(sec)	水平移動時間							所要時間	
	器具をベッドまで運ぶ	ベッドから器具に移す	水平移動	患者を持ち上げる	防火戸をくぐる	器具から患者を降ろす	元に戻る水平移動	患者搬送	往復時間
ストレッチャー	10.7	14.3	17.2	8.6	4.1	9.1	10.2	64.0	74.2
キースターベッド	4.1	—	23.0	32.5	3.3	13.2	7.9	76.1	84.0
毛布	5.0	26.1	19.6	10.8	4.9	6.0	8.0	72.4	80.4
車いす	9.1	15.8	14.5	—	4.0	19.0	12.5	62.4	74.9
担架	9.1	12.6	25.2	—	5.2	19.3	11.9	71.4	83.3
腕組み	4.1	8.5	17.3	—	3.0	8.1	9.0	41.0	50.0
背負う	4.1	9.1	14.8	—	2.6	7.8	7.8	38.4	46.2
平均値	7.2	16.9	20.5	17.2	4.0	11.1	9.8	66.8	76.6
標準偏差	3.01	7.08	5.35	10.77	0.88	5.66	2.38	16.5	17.79
変動係数	0.42	0.42	0.26	0.63	0.22	0.51	0.24	0.25	0.23
移動距離(m)	8.3	—	31.3	—	5.6	—	28.6	45.2	73.8

2.4.1 自衛消防隊員の歩行速度

表2.3の「器具をベッドまで運ぶ」の項のうち、器具の搬送の必要の無いもの(腕組み、背負うなど)の水平移動時間と移動距離から自衛消防隊員の歩行速度を計算する。

$$\text{歩行速度} = (\text{移動距離 } 8.3\text{m}) / (\text{移動時間 } 4.1\text{s}) = 2.0\text{m/s}$$

2.4.2 自力避難困難者を搬送手段に移す時間

表2.3のベッドから器具に移す時間を自力避難困難者を搬送手段に移す時間とした。表2.4に提案値を示す。

2.4.3 搬送手段・介助中の搬送速度

文献^[8]では、搬送手段として8種類が挙げられているが、本論では、ストレッチャー、車いす、腕組みの3種類の搬送速度を計算した。これは、この3種類が他の搬送手段より比較的搬送速度が速く、避難困難者を落としたりする危険が少ないため、設計時に推奨される方法であると判断したからである。

搬送速度 = (部屋内・廊下を介助中の移動距離) / (部屋内・廊下を介助中の移動時間) と考え、表 2.3 の移動距離 (31.3m) とそれぞれの搬送手段の水平移動時間から搬送速度を計算し、提案値を示す。(廊下が混雑していない場合、自力避難者の避難で廊下が混雑している場合) を示す。表 2.4 に示す。廊下が混雑していない場合の提案値は計算した値の端数を切り捨てた値であり、廊下が混雑している場合の提案値は、自力避難者の歩行速度がおおよそ 0.8m/s である^[13]ことから一律 0.8m/s としている。

表 2.4: 搬送手段に移す時間・介助中の搬送速度

手段	搬送手段に移す時間	搬送速度 ¹⁾ (m/s)		搬送速度の提案	
				混雑なし	混雑あり
ストレッチャー	15(s)	1.82	1.82*	1.8	0.8
車いす	15(s)	2.16	1.93*	2.0	0.8
腕組み	10(s)	1.81	—	1.8	0.8

¹⁾表 2.4 の搬送速度の欄の左側の数値は、表 2.3 から計算したもので、* のついている数値は文献^[13](移動距離 24.94m) に示されている値である。

2.5 まとめ

本章では、設計時に避難時間を予測するために必要となるデータを、人に関するデータと速度に関するデータに分け、既往の研究から引用し整理した。

- 人に関するデータでは、入所者に対する自力避難困難者の割合・夜間勤務の職員数・2人1組の自衛消防隊員が介助すべき自力避難困難者数の全国のアンケート調査の結果の分布図を示した。この結果、社会福祉施設の種類によって入所者に対する自力避難困難者数・それらの人を介助する夜間勤務の職員数が大きく異なることが明らかになった。
- 速度に関するデータでは、自衛消防隊員の歩行速度、自力避難困難者を搬送手段に移す時間、搬送手段ごとの介助中の搬送速度を示した。この結果、搬送手段の搬送速度の違いはそれほど大きな差がないことが明らかになった。

第3章

統計・確率論的手法に基づく火災危険度 評価法

3.1 はじめに

3.1.1 目的

本評価法では、

「ある区画が出火する状況を想定し、その出火区画の中にいる自力避難困難者のうち誰かが煙により避難経路が失われ避難不能になる確率」

を危険度と定義し、この危険度を実際の設計で平面ごとに相対比較できるように定量化することを目的としている。同様な研究の例としては、FTAを用いた志田らの研究^[6]がある。

3.1.2 概要

上記の目的を達成するために、建築構造の分野で研究が進められている統計・確率論的手法に基づく限界状態設計法の各種の荷重や材料強度および構造要素の力学挙動などの不確定性を伴った物理量を定量化して建築構造の安全性や機能性を評価するという考え方を応用する。

具体的には、この設計法での設計外力と構造要素の限界耐力に、火災が発生した場合に建物内にいる人が安全なところに避難するまでの時間(避難時間)と火災により空間そのものが危険になるまでの時間(限界時間)を対応させて限界状態設計法の考え方を取り入れていくものである。

災害弱者施設での火災による避難行動を考えた場合、自力避難困難者の人数・自力避難困難者に対応する介助者の人数・ストレッチャー等の搬送器具を使用することによる廊下の混雑等により、避難時間が変動することが予想される。また、限界時間も火源からの発熱量・平面形態・防災設備(火災感知器、自動消火設備)の信頼性等により変動すると考えられる。このような避難時間・限界時間の変動は、それぞれの事象内に存在する不確定要因

により起こるものであるが、本評価法では、これらの不確定要因を定量化することにより、避難時間・限界時間の分布を求め、これらの分布を用いて避難時間が限界時間を超える確率を計算し、この確率を評価対象区画の火災による危険度とするものである。ここでは避難行動と出火に伴う煙流動とは独立した現象で相互に影響しないことを前提としている。

以下に本評価法の構造を示す。

1. 職員が最も少なくなり入所者が就寝状態にある夜間のある空間(一防火区画)での出火を考える。
2. 設計図面と予想される利用状況から出火区画にいる自力避難困難者全員が出火区画外へ避難するのに要する時間を算定する。
3. 二層ゾーンモデル¹⁴⁾により出火区画の煙流動性状をシミュレートし、出火区画の廊下が煙により避難不能になる時間を算定する。
4. 算定した避難時間・限界時間から出火区画にいる自力避難困難者のうち誰かが避難不能になる確率を計算し、これを危険度とする。このとき、避難行動が開始される時刻(火災を感知し、対応行動を開始する時刻)は、二層ゾーンモデルによる煙流動の計算を開始したときと同時刻とする。
5. 求めた危険度を基準値と比較し、設計図面と利用計画の成否の判断を行う。

基準値を設定する場合には、この評価法を多数の平面に適用し、その危険度の分布から判断できると考えた。

3.2 評価対象区画

指導マニュアルにしたがって避難訓練が行われた特別養護老人ホームを例に火災危険度評価法の適用例を示す。評価対象区画を図3.1に示す。施設の概要については表3.1に示す。また、避難訓練の結果等についても表3.1に併記する。

表 3.1: 施設の概要

施設の概要			
構造	耐火	建築面積	1546.0(m ²)
延床面積	3389.0(m ²)	入所定員	110(人)
指導マニュアルによる避難訓練の計測データから			
バルコニー避難	有	出火区画面積	497.3(m ²)
区画内入所者数	10(人)	区画内自力避難困難者数	10(人)
自衛消防隊員数	5(人)	避難時間	317(秒)
避難開始時間	130(秒)	避難所要時間	237(秒)

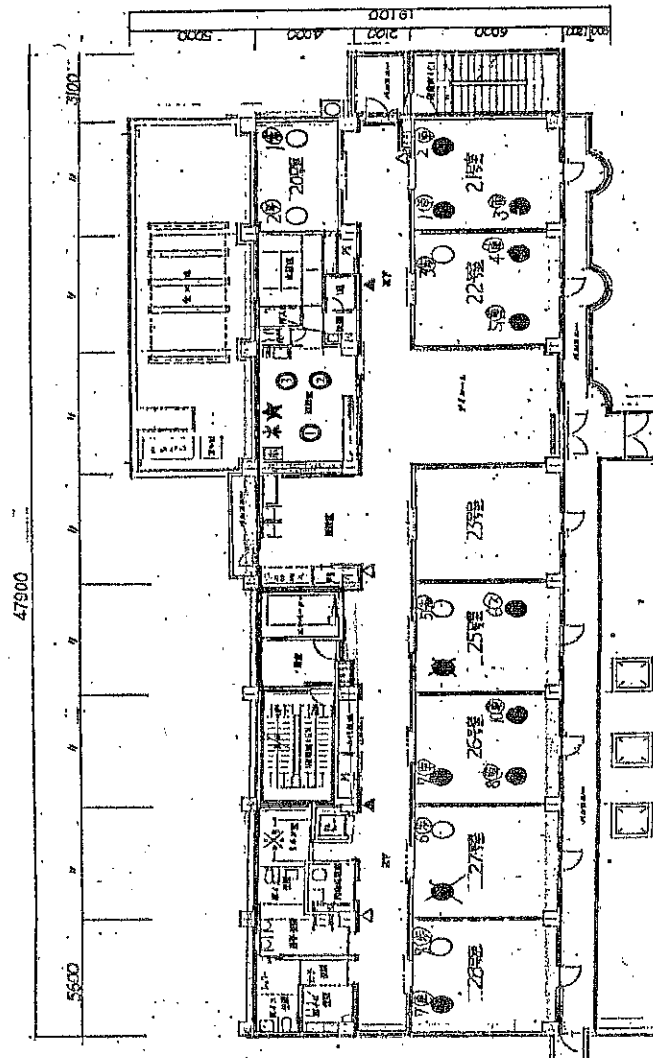


図 3.1: 出火区画の平面図

選択した平面をシミュレーションに適するようにデフォルメしたものを図3.2に示す。

この図では、1の部屋で火災が発生して2の廊下を介して3, 4, 5の部屋へ火災による煙が広がっていく様子を示している。3, 4, 5の部屋には外気と通じる開口が開いている。その開口は、シミュレーション中は火災発生後も開いているものとしている。天井高さは2.3mとしている。開口の大きさについては表3.2を参照されたい。表3.2の開口部の数字は各部屋の番号を示している。1-2の場合は、1の火災室と2の廊下のつながりの開口部を示す。同じ組み合わせがある場合は、その室間に開口が2つあることを示している。6は外気を表しているものとする。

表 3.2: 開口の大きさ

開口部	開口部の大きさ	開口部	開口部の大きさ
1-2	1.8m(縦)×1.0m(横)	1-6	1.8m(縦)×1.5m(横)
2-3	1.8m×3.0m	2-4	1.8m×1.5m
2-5	1.8m×3.0m	2-6	1.8m×1.8m
2-6	1.8m×1.8m	3-6	1.8m×3.0m
4-6	1.8m×3.0m	5-6	1.8m×3.0m

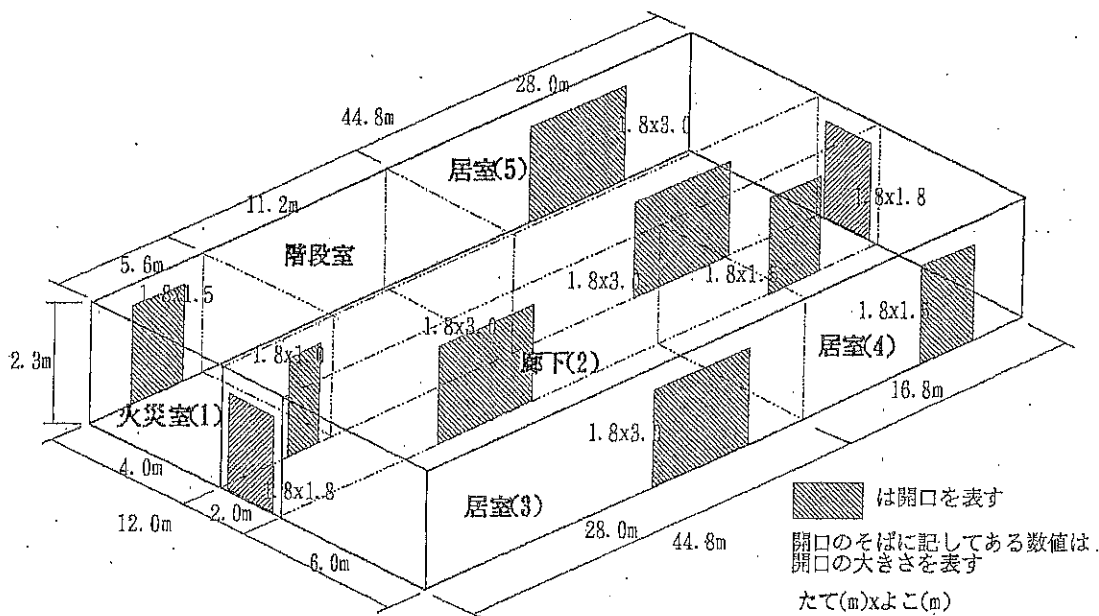


図 3.2: シミュレーションの想定図面

3.3 避難時間分布の算定

ここでは、避難時間の不確定要因を考慮した避難時間分布算定の考え方について説明し、3.2節で示した区画で火災が発生したと仮定した場合の避難時間の分布を算定する。

3.3.1 避難時間分布算定の考え方

本評価法では、避難時間を避難開始時間と避難所要時間に分けて、これらを別々に求めて足すことによって避難時間を求めるものである。以下に避難時間分布算定の考え方を説明する。

- 避難開始時間については、図1.4で示した1)~5)の対応行動のほとんどが指導マニュアルにしたがって行われ、施設の違いによる変動が小さいため、平均値である160秒を用いることとする。
- 避難所要時間については、不確定要因である出火区画にいる自力避難困難者数とこれらの人を介助する自衛消防隊員数を定量的に求め、1.5.2節で求めた避難所要時間の予測式(1.2)に代入して、避難所要時間の分布を求める。

本評価法での式(1.2)における変数の扱いについて

- － 出火区画面積(S)は、評価対象区画が定まれば固定した値になるので、その値を代入する。
- － 出火区画にいる自力避難困難者数は、2.3.1節で示した入所者に対する自力避難困難者の割合が出火区画にあてはまると仮定し、入所者に対する自力避難困難者の割合のヒストグラムから確率密度関数を仮定し、これに出火区画にいる入所者数を掛けることによって分布型を求める。
- － 自力避難困難者を介助する自衛消防隊員数についても同様に、2.3.3節で示したヒストグラムから確率密度関数を仮定し、分布型を求める。
- 以上の考えから、避難時間を T 、入所者に対する自力避難困難者の割合の確率密度関数を f 、出火区画の入所者数を N 、自衛消防隊員数の確率密度関数を g とすると、避難時間の予測式は避難開始時間の160秒と避難所要時間の予測式の和から下式で表せる。この式についてモンテカルロ・シミュレーションによる計算を行い避難時間の分布を求める。

$$T = 160 - 32.4 + 0.146S + 74.7 \frac{N \cdot f}{g} \quad (3.1)$$

3.3.2 避難時間分布の算定

3.3.1節の考え方にしたがって、図3.2に示した区画で火災が発生したと仮定した場合の避難時間の分布を算定する。

3.3.2.1 不確定要因の分布型の仮定

不確定要因として取り上げた出火区画にいる自力避難困難者数と自衛消防隊員数の確率密度関数を2.3.1節、2.3.1節に示したヒストグラムから仮定する。

- 出火区画にいる自力避難困難者数

3.3.1で説明したように出火区画にいる自力避難困難者数を入所者に対する自力避難困難者の割合から求める。入所者に対する自力避難困難者の割合を確率変数 x とし、2.3.1節のアンケート結果のうち、評価対象である特別養護老人ホームのヒストグラムから分布型を正規分布(式(3.2))で仮定する。アンケート調査結果の平均は0.503、標準偏差は0.161であった。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.161} \cdot \exp\left(-\frac{(x - 0.503)^2}{2 \cdot 0.161^2}\right) \quad (3.2)$$

上式の仮定が適当か否かを χ^2 適合度検定により検定した結果、危険率0.5%で有意な差は認められなかった。図3.3に仮定した分布型とヒストグラムを示す。

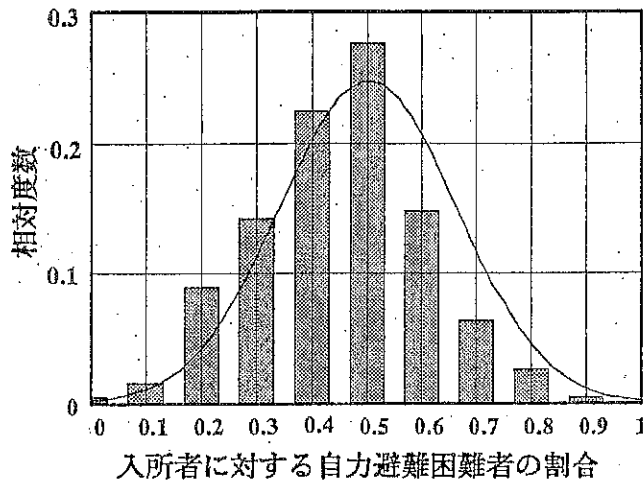


図 3.3: 入所者に対する自力避難困難者の割合

- 自衛消防隊員数

自衛消防隊員数を確率変数 y とし、2.3.3節のアンケート結果のうち評価対象である特別養護老人ホームのヒストグラムから分布型を β 分布(式(3.3))で仮定する。アンケート調査結果の平均は3.8、標準偏差は3.4であった。

$$g(y) = \frac{(y-1)^{q-1} \cdot (69-y)^{r-1}}{(69-1)^{q+r-1}} \cdot \frac{1}{B(q, r)} \quad (3.3)$$

ただし、 q 、 r は分布のパラメーターで、 $q=3$ 、 $r=90$ である。また、 $B(q, r)$ はベータ関数で下式で表される。

$$B(q, r) = \int_0^1 y^{(q-1)} \cdot (1-y)^{(r-1)} dy$$

上式の仮定が適当か否かを χ^2 適合度検定により検定した結果、危険率0.5%で有意な差は認められなかった。図3.4に仮定した分布型とヒストグラムを示す。

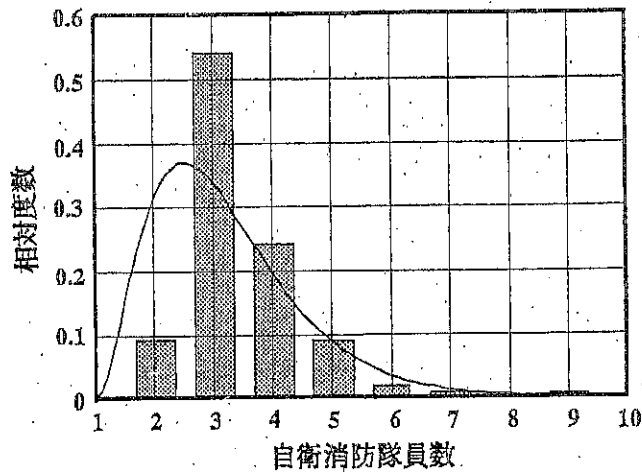


図 3.4: 自衛消防隊員数の分布

3.3.2.2 避難時間分布の算定

避難時間は式(3.1)に示したように、出火区画にいる自力避難困難者数・自衛消防隊員数・出火区画面積を変数とした関数で表現できる。ここでは、前節で求めた式(3.2)、式(3.3)、 $S=497$ 、 $N=18$ を式(3.1)に代入して、モンテカルロ・シミュレーション(サンプル数=5,000)により避難時間を計算した。シミュレーションによる避難時間の平均値は450秒、標準偏差は125秒であった。避難時間計算の結果を図3.5に示す。避難時間を確率変数 t として、シミュレーション結果のヒストグラムから避難時間の分布型を第I種極値分布で仮定する。

$$h(t) = \alpha \cdot \exp(-\alpha(t-u) - \exp(-\alpha(t-u))) \quad (3.4)$$

ただし、 α 、 u は分布のパラメーターで、 $\alpha=0.01$ 、 $u=390$ である。図3.5に仮定した分布型を示す。また、ガンベル確率紙による検定を行った結果を図3.6に示す。実線が、シミュレーションにより得られたデータをプロットしたもので、点線が式(3.1)の値をプロットしたものである。縦軸が標準変量、横軸が避難時間である。この図を見るとシミュレーション結果と仮定した確率分布とが良くあっていることが分かる。

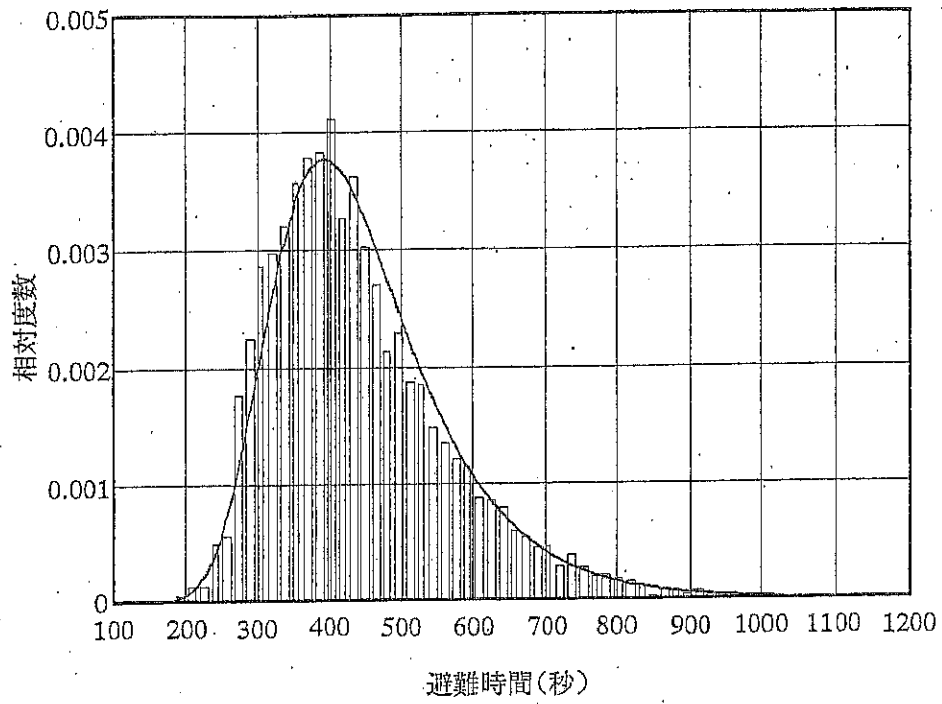


図 3.5: モンテカルロ・シミュレーションによる避難時間計算結果と仮定した分布型

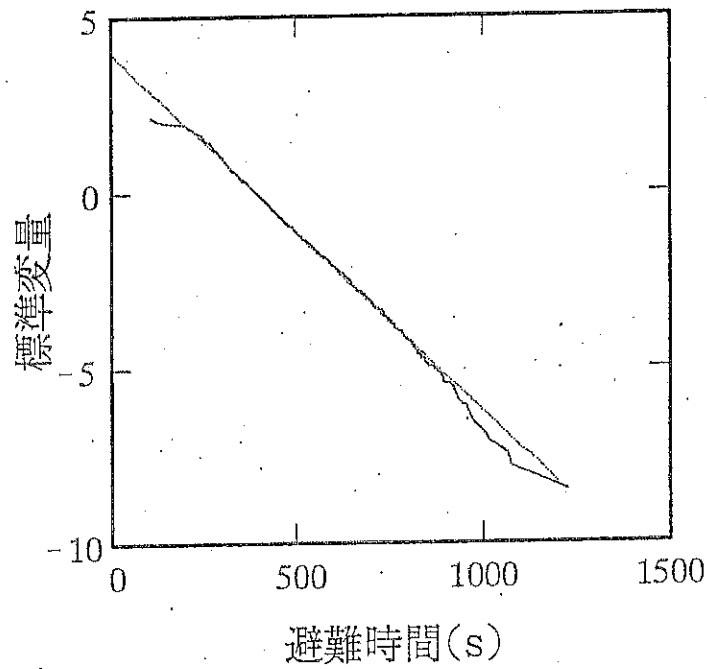


図 3.6: ガンベル確率紙による検定

3.4 限界時間分布の算定

1章に示した指導マニュアルに定められている限界時間は表3.3に示すように内装制限やスプリンクラー設置の有無等の条件によって、出火区画・同一階隣接区画・直上階隣接区画の3つに分けて示されている。しかし、指導マニュアルには限界時間を定める際の根拠が示されていないうえに、実際に火災が発生した場合には、限界時間は火災の規模に大きな影響を受けると考えられるがこのことも考慮されていない。

ここでは、限界時間の不確定要因を考慮した限界時間算定の考え方について説明し、3.2節で示した区画で火災が発生したと仮定した場合の限界時間の分布を算定する。

表 3.3: 指導マニュアルで定めている限界時間の算定方法

建築構造, 内装, 消防用設備等の状況						限界時間					
SP・内装		バルコニー使用の有無・区画の種類					出火区画	同階隣接	上階隣接	選択	
スプリンクラー設置	内装制限	バルコニー使用		その他						防炎化	消火栓
		不燃化区画	各室戸区画	不燃化区画	各室戸区画	区画なし					
○	—	○					15	20	*	*	*
			○				13	19	*		
				○			12	16	*		
					○		11	15	*		
						○	9	13	*		
×	○	○					9	13	18	+1	+1
			○				7	12	17		
				○			7	10	15		
					○		6	9	14		
						○	5	8	13		
×	×	*					*	*	*	*	+1
			○				4	9	14		
				*			*	*	*		
					○		3	6	11		
						○	2	5	10		

数字は時間(分)

防炎化: 寝具類の防炎化による限界時間の延長

消火栓: 対応行動での屋内消火栓の使用による限界時間の延長

○: 該当する ×: 該当しない —: どちらでもよい *: 設定なし

同階隣接: 出火区画と同一階の隣接区画

上階隣接: 出火区画の直上階の隣接区画

3.4.1 限界時間分布算定の考え方

我々に統計的事実として示されているのは被災した施設の焼損面積だけである。これから限界時間を算定することは事実上不能とされるが、本論では以下の方法で算定した。

1. 出火区画部での開口条件を同定する。
2. 焼損面積が、図3.8に示す発熱量の時間変化モデルの最大発熱量(Q_i)に比例するものとし、この発熱量の時間変化モデルを使って煙流動シミュレーションを行う。
3. 煙流動計算には二層ゾーンモデル^[14]を用い、避難限界を求める指標として煙層高さ・煙層温度を設定する。二層ゾーンモデルにより計算された煙層高さ・煙層温度が怒限値を超えたときに煙により避難不能になるものとし、この時間を限界時間とする。

3.4.1.1 想定火源の設定

二層ゾーンモデルを用いて煙流動性状を予測する際には、「想定火源」としてある大きさの火源(標準的なものとして3MW)を用いてシミュレーションを行うことが多いが、この火災の大きさが発生する確率については明らかにされていない。そのため、このような火源を用いたシミュレーションの結果には多少の疑念が生じる。

そのような疑念をなくすため、ここでは2.に示したように、火災が発生した場合の最大発熱量が実際にデータの入手できる焼損面積に比例するものと仮定し、過去に発生した災害弱者施設での火災の焼損面積を最大発熱量に読みかえることによって、二層ゾーンモデルでのシミュレーションに用いる火源の大きさを決定する。以下に、焼損面積の分布図の作成に用いた火災データの概要を説明し、想定火源の考え方を示す。

● 統計データの概要

今回、使用した火災統計データは、東京都内で過去6年間(1982.1.1~1987.12.31)に消防が出動した住宅以外の建物に関連した火災データベースで、自治省消防庁で収集・整理されたデータである。災害弱者施設での火災は66件であった。図3.7に10m²ごとに相対度数を求めた焼損面積のヒストグラムを示す。

● 焼損面積から最大発熱量への変換

図3.7より1m²当たり0.1MWの発熱量を想定して最大発熱量の分布を求めたものが図3.8である。表3.4にそれぞれの火源の発生確率を示す。各レンジの()内の値を代表値としてシミュレーションを行う。

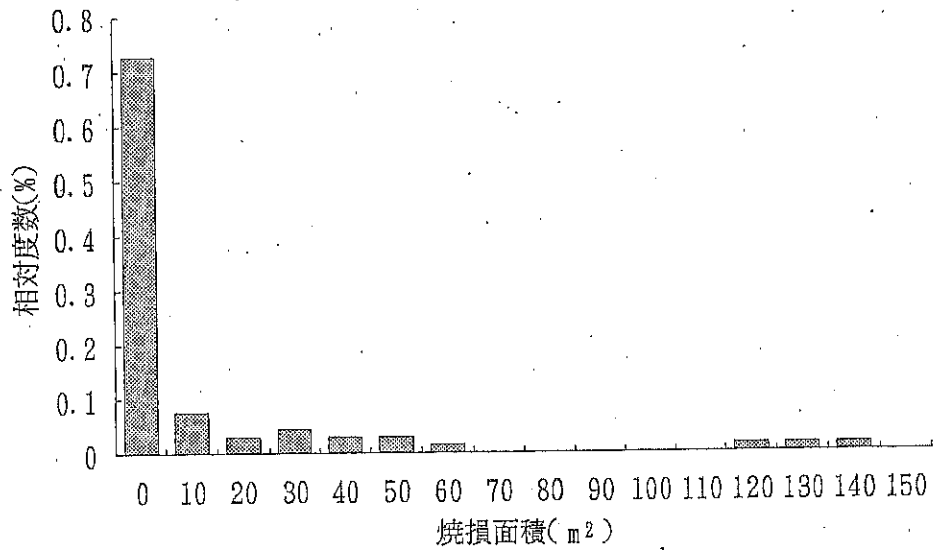


表 3.4: 最大発熱量の発生確率

最大発熱量 (MW)	発生確率 (%)	最大発熱量 (MW)	発生確率 (%)
1.5 以下 (1)	80.3	1.5~2.5 (2)	3.0
2.5~3.5 (3)	4.6	3.5~4.5 (4)	3.0
4.5~5.5 (5)	3.0	5.5 以上 (6)	6.1

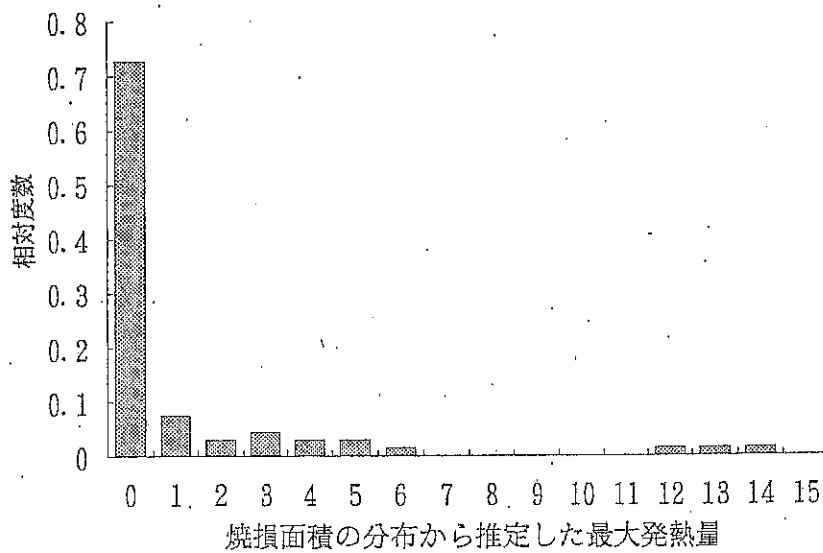


図 3.8: 最大発熱量の相対度数分布

● 想定火源の設定

文献^[12]には、宿泊室、病室用の初期火災用想定火源として以下の図 3.9 に示す設定値が示されている。最大発熱量は 3MW が与えられている。

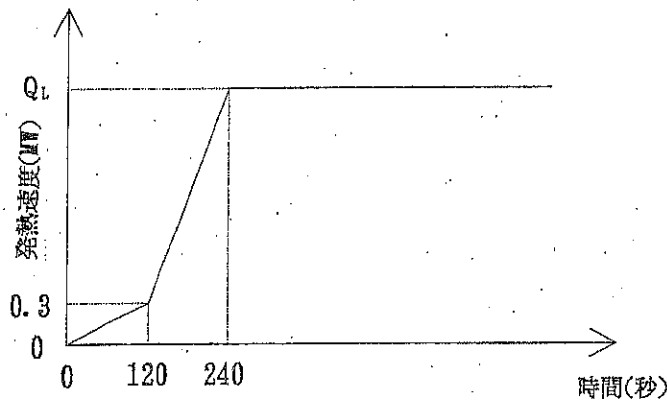


図 3.9: 想定火源の発熱速度

図 3.9 の Q_L を焼損面積より求めた最大発熱量におきかえて、シミュレーションに用いる想定火源とする。

3.4.1.2 恕限值の設定

ここでいう恕限值とは、出火区画にいる自力避難困難者が煙により出火区画外に避難できなくなる時点进行判断する物理量のこと、本評価法では二層ゾーンモデルを用いて計算した、隣接区画への避難通路となる廊下の煙層高さと煙層温度を恕限值設定の指標とした。

煙層高さが式 (3.5) を満たした時間を煙暴露開始時間 (t_s) とする。初期の煙層は火災ブルームが上昇過程で多くの空気を巻き込むため濃度も温度の低い。したがって、たとえ煙層の中に捉われてもそれが空気で希釈された煙であれば、ある程度避難ができると考えられる。そこで、式 (3.6) で煙層温度により煙の濃度を表現し、煙層温度が式 (3.6) を満たした時点で避難不能になるものとする。このときの時間を避難の限界時間 (t_l) とする。以下に恕限值の算出式を示す。

- 煙暴露開始時間 (t_s) の算出

避難経路に進入した煙により形成される煙層床上高さが下式を満たした時間を煙暴露開始時間 (t_s) とする。

$$M < 1.6 + 0.1H \quad (3.5)$$

M : 煙層境界の避難経路床上高さ (m)

H : 火源位置からの天井高さ (m)

- 限界時間 (t_l) の算出

避難者が暴露される煙の温度が下式を満たした場合に避難不能になるものとする。

$$\int_{t_s}^{t_l} (\Delta\theta)^2 dt \geq 4.0 \times 10^3 \quad (3.6)$$

$\Delta\theta$: 煙の温度上昇 (K)

3.4.2 限界時間分布の算定

3.4.1節の考え方にしたがって、図 3.2 に示した区画で火災が発生したと仮定した場合の限界時間の分布を算定する。

3.4.2.1 開口条件の同定

3.2節で示した開口が全て開放されているものと火災室と廊下の開口がのみが閉じているものの2種類の開口条件で二層ゾーンモデルによる計算を行った。以後、開口が全て開放されているものを開口条件(1)、火災室と廊下の開口がのみが閉じているものを開口条件(2)とする。

表 3.5: 開口条件

開口条件	開口の状態
(1)	1-2 1.8m(縦)×1.0m(横)
(2)	1-2 1.8m(縦)×0.01m(横)

3.4.2.2 開口条件(1)での限界時間の分布

- 二層ゾーンモデルによる計算結果(1)

火源の最大発熱量を1MWから6MWまで1MWずつ変化させ二層ゾーンモデルによる計算を行った。廊下の煙層高さ・煙層温度の各最大発熱量ごとの時間変化をそれぞれ図 3.10, 図 3.11 に示す。煙層高さは発熱量による差はほとんどない。煙層温度は発

熱量による違いが明確に表れており、発熱量が大きいほど温度上昇が速いことが分かる。

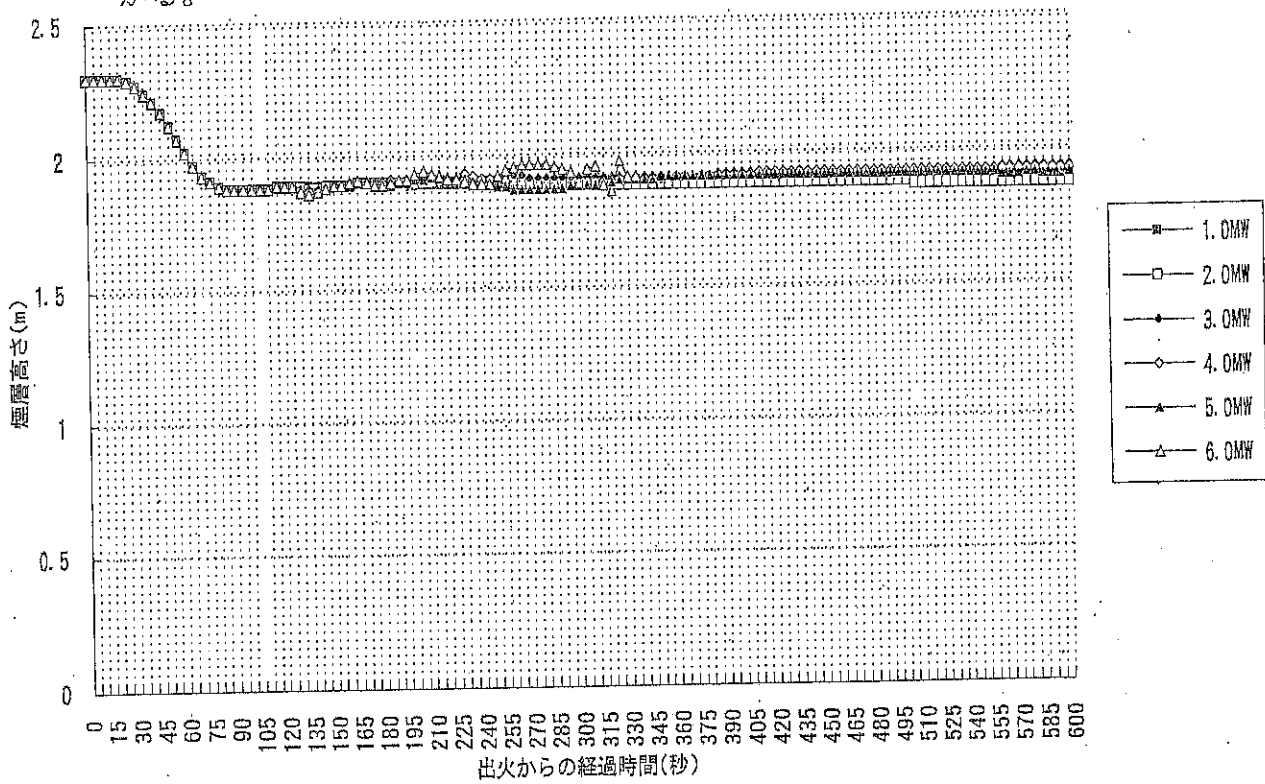


図 3.10: 各最大発熱量ごとの煙層高さの時間変化(1)

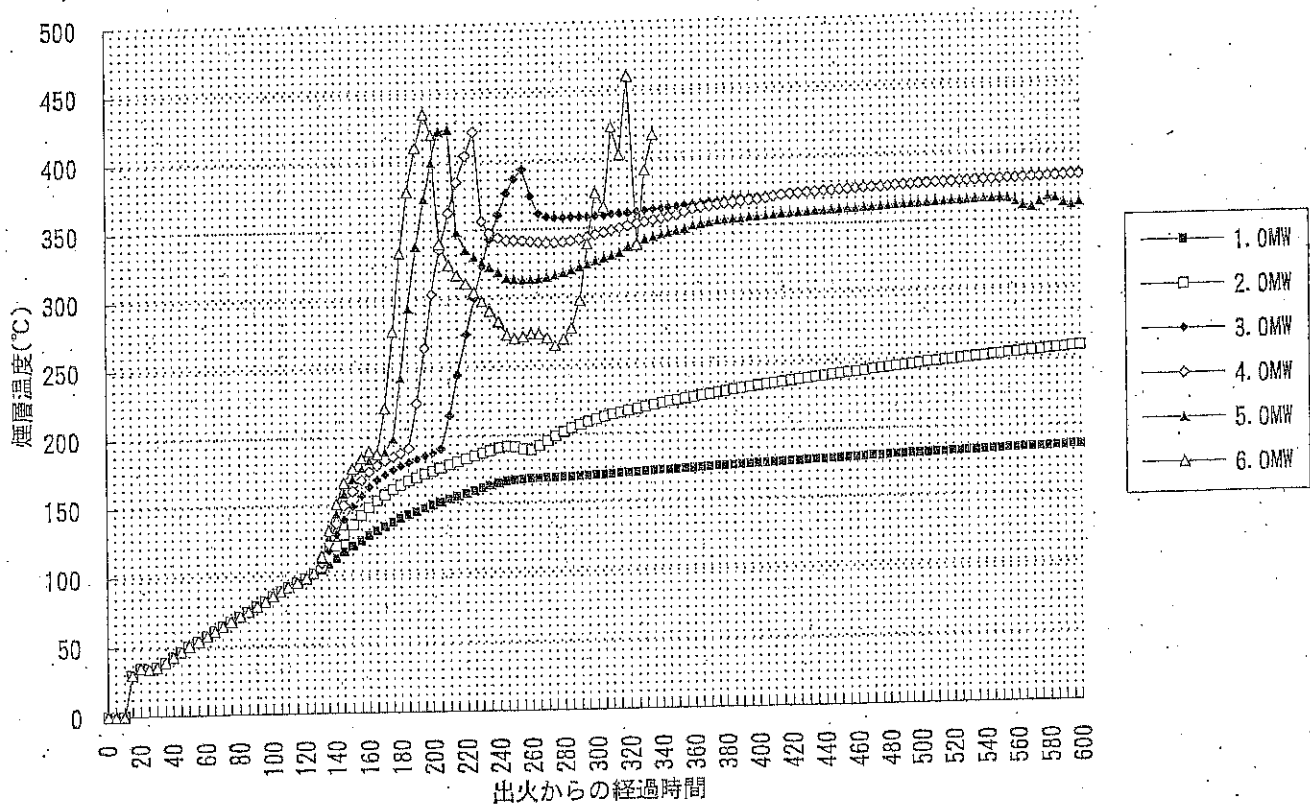


図 3.11: 各最大発熱量ごとの煙層温度の時間変化(1)

- 限界時間の分布(1)

式(3.5)により煙暴露開始時間を計算した結果、全ての発熱量において計算開始から85秒後に煙層高さが式(3.5)を満たし、煙暴露時間に達した。

式(3.6)の t_l に式(3.5)で求めた85を代入し限界時間を計算した。1MWの場合は、煙暴露時間に達したものの煙層温度はそれほど上昇せず、限界時間に達しなかった。2MWでは270秒後、3MWでは210秒後、4MWでは190秒後、5MWでは175秒後、6MWでは155秒後にそれぞれ式(3.6)を満たし、限界時間に達した。計算結果を表3.6に示す。図3.12に限界時間の分布図を示す。

表 3.6: 限界時間の算定結果(1)

発熱量(MW)	限界時間(秒)	発生確率(%)	発熱量(MW)	限界時間(秒)	発生確率(%)
1以下	無し	80.3	4	190	3.0
2	270	3.0	5	175	3.0
3	210	4.6	6以上	155	6.1

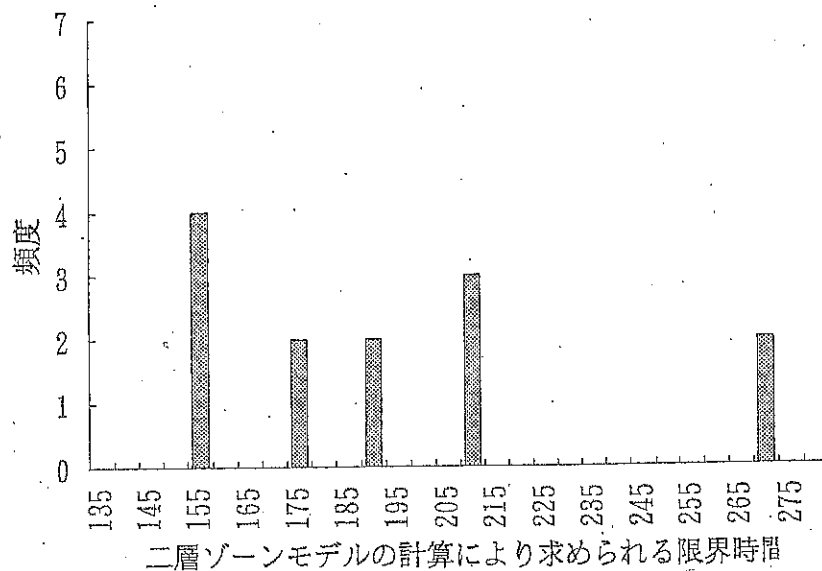


図 3.12: 限界時間の分布(1)

3.4.2.3 開口条件(2)での限界時間の分布

● 二層ゾーンモデルによる計算結果(2)

火源の最大発熱量を1.0MWから6.0MWまで1.0MWずつ変化させ二層ゾーンモデルによる計算を行った。廊下の煙層高さ・煙層温度の各最大発熱量ごとの時間変化をそれぞれ図3.13、図3.14に示す。火災室と廊下の開口が開いているときと同様に煙層高さは発熱量による差はほとんどない。煙層温度は発熱量による違いが明確に表れており、発熱量が大きいほど温度上昇が速いことが分かる。

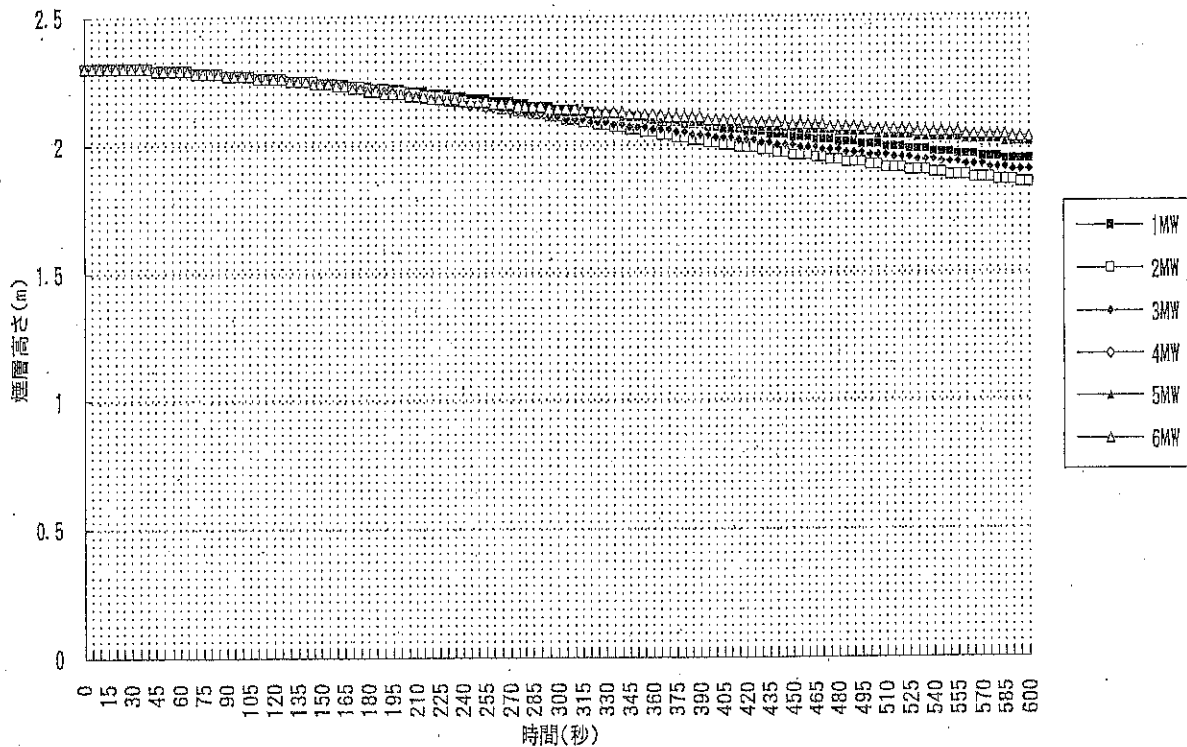


図 3.13: 各最大発熱量ごとの煙層高さの時間変化(2)

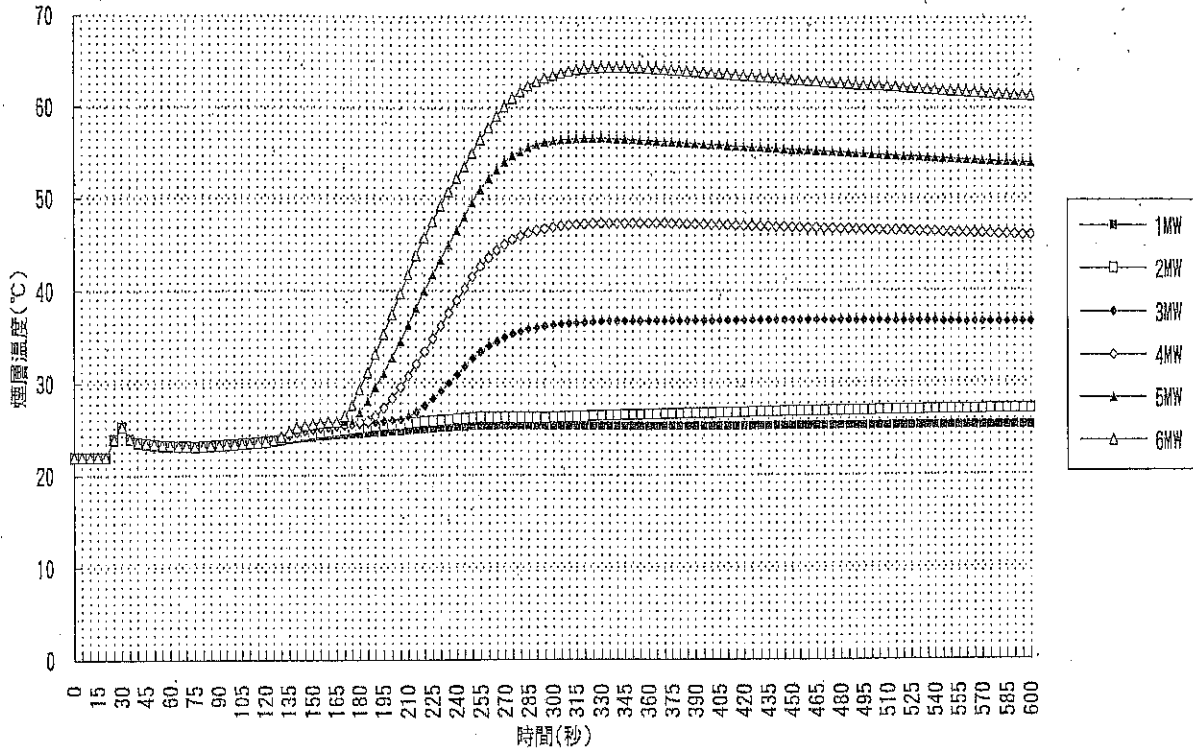


図 3.14: 各最大発熱量ごとの煙層温度の時間変化 (2)

• 限界時間の分布 (2)

式 (3.5) により煙暴露開始時間を計算した。全ての発熱量において計算開始から 20 分経過しても煙層高さが式 (3.5) を満たすことはなく、限界時間に達することはなかった。

3.5 危険度の計算結果

3.5.1 危険度算出の考え方

各発熱量での危険度を計算し、その危険度に発熱量の発生確率を掛け、それらを全て足したものが施設全体の危険度になる。

危険度計算の考え方を図 3.15 に示す。避難時間が、発熱量 i での限界時間より長い場合に避難不能になるので、この限界時間での危険度は図 3.15 の斜線部の面積になる。したがって、発熱量 i での危険度は、この面積にその発熱量の発生確率 $P_f(i)$ を掛けた値になる。

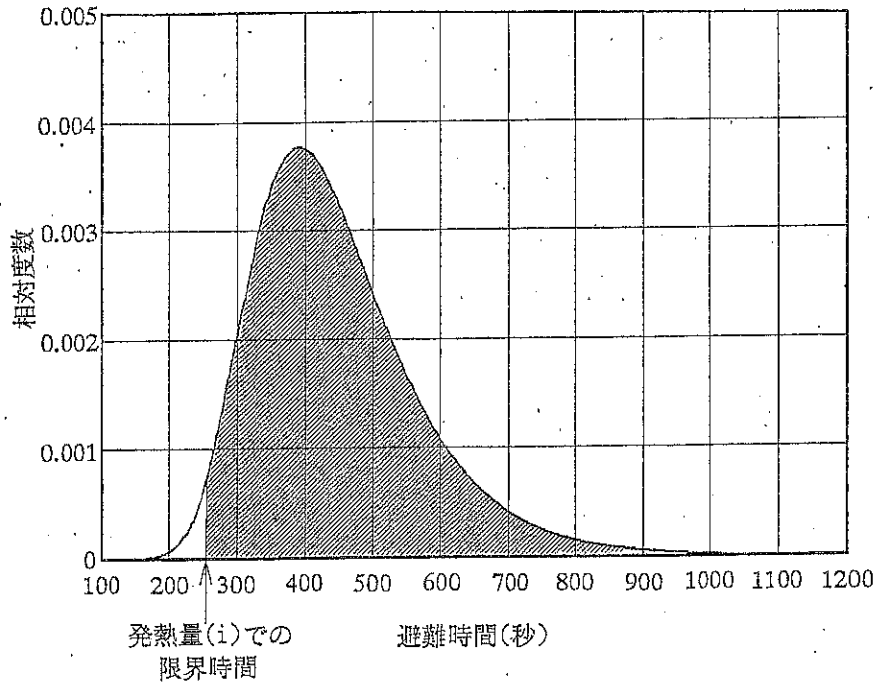


図 3.15: 危険度計算の概念図

したがって、危険度 (R) の算定式は以下のようなになる。

$$R(i) = P_f(i) \cdot \int_{t_l}^{\infty} h(t) dt \quad (3.7)$$

ここに、 i : 発熱量 (MW), $P_f(i)$: 発熱量 i の発生確率, $t_l(i)$: 発熱量 i での限界時間である。

3.4節, 3.3節の考え方にしたがって求めた限界時間と避難時間から、避難時間が限界時間を超える確率を求め、その確率を火災が発生したときの危険度とする。

3.5.2 危険度の計算結果

• 開口条件 (1) の場合の危険度

各発熱量による危険度の計算

— 発熱量 1MW

発熱量が 1MW の時は、二層ゾーンモデルにより 20 分間のシミュレーションを行ったが、煙層温度・煙層高さとも恕限值に達しなかったため、危険度は 0 となる。

$$R(1) = 0$$

— 発熱量 2MW

発熱量が 2MW の時は、限界時間は 270 秒であるので、危険度は、

$$R(2) = 0.030 \cdot \int_{270}^{\infty} T(x) dx = 0.029$$

となる。

－ 発熱量 3MW

発熱量が 3MW の時は、限界時間は 210 秒であるので、危険度は、

$$R(3) = 0.046 \cdot \int_{210}^{\infty} T(x) dx = 0.046$$

となる。

－ 発熱量 4MW

発熱量が 4MW の時は、限界時間は 190 秒であるので、危険度は、

$$R(4) = 0.030 \cdot \int_{190}^{\infty} T(x) dx = 0.030$$

となる。

－ 発熱量 5MW

発熱量が 5MW の時は、限界時間は 175 秒であるので、危険度は、

$$R(5) = 0.030 \cdot \int_{175}^{\infty} T(x) dx = 0.030$$

となる。

－ 発熱量 6MW

発熱量が 6MW の時は、限界時間は 155 秒であるので、危険度は、

$$R(6) = 0.061 \cdot \int_{155}^{\infty} T(x) dx = 0.061$$

となる。

以上の結果から、この区画の危険度は、

$$R = R(1) + R(2) + R(3) + R(4) + R(5) + R(6) = 0.196$$

となる。つまり、この区画内で火災が発生した場合、自力避難困難者のうちの誰かが煙により避難不可能になる確率が 0.196 になるということである。

● 開口条件 (2) の場合の危険度

開口条件 (2) では、どの発熱量においても限界時間に達しなかったので危険度は 0 となる。

3.6 まとめ

提案した火災危険度評価法をモデル区画に適用して危険度を求めた結果、火災室の開口条件 (火災室と避難経路となる廊下との開口が開いているか、閉じているか) によって、火災によって発生した煙による危険度が大きく変化することが明らかになった。このことは、火災が発生した場合に火災室の区画を逸早く形成しなければいけないということを裏付ける結果となっている。

また今後は、多数の平面に評価法を適用して得られる評価値の分布から規準値を設定し、相対的な評価が行われるようになることが望まれる。

結

1章では、自治省消防庁により作成された「病院・社会福祉施設の夜間の防火管理体制指導マニュアル」を紹介し、指導マニュアルにしたがった避難訓練のデータを分析し、避難所要時間を決定する要因は、避難距離ではなく、区画内の自力避難困難者数であることを明らかにした。このことは避難距離とその時の移動速度から計算される移動するための時間が自力避難困難者を搬送器具に移すのに要する時間に比べて小さいという過去に行われた実験研究の結果と一致している。また、重回帰分析により出火区画面積と自力避難困難者数/自衛消防隊員数を変数とした避難所要時間の予測式を導いた。

2章では、設計時に避難時間を予測するために必要となるデータを、人に関するデータと速度に関するデータに分け、既往の研究から引用し整理した。

- 人に関するデータでは、入所者に対する自力避難困難者の割合・夜間勤務の職員数・2人1組の自衛消防隊員が介助すべき自力避難困難者数の全国のアンケート調査の結果の分布図を示した。この結果、社会福祉施設の種類によって入所者に対する自力避難困難者数・それらの人を介助する夜間勤務の職員数が大きく異なることが明らかになった。このことは、避難時間に大きな影響を与えると考えられる。
- 速度に関するデータでは、自衛消防隊員の歩行速度、自力避難困難者を搬送手段に移す時間、搬送手段ごとの介助中の搬送速度を示した。この結果、搬送手段の搬送速度の違いはそれほど大きな差がないことが明らかになった。

3章では、煙流動性状予測シミュレーションである二層ゾーンモデルを利用して、火源からの発熱量の大きさを考慮した限界時間の算定方法を示した。これにより火災室と廊下の開口の開放状態により限界時間に大きな差が生じることが明らかになった。また、1章で導いた避難時間の予測式を用いて自力避難困難者数・自衛消防隊員数・出火区画面積を考慮した避難時間の算定方法を示した。種々の不確定要因によって生ずる限界時間・避難時間の変動の幅を統計・確率論的手法を用いて定量化して危険度を求める統計・確率論的手法に基づく火災危険度評価法を提案し、その適用例を示した。

謝辞

本論文を作成するにあたり、始終一貫して懇切丁寧な御指導、御援助を頂いた名古屋大学建築学科辻本 誠教授ならびに朴 哲也氏、河野 守講師に深く感謝いたします。ゼミ等でお世話になりました中原 信生教授をはじめとする環境系講座の諸氏、および愛知工業大学建部 謙治講師に感謝の意を申し上げます。

また、データベースを提供していただいた自治省消防庁の関係諸氏、資料を提供していただいた災害弱者利用施設等防火安全対策検討委員会第一部会の関係者諸氏、日本大学講師志田 弘二助手に感謝申し上げます。

最後に論文作成の際に、多くの援助・協力・激励をしていただいた防災安全工学講座の皆様感謝します。

長谷部 弥
1994年2月

Appendix A

避難時間評価シミュレーション

A.1 はじめに

本シミュレーションは、指導マニュアルでの検証の際に不都合が生じないようにあらかじめ設計時に図面をチェックするためのものである。

火災発生時の避難行動に関する研究は萩原らの研究^[4]等数多くみられるが、これらの研究は健康な人の避難行動が対象であり、そのうえ行動の順序や内容についてはそれほど問題視されていない。これに対して、介助行動が考慮できるシミュレーションは、海老原らのシミュレーション^[2]や平松らのシミュレーション^[5]がある。これらのシミュレーションの特徴は、シミュレーションの実行時の状況を画像を通して確認できるため、無理・無駄のない避難・救助法の導入に役立てることができることである。

しかし、平松のシミュレーションではシミュレーションを行う際の入力データが非常に多く入力に時間がかかるといった問題がある。また、海老原のシミュレーションは計算量が膨大になるため現在のパソコンではメモリーが足らなくなるといった問題が生じている。

そこで本章では、これらのものと比べてより簡単な、介助行動を考慮できる避難時間評価シミュレーションの考え方を示し、プログラム言語としてBASICを用いてプログラムを組み、実際の避難訓練のデータを用いてプログラムの検証を行った。

避難時間計算の手順は、施設の種類ごとに与えられたデータ(2参照)を用いて、以下の1., 2.を決め、その後に3.を計算するという順になる。

1. 入所者のうち、自力での避難が困難な人の割合から自力避難困難者数を決める。
2. 夜間に職員(2人1組として)が介助する自力避難困難者数から対象施設の自衛消防隊員の組数を決める。
3. 自衛消防隊員による自力避難困難者の搬送手段を決め、これに対応して搬送に要する時間を計算する。

ここで自衛消防隊員を2人1組としているのは、プログラムの簡素化と、現実の実験データ・避難訓練で得た知見から自力避難困難者の介助では1人で1人を移動させるよりも2人1組で1人を移動させる方が効率がいいとされているためである^[8]。

A.2 シミュレーションの構成

A.2.1 シミュレーションの考え方

本章で提案する避難時間評価シミュレーションは、マニュアルでの避難訓練の際に不都合が生じないようにするためのものである。1章で説明した指導マニュアルの対応事項にしたがって、それぞれの対応行動に要する時間を計算して、それを順に足して避難時間を求めるものとする。指導マニュアルでの対応事項は以下のようにになっている。

- 1) 出火場所の確認
自動火災報知設備の受信機または副受信機により出火場所を確認する。
- 2) 現場の確認
出火場所に行き、現場の状況を確認する。
- 3) 初期消火
消火器または屋内消火栓により初期消火を行う。
- 4) 消防機関への通報
電話または非常通報装置により火災である旨を消防機関へ通報する。
- 5) 区画の形成
防火戸を閉鎖して、出火区画、隣接区画等の防火区画を形成する。
- 6) 情報伝達及び避難等
火災を確認後、入所者等及び隊員に火災である旨及び避難すべき旨を伝達・指示するとともに、入所者等をより安全な場所へ順次避難させる。
- 7) 消防隊への情報提供
消防隊の活動が効率的に行われるよう、消防隊に対し情報の提供を行う。
- 8) 近隣事業所等の応援
近隣事業所等の応援がある場合は、上記対応事項の一部について応援を受けることができる。

実際の避難訓練では、これらの対応事項を8つに分けて計測を行っている。評価シミュレーションにおいても、図1.4と同様に対応事項を8つに分けてそれぞれの行動に要する時間を計算し、加算するという方法で避難時間を求める。

したがって、評価シミュレーションでの避難時間の内訳は表A.1のようになる。また、これらの対応行動を行う自衛消防隊員数は、出火場所の確認から避難誘導のための非常放送まで($T_1 \sim T_5$)を自衛消防隊員1人で順番に行うこととし、出火区画、同一階隣接区画、直上階隣接区画の避難誘導($T_6 \sim T_8$)を自衛消防隊員全員で行うこととした。

表 A.1: 避難時間の内訳

T_1 : 出火場所の確認に要する時間
T_2 : 現場の確認に要する時間
T_3 : 初期消火に要する時間
T_4 : 消防機関への通報に要する時間
T_5 : 非常放送に要する時間
T_6 : 出火区画の避難誘導に要する時間
T_7 : 隣接区画(同一階)の避難誘導に要する時間
T_8 : 隣接区画(直上階)の避難誘導に要する時間

A.2.2 搬送手段

2章で述べた考えをもとに、評価シミュレーション内での搬送手段をストレッチャー、車いす、腕組み(全て2人1組)の3種類とした(それぞれの手段の速度については表A.3参照)。

A.2.3 変数値の同定

変数としては、設計者が各自で決定して入力する値と、デフォルト値として与えられている値がある。設計者が入力する値は主に、自衛消防隊員・自力避難困難者の移動距離に関する値、自衛消防隊員・自力避難困難者の数である。デフォルト値は、速度や時間に関する値である。

設計者が入力する値

設計者が各自で数値を決定して入力する値は、自力避難困難者数・自衛消防隊員数、自力避難困難者の隣接区画までの避難距離、自衛消防隊員の勤務場所(ナースセンター、宿直室、寮母室など)から出火区画までの距離である。

デフォルト値

デフォルト値として与えられている値は、2章で述べた既往の研究のデータを再整理したものとマニュアルで定められている対応行動を行う時間である。以下の表A.2の通りである。

A.2.4 避難時間の計算方法

避難時間は、前述の通り対応行動を8つに分けて計算する。以下に、その内容と計算方法について述べる。

表 A.2: デフォルト値一覧

$t_1(15s)$	仮眠している場合の加算時間
$t_2(10s)$	自火報受信盤の確認に要する時間
$t_3(15s \text{ or } 30s)$	初期消火時間
$t_4(5s \text{ or } 60s)$	消防機関への通報時間
$t_5(60s)$	非常放送時間
$a(2m/s)$	介助していない場合の自衛消防隊員の歩行速度
a_p	搬送手段 p による搬送時の歩行速度
t_p	自力避難困難者 1 人を搬送手段 p に移す時間

表 A.3: 手段 p に移す時間と各手段による搬送速度

搬送手段	搬送速度 $a_p(m/s)$	搬送手段に移す時間 $t_p(s)$
ストレッチャー	1.8	15
車いす	2.0	15
腕組み	1.8	10

出火場所の確認

出火場所の確認に要する時間は、仮眠している場合の加算時間と、宿直場所あるいは仮眠室から自火報受信盤のあるところまでの駆けつけ時間、受信盤を見てどこで火災が発生したかを確認する時間の和で表される。

$$T_1 = t_1 + l_s/a + t_2 \quad (\text{A.1})$$

- t_1 仮眠している場合の加算時間
- t_2 確認時間
- a 歩行速度
- l_s 宿直場所から自火報受信盤までの距離

現場の確認

現場の確認に要する時間は、自火報受信盤から現場までの駆けつけ時間で表される。

$$T_2 = l_g/a \quad (\text{A.2})$$

初期消火

初期消火に要する時間は、消火器を使うか、屋内消火栓を使うかによって変わる。消火器の場合は、消火器を持って現場確認をする事を前提としており、消火時間は 15s として

いる。屋内消火栓の場合は、1号消火栓と2号消火栓の2種類があるが、消火時間はどちらも30sとしている。

$$T_3 = t_3 \quad (\text{A.3})$$

t_3 消火時間

消火器の場合は消火器をもって現場確認
 屋内消火栓は原則として2人以上
 1人で操作できる場合は1人でも良い

消防機関への通報

消防機関への通報に要する時間は、現場から通報機器あるいは構内電話のある場所までの駆けつけ時間と通報時間の和で表される。通報時間は自動通報装置を使うか構内電話を使うかによって大きく異なる。自動通報装置の場合は、ボタンを押すだけなので5sでよく、構内電話の場合は、出火した建物の位置や状況を説明しなければならないので、60sとしている。

$$T_4 = l_t/a + t_4 \quad (\text{A.4})$$

l_t 現場から通報機器あるいは構内電話までの距離
 t_4 通報時間

非常放送

非常放送に要する時間は、通報機器あるいは構内電話から放送設備のある場所までの駆けつけ時間と、放送時間の和で表される。放送時間は、出火場所や避難誘導などの説明にかかる時間として60sとしている。

$$T_5 = l_h/a + t_5 \quad (\text{A.5})$$

l_h 放送機器あるいは構内電話から放送設備までの距離
 t_5 放送時間

出火区画の避難誘導

出火区画の避難誘導に要する時間は、自衛消防隊員が出火区画まで駆けつける時間、自力避難困難者を搬送手段に移す時間、隣接区画までの搬送時間の和で表される。

T_{61} は自衛消防隊員が出火区画に駆けつけるのにかかる時間で、 T_{62} は2人1組の自衛消防隊員が自力避難困難者を搬送手段に移す時間、 T_{63} は2人1組の自衛消防隊員が自力避難困難者を隣接区画に搬送するのにかかる時間である。

$$T_6 = T_{61} + T_{62} + T_{63} \quad (\text{A.6})$$

T_{61} 出火区画までの駆けつけ時間
 T_{62} 自力避難困難者を搬送手段に移す時間
 T_{63} 隣接区画までの搬送時間

$$T_{61} = \frac{\sum_h l_{wh}}{a \cdot n} \quad T_{62} = \frac{\sum_p t_p \cdot N_p}{n/2} \quad T_{63} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} l_{pi}}{a_p \cdot n/2} \quad (A.7)$$

n 自衛消防隊員数
 l_{wh} 出火区画までの距離(自衛消防隊員 h について)
 N 手段 p で搬送される自力避難困難者数
 l_{pi} 手段 p で隣接区画まで搬送する距離(自力避難困難者 i について)
 a_p 手段 p による自衛消防隊員 1 人・1 秒当たりの困難者移動距離
 t_p 自力避難困難者 1 人を手段 p に移す時間

同一階隣接区画の避難誘導

隣接区画(同一階)の避難誘導に要する時間は、自衛消防隊員が隣接区画まで駆けつける時間、自力避難困難者を搬送手段に移す時間、安全区画までの搬送時間の和で表される。

T_{71} は自衛消防隊員が隣接区画に駆けつけるのにかかる時間で、 T_{72} は 2 人 1 組の自衛消防隊員が自力避難困難者を搬送手段に移す時間、 T_{73} は 2 人 1 組の自衛消防隊員が自力避難困難者を安全区画に搬送するのにかかる時間である。

$$T_7 = T_{71} + T_{72} + T_{73} \quad (A.8)$$

T_{71} 隣接区画(同一階)までの駆けつけ時間
 T_{72} 自力避難困難者を搬送手段に移す時間
 T_{73} 安全区画までの搬送時間

$$T_{71} = \frac{\sum_h l_{yh}}{a \cdot n} \quad T_{72} = \frac{\sum_p t_p \cdot M_p}{n/2} \quad T_{73} = \frac{\sum_{j=1}^{M_p} l_{pj}}{a_p \cdot n/2} \quad (A.9)$$

n 自衛消防隊員数
 l_{yh} 隣接区画(同一階)までの距離(自衛消防隊員 h について)
 M_p 手段 p で搬送される自力避難困難者数
 l_{pj} 手段 p で安全区画まで搬送する距離(自力避難困難者 j について)
 a_p 手段 p による自衛消防隊員 1 人・1 秒当たりの困難者移動距離
 t_p 自力避難困難者 1 人を手段 p に移す時間

直上階隣接区画の避難誘導

隣接区画(直上階)の避難誘導に要する時間は、自衛消防隊員が隣接区画まで駆けつける時間、自力避難困難者を搬送手段に移す時間、安全区画までの搬送時間の和で表される。

T_{81} は自衛消防隊員が隣接区画に駆けつけるのにかかる時間で、 T_{82} は2人1組の自衛消防隊員が自力避難困難者を搬送手段に移す時間、 T_{83} は2人1組の自衛消防隊員が自力避難困難者を安全区画に搬送するのにかかる時間である。

直上階隣接区画の場合は、出火区画にスプリンクラーが取り付けられていれば避難時間は0となる。その理由としては、出火階にスプリンクラーが設置されている場合は設置されていない場合に比べ、完全に消火しない場合でも火煙のエネルギー量がかなり少なくなると考えられるからである。

$$T_8 = T_{81} + T_{82} + T_{83} \quad (\text{A.10})$$

T_{81} 隣接区画(直上階)までの駆けつけ時間
 T_{82} 自力避難困難者を搬送手段に移す時間
 T_{83} 安全区画までの搬送時間

$$T_{81} = \frac{\sum_h l_{zh}}{a \cdot n} \quad T_{82} = \frac{\sum_p t_p \cdot L_p}{n/2} \quad T_{83} = \frac{\sum_{k=1}^{L_p} l_{pk}}{a_p \cdot n/2} \quad (\text{A.11})$$

n 自衛消防隊員数
 l_{zh} 隣接区画(直上階)までの距離(自衛消防隊員 h について)
 L_p 手段 p で搬送される自力避難困難者数
 l_{pk} 手段 p で安全区画まで搬送する距離(自力避難困難者 k について)
 a_p 手段 p による自衛消防隊員1人・1秒当たりの困難者移動距離
 t_p 自力避難困難者1人を手段 p に移す時間

A.3 入力に用いたデータ

簡易版評価シミュレーションの検討を行う際に使用したデータは、24施設分である(表1.5参照)。

図面から得た情報は自火報受信盤、放送設備の位置、自力避難困難者の人数・位置、宿直場所などである。

A.4 シミュレーション結果と検討

ここでは、シミュレーションによる避難時間の計算結果が妥当なものであるか否かを、A.3節で述べたデータを用いた計算結果とマニュアルにしたがって行われた避難訓練での計測データを比較することにより、シミュレーションの精度を検討するものである。

実際の避難訓練では自衛消防隊員が2人以上の場合には、出火場所の確認から非常放送までを1人で行うことはほとんどなく数人で手分けしてこれらの行動を並行して行う場合がほとんどである。また、非常放送後に避難行動を開始することになっているので、初期消火が行われている最中でも避難が開始される場合もある。

A.4.1 計算結果

火災が発生してから避難完了するまでの全体の避難時間は、火災を感知してから避難開始までの時間と、避難開始から避難行動によって避難場所に到達するまでの時間からなる。ここでは、前者を避難開始時間($T_1+T_2+T_3+T_4+T_5$, 記号は参考資料参照), 後者を避難所要時間(T_6 , 出火区画の避難誘導のみ)と呼び、実際の避難訓練での計測値とシミュレーションでの計算値をこの2つに分けたものと、避難開始時間と避難所要時間の和の3種類で分析を行っている。計測値・計算値の一覧と散布図を表A.4, 図A.1, 図A.2, 図A.3に示す。

図A.1を見ると避難開始時間は、計測値より計算値の方がやや大きくなっていることが分かる。避難開始時間は、自衛消防隊員が現場の確認を行ったり、非常放送を行ったりするための移動に要する時間よりも施設の規模等とは無関係に一定のデフォルト値として与えている時間(初期消火時間・非常放送時間など)の方が影響が大きいと考えられる。そこで、それらの値の影響の度合を調べるために $y = x + b$ のうちで回帰平方和が最も小さくなる直線を求めた。結果は $y = x + 25$ となり、平均的に計測値より25秒程度大きめの値が計算値として表れていることが分かる。図中の直線が $y = x + 25$ である。

図A.2をみると避難所要時間は、計測値より計算値の方が小さくなっているのが分かる(図中の直線は $y = x$)。避難所要時間は、自力避難困難者の避難距離や人数、自衛消防隊員数等の施設の規模等によって変化する値の影響が大きいと考えられるので、 $y = x$ を基準とした回帰平方和を求めることによって、計測値とのズレの大きさを調べた。回帰平方和は474136.6であった。

図A.3が避難時間の散布図である(図中の直線は $y = x$)。避難時間についても避難所要時間と同様に $y = x$ を基準としたときの回帰平方和を求めた。回帰平方和は240967.0であった。

表 A.4: 計算結果 (修正前)

	計測値			計算値		
	避難開始時間	避難所要時間	避難時間	避難開始時間	避難所要時間	避難時間
1	170.0	671.0	791.0	215.5	235.6	451.1
2	126.0	188.0	300.0	123.5	97.1	220.6
3	172.0	50.0	180.0	174.0	36.5	210.4
4	148.0	29.0	152.0	174.0	52.0	226.0
5	173.0	165.0	245.0	219.6	88.5	308.1
6	146.0	253.0	396.0	225.4	211.8	437.1
7	205.0	175.0	289.0	173.1	160.7	333.8
8	219.0	185.0	325.0	268.6	60.8	329.3
9	131.0	86.0	193.0	195.0	57.2	252.2
10	116.0	102.0	219.0	195.0	71.1	266.1
11	119.0	72.0	187.0	127.8	64.0	191.8
12	107.0	116.0	226.0	127.8	97.7	225.5
13	119.0	94.0	206.0	155.0	74.3	229.3
14	140.0	284.0	334.0	217.6	126.4	343.0
15	145.0	294.0	367.0	152.0	424.6	576.5
16	191.0	140.0	300.0	148.8	215.1	363.9
17	135.0	95.0	175.0	173.0	73.7	246.6
18	170.0	999.0	1050.0	190.0	694.6	884.6
19	208.0	238.0	418.0	169.0	219.7	388.7
20	212.0	284.0	389.0	208.0	165.3	373.7
21	207.0	292.0	382.0	225.0	118.9	343.9
22	190.0	377.0	452.0	225.0	177.3	402.3
23	130.0	237.0	317.0	134.0	80.8	214.8
24	111.0	668.0	798.0	153.5	645.1	798.6

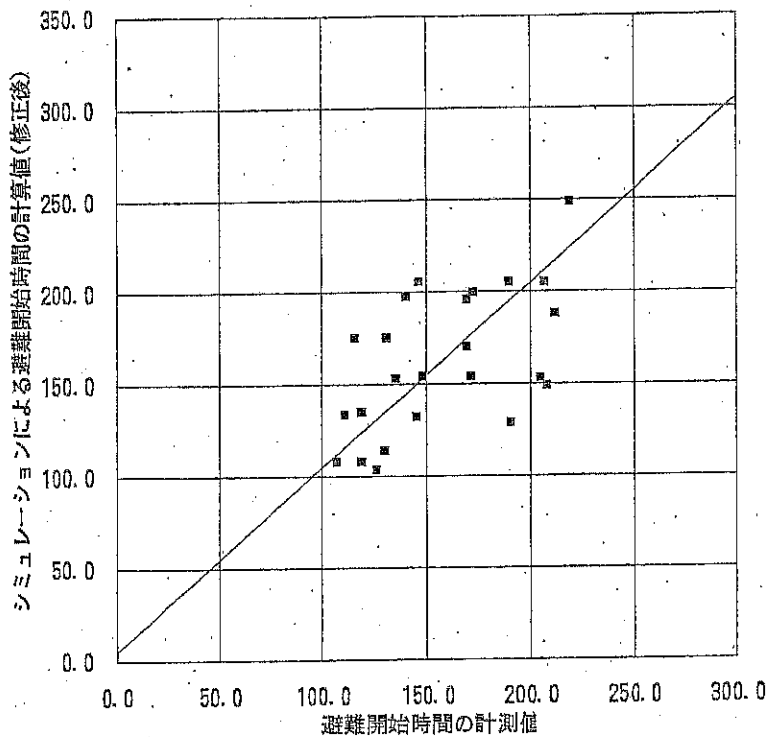


図 A.1: 避難開始時間の散布図

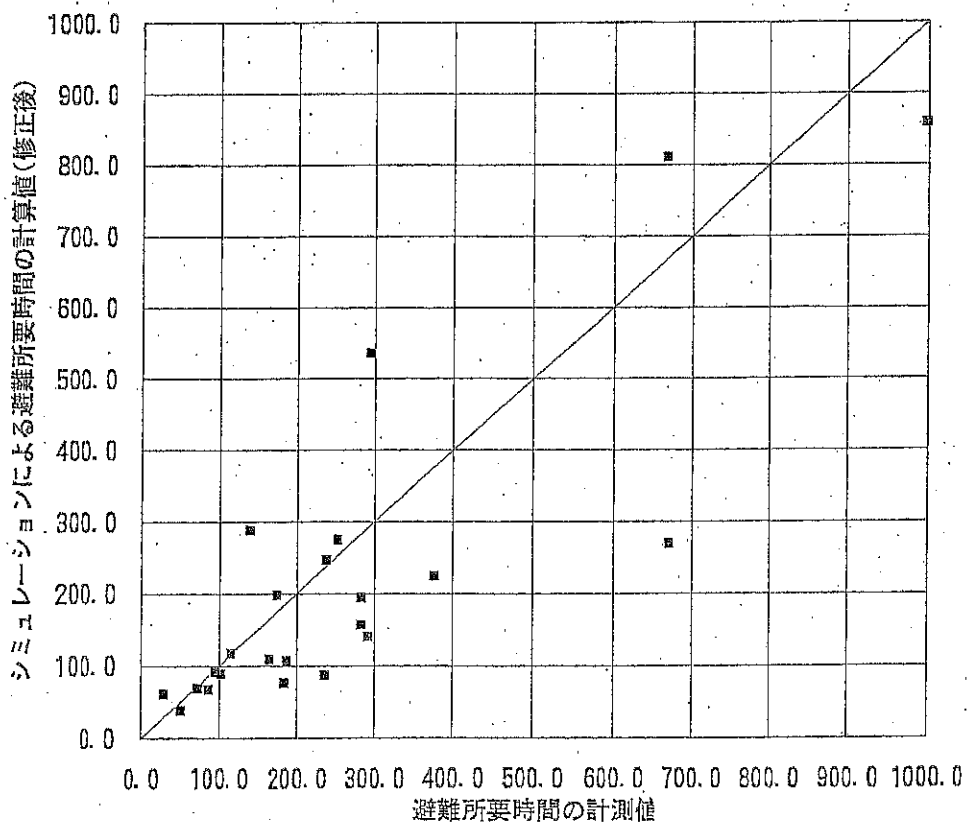


図 A.2: 避難所要時間の散布図

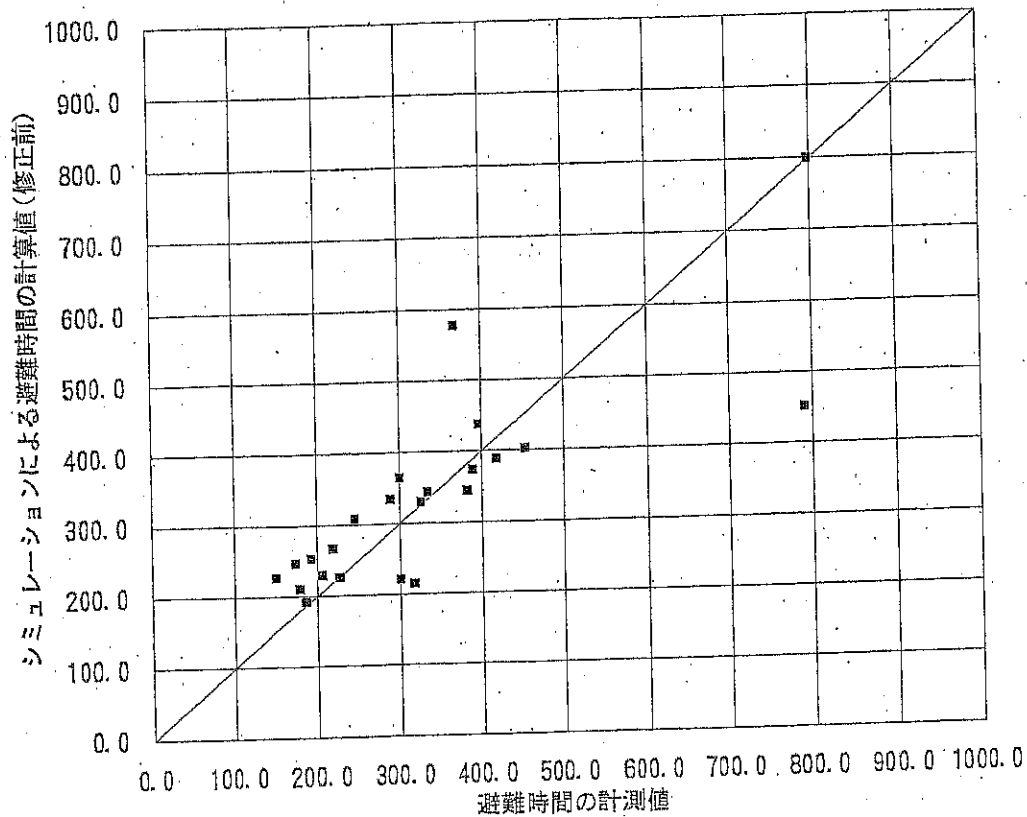


図 A.3: 避難時間の散布図

A.4.2 プログラムの修正

シミュレーション結果から、避難開始時間が実際より大きめの値になり、避難所要時間が小さめの値になることが分かった。

避難開始時間は先ほどの $(y = x + 25)$ 切片に着目し修正をを行うために以下の検討を行った。避難開始時間は訓練時でも、仮眠している場合の加算時間や初期消火時間のように決められた時間の間だけその行動を行っているものがあるので、訓練時のデータが各施設で求められている非常放送時間の平均値を求め検討を行った。非常放送時間の平均値は40秒だったので、デフォルト値を60秒から40秒に修正して再計算を行った。修正前の避難開始時間と同様に $y = x + b$ を基準とした回帰平方和が最小となる直線を求めた結果、 $y = x + 5$ となった。

避難所要時間については、自力避難困難者を搬送する時の搬送速度に着目し検討を行った。搬送速度がどれぐらいの時に $y = x$ を基準としたときの回帰平方和が最も小さくなるかを求めた。(その結果、搬送速度が3.0m/sのときに回帰平方和が最小となり、その値は366101.7であった。)結果を表A.5、図A.4、図A.5、図A.6に示す。避難時間(修正後)は、避難開始時間(修正後)と避難所要時間(修正後)の和である。修正後の避難時間の $y = x$ を基準とした回帰平方和は234213.0であった。

表 A.5: 計算結果(修正後)

	計測値			計算値		
	避難開始時間	避難所要時間	避難時間	避難開始時間	避難所要時間	避難時間
1	170.0	671.0	791.0	195.5	269.0	464.5
2	126.0	188.0	300.0	103.5	106.8	210.3
3	172.0	50.0	180.0	154.0	53.3	207.3
4	148.0	29.0	152.0	154.0	56.5	210.5
5	173.0	165.0	245.0	199.6	109.1	308.7
6	146.0	253.0	396.0	205.4	275.2	480.6
7	205.0	175.0	289.0	153.1	197.9	351.0
8	219.0	185.0	325.0	248.6	76.2	324.8
9	131.0	86.0	193.0	175.0	67.6	242.6
10	116.0	102.0	219.0	175.0	88.9	263.9
11	119.0	72.0	187.0	107.8	68.9	176.7
12	107.0	116.0	226.0	107.8	116.4	224.2
13	119.0	94.0	206.0	135.0	91.4	226.4
14	140.0	284.0	334.0	197.6	156.1	353.7
15	145.0	294.0	367.0	132.0	535.7	667.7
16	191.0	140.0	300.0	128.8	288.0	416.8
17	135.0	95.0	175.0	153.0	91.2	244.2
18	170.0	999.0	1050.0	170.0	858.9	1028.9
19	208.0	238.0	418.0	149.0	246.5	395.5
20	212.0	284.0	389.0	188.0	194.6	382.6
21	207.0	292.0	382.0	205.0	140.2	345.2
22	190.0	377.0	452.0	205.0	223.9	428.9
23	130.0	237.0	317.0	114.0	86.7	200.7
24	111.0	668.0	798.0	133.5	811.0	944.5

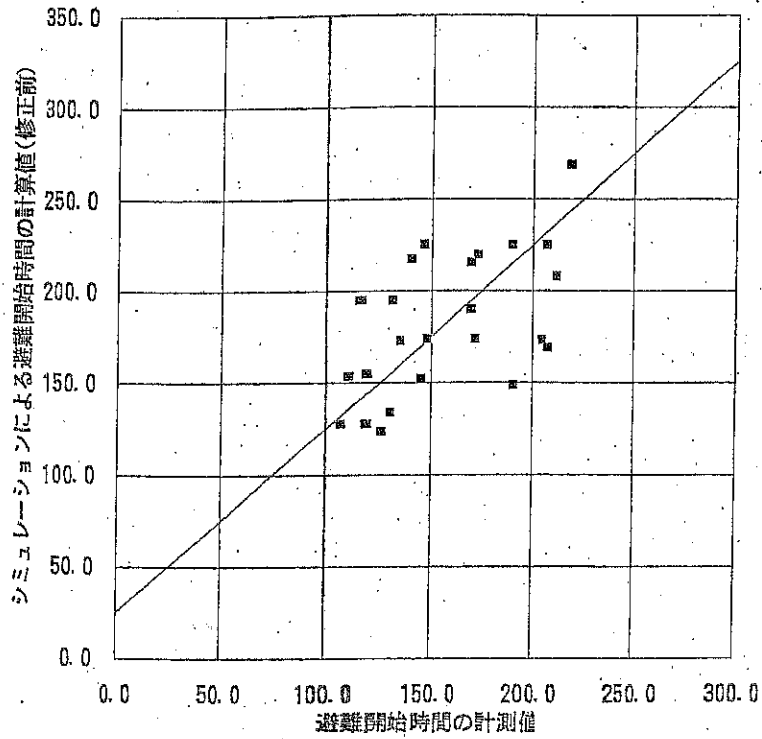


図 A.4: 避難開始時間(修正後)の散布図

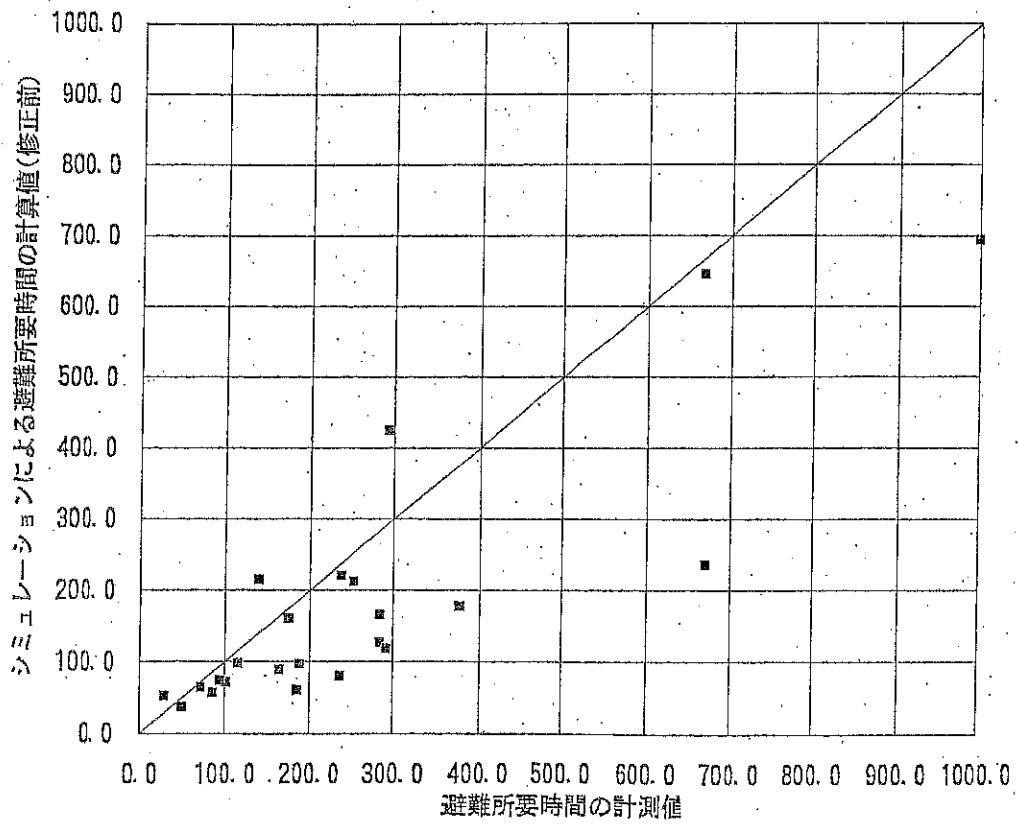


図 A.5: 避難所要時間(修正後)の散布図

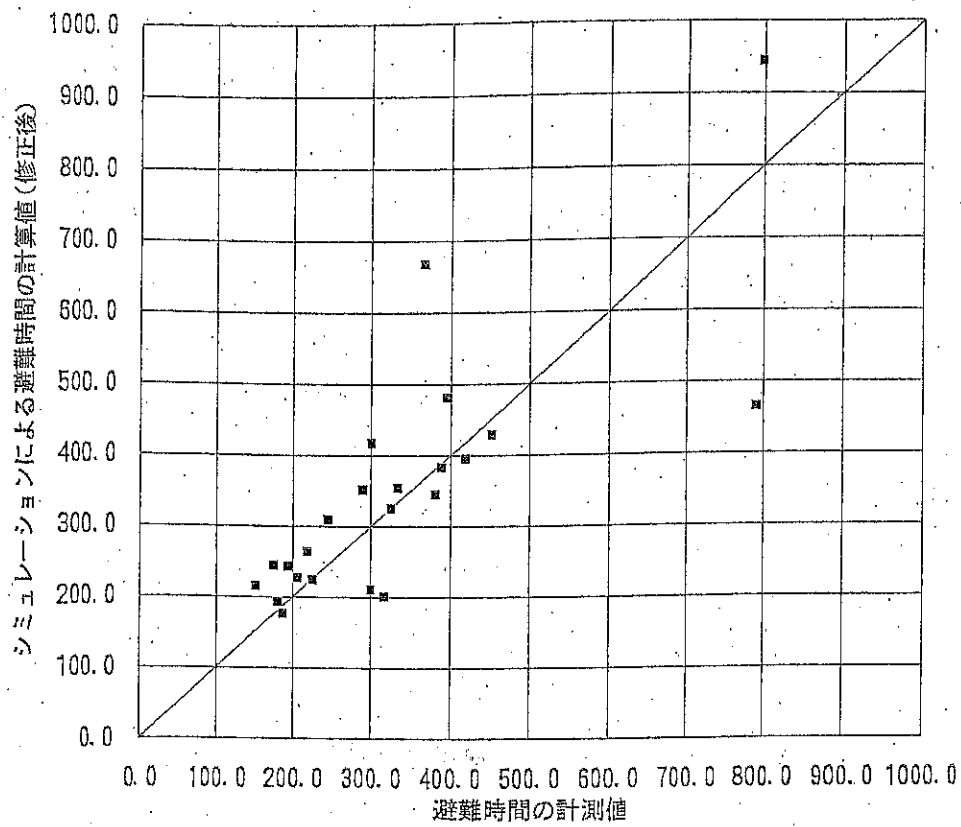


図 A.6: 避難時間(修正後)の散布図

A.5 まとめ

避難開始時間は修正を行うことによって $y = x + b$ の切片が 0 近づき、避難所要時間・避難時間についても修正を行うことによって $y = x$ を基準とした回帰平方和が小さくなったので誤差が小さくなったといえる。

参考文献

- [1] 廣本肇：社会福祉施設における防災，火災，vol.42，200号，1992
- [2] 海老原学，掛川秀史：介助行動を考慮できる避難シミュレーション，火災，vol.43，204号，1993
- [3] 財団法人日本防火研究普及協会：社会福祉施設・病院 夜間の防火管理体制指導マニュアルの解説，1989
- [4] 萩原一郎，大宮喜文，高山英之，田中哮義，若松孝旺：避難安全規定に関する研究(その3) 全館避難計算法，日本火災学会研究発表会梗概集，1991.5
- [5] 平松敏祐，大岩勇夫：災害弱者施設の避難シミュレーションとその可視化，火災，vol.43，202号，1993
- [6] 志田弘二，辻本誠，柳澤忠：火災発生に伴う人命危険の評価法，日本建築学会計画系論文報告集 368号，1986.10
- [7] 日本大学理工学部 野村研究室：社会福祉施設における防火対策調査の報告，1991.3
- [8] 大西一嘉，室崎益輝，久次米真美子：病院の避難計画に関する研究(その2) —入院患者の避難行動能力の定量化—，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，1986.8
- [9] 井口健二，志田弘二，野村徹，品田幸浩：夜間における社会福祉施設の防火診断のための基礎調査 —社会福祉施設の防火対策に関する全国調査より—，日本火災学会研究発表会梗概集，1991.5
- [10] 渡辺郁夫，辻本誠：防災設備の作動信頼性が火災安全性に及ぼす影響に関する研究，火災学会研究発表会概要集，1985
- [11] Akio WATANABE：Effectiveness of Active Fire Protection System，CIB Symposium，1979
- [12] 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の防火設計法の開発」報告書，第3巻 避難安全設計法，1988.12
- [13] 森田武：老人ホームにおいて夜間避難訓練を実施した結果について，火災174，1988

- [14] 日本建築センター：煙流動および避難性状予測のための実用計算プログラム解説書，
1990,1
- [15] 辻本誠他：病院患者の避難時運動能力，火災159，1985
- [16] Alfredo H-S Ang, Wilson H. Tang 著，伊藤他1名共訳：土木・建築のための確率・統計
の基礎，丸善，1984
- [17] 竹内啓：数理統計学，東洋経済新報社，1982
- [18] Fire Journal, Vol.64, No.4, 1970
- [19] Fire Journal, Vol.74, No.3, 1980