

地下空間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

山崎 公義

1992年2月

目次

序章	1
はじめに	3
研究の目的	3
論文の構成	4
1 地下空間での火災危険の特性	7
1.1 はじめに	7
1.2 統計データの概要	7
1.3 地下階の法制上の規定	9
1.4 地下空間での火災危険	10
1.4.1 地下空間での出火率	10
1.4.2 地下空間での火災拡大の可能性の検討	12
1.5 まとめ	13
2 名古屋駅前地区地下空間における火災に対する危険度評価	15
2.1 はじめに	15
2.2 危険度評価のための基本的な考え方	17
2.3 名古屋駅前地区地下空間・各管理区画間の開口部性能調査	18
2.3.1 調査の背景	18
2.3.2 調査概要	19
2.3.3 調査結果	19
2.4 煙汚染による評価値(Risk A)の計算方法	25
2.4.1 区画(i)出火の場合:区画(i)が煙による汚染を受ける可能性(Risk A _i) の評価	25
2.4.2 他の管理区画の出火により区画(i)が煙による汚染を受ける可能性 (Risk A _n)の評価	28
隣接区画への影響度の計算	28
開放確率の計算法	28
Risk A _n の計算	29
2.5 避難安全性の評価値(Risk B)	32

2.5.1	直通階段数・階段幅の分布	32
2.6	Risk A と Risk B の関連性	34
2.7	各種対策による改善シミュレーション	35
2.7.1	Risk A についてのシミュレーション	35
2.7.2	Risk B についてのシミュレーション	37
2.7.3	Risk B の改善による Risk A への影響	42
2.8	まとめ	47
3	シミュレーションプログラムを用いた評価法の検討	49
3.1	はじめに	49
3.2	煙伝播確率計算シミュレーションの考え方	49
3.2.1	煙伝播確率の計算法	50
3.2.2	想定火源の設定	51
3.2.3	シミュレーション地域の選択	52
3.3	数値計算シミュレーション	53
3.3.1	シミュレーションの共通条件	53
3.3.2	各パターンでの確率	55
3.3.3	シミュレーション結果と考察	56
3.4	垂れ壁の高さの決定法	59
3.4.1	シミュレーション条件	59
3.4.2	シミュレーション結果と考察	60
3.5	シミュレーション結果の火災危険度評価への応用	62
3.6	まとめ	65
	まとめ	65
A	地下空間を有する建物数	69
B	二層ゾーンモデル	71
B.1	煙流動性状予測モデルの概念	71
B.2	基本となるゾーン方程式	72
B.3	煙流動性状予測計算プログラムの構成	75
B.4	計算例	76
	参考文献	76
	謝辞	77

目次

1.1	物販店舗での延床面積別出火率	11
1.2	飲食店での延床面積別出火率	11
1.3	旅館・ホテルでの延床面積別出火率	11
1.4	事務所での延床面積別出火率	11
1.5	焼損面積分布(物販店舗)	12
1.6	焼損面積分布(飲食店)	12
1.7	焼損面積分布(旅館・ホテル)	12
1.8	焼損面積分布(事務所)	12
2.1	危険度評価の手順	16
2.2	名古屋駅地区地下空間の概略図	18
2.3	調査表(防火シャッターについて)	20
2.4	調査表(防火戸について)	21
2.5	開口の数え方の概念	22
2.6	シャッター・扉の幅・高さについての分布	22
2.7	Risk A _i のヒストグラム	26
2.8	火災による煙汚染の分配の概念	28
2.9	現状での各管理区画の Risk A	31
2.10	現状での Risk A のヒストグラム	31
2.11	Risk B のヒストグラム	32
2.12	階段幅・階段数についての分布	33
2.13	Risk A と Risk B の散布図	34
2.14	地下街・ビル地下階での開口の種類	35
2.15	すべてを煙感知器連動方式に変更したときの Risk A	36
2.16	Risk A の分布型の変化	36
2.17	Risk B の分布型の変化	37
2.18	階段幅・階段数についての分布(ブロック化[案1]後)	38
2.19	階段幅・階段数についての分布(ブロック化[案2]後)	39
2.20	ブロック化案(1)	40
2.21	ブロック化案(2)	41

2.22	ブロック化案(1)による各管理区画のRisk A	43
2.23	ブロック化案(1)によるRisk Aの分布変化	43
2.24	ブロック化案(1)によるRisk AとRisk Bの相関	44
2.25	ブロック化案(2)による各管理区画のRisk A	45
2.26	ブロック化案(2)によるRisk Aの分布変化	45
2.27	ブロック化案(2)によるRisk AとRisk Bの相関	46
3.1	飲食店での火源分布	51
3.2	今回のシミュレーションの選択地域	52
3.3	シミュレーションの想定図面	53
3.4	想定火源の時間変化	54
3.5	2-3での流量変化	57
3.6	2-4での流量変化	57
3.7	2-5での流量変化	57
3.8	2-6での流量変化	57
3.9	シミュレーションの概念図	59
3.10	シミュレーション想定図面	59
3.11	通路幅における流量変化	60
3.12	天井高さにおける流量変化	60
3.13	火災危険度評価のフローチャート	64
A.1	物販店舗での建物数比	69
A.2	飲食店での建物数比	69
A.3	旅館・ホテルでの建物数比	70
A.4	事務所での建物数比	70
B.1	複数の空間を有する建築物での二層ゾーンモデルの概念	72
B.2	計算プログラムの構成	75
B.3	入力データ例	76

表 目 次

1.1	データベースの概要および抽出した情報	8
1.2	用途別報告対象建物規模・建物棟数及び火災件数(地下のあるもの) . . .	9
2.1	区画開口部の調査結果(一部)	24
2.2	報告書での評価値の算定法	26
2.3	防火区画の作動方法による閉鎖確率	29
3.1	シミュレーションで考えた開口部の性能	55
3.2	作動方法による区画煙伝播確率	55
3.3	各開放・閉鎖パターンをとる確率	56
3.4	作動方法による煙伝播確率と二層ゾーンによる煙伝播確率の比較	58
3.5	推定された垂れ壁高さ	61
3.6	管理区画間の開放確率	63

序章

はじめに

人類と地下空間との関わりは、古く約50万年前にさかのぼる。原始時代においての地下空間の役割は、人類を自然災害などから守ることであった。つまり、構造物としての「地下」を住居の場として用いていたのである。時代が経過して、建築物を構築する技術を人類が取得する段階となると、生活の基盤が「地下」から「地上」へと移っていった。

一方、産業革命から端を発した都市への人口の集中化は、高密度化した生活空間を都市に誕生させることとなった。その結果ガス・水道の配管など生活空間を支えるものが地下空間に建設されることとなった。その後も地下空間は鉄道が走り、エネルギーが備蓄されるなど人類の生活の利便化のために開発されることとなった。

その一方で、このような地下空間で発生する火災に対しては、地上で発生する火災のそれとは全く異なる対策が要求される^[1,2]が、対策を立案する前段階の「現状での評価」も満足に行われていない。

本研究は、地下空間の火災に対する危険性を防災性能評価という形式で定量化し検討することを目的として、火災に対する地下空間のリスクの均等化についての考察を行なう。

研究の目的

日本においての本格的な地下街の第1号とされるのは、1932年東京の須田町において開設された地下鉄ストアーである。その後、1950年代から1960年代にかけての日本経済の復興・自立、そして高度成長期を迎えると地下空間の利用が活発化し、地下鉄道駅・地下駐車場・駅前広場等の公共事業やビル地下階の開設などの整備が全国的に進んだ。

名古屋においても、1957年の地下鉄東山線「名古屋～栄町」間の開通に伴って名古屋駅前地区に地下街が建設されるとともに、豊田ビル・毎日ビルの地下階が開設された。以後、高度成長期に名古屋駅前地区・栄地区と次々に地下街が誕生していき、1975年にほぼ現在の名古屋駅前地区地下空間は構成された。

名古屋駅前地区地下空間の複雑さは全国的にも有名で、そのため火災等が発生した際には避難上の困難さ(避難経路がはっきりしない)などの要因で、被害がより大きなもの

になる可能性を否定できない。これは名古屋駅前の地下空間が異質な空間(地下街・ビル地下階・地下鉄道駅)が集合したことによって成立していることの影響が大きい。具体的には、建築行為に関する法規としての規制は地下街に対しては、いわゆる5省庁通達(建設省・消防庁・警察庁・運輸省・資源エネルギー庁が共同で出した)が、ビル地下階は建築基準法が、そして地下鉄道駅は運輸省通達が適用される。また防災面に対する規制としては、すべての地下空間施設に対して消防法が適用されるのに加えて、地下街・ビル地下階には建築基準法が、地下鉄道駅には運輸省通達が適用される。このように防災面での対策(法規)が一元化していないため、空間が一体化しているにも関わらず総合的な防災対策がとられていないのが現状である。

そのような状況の打破のために、地下街等の防災対策の検討をおこなう委員会が設置され、名古屋駅地区の地下街等の各管理者に対してアンケート調査を行ない、その回答から各管理区画での火災に対する危険度を算定した。その結果、一体化された空間であるにも関わらず危険度の分布が一様なものでなく、危険性が高いとされる場所が分散していることが示された。しかしこの評価法にも、隣接区画からの火災に対する評価がないなどまだまだ不完全なものである。

上記のように、名古屋駅前地区の地下空間は火災に対してのリスクが一様に分布せず、局地的に高い部分が存在することがわかる。このような一体化した空間に対してはリスク(要求される防災性能)もほぼ同一のレベル(Acceptable Risk Level)になることが望まれる。そのためにも地下空間の火災に対するリスクの再評価を行なうことの意義が認められる。

本研究では、名古屋駅前地区地下空間において火災が発生した際の危険度の評価を、ヒアリング調査やシミュレーションモデル等を用いて行ない以前の評価に再検討を加えることを目的とする。

論文の構成

本論文は3章とまとめから成り、各章の内容は以下のようなものである。

第1章では、地下空間での火災危険性について建物及び火災の統計データから「出火するかどうか」「燃え広がるかどうか」の2種類の指標となる値を算出し、その特性について考察を加える。

第2章では、実際の名古屋駅前地区地下空間を例にとり、各管理区画での火災に対する危険度を「煙に汚染されるかどうか」「安全に避難できるかどうか」の2つの面から評価して、現状でのリスクの分布状況を示す。その後上記の2つの評価をより安全側へ移行させるための対策として、2つの手法を提案しその改善策が行われた場合の評価についてシミュレーションを行ない、結果に考察を加える。

第3章では、第2章での評価をより詳細なものとするために、実際に存在する開口部の組み合わせのうち1組を選び出し、二層ゾーンモデルによる煙流動の様子を火源を

3種類設定することで考察する。さらに、地下空間での防煙垂れ壁の有効性をやはり二層ゾーンモデルを用いて解析し、考察を加える。

まとめでは以上の結果から、地下空間での火災危険度評価について総合的な考察を加える。

第 1 章

地下空間での火災危険の特性

1.1 はじめに

近年の都市機能の集中化にともない、新たな空間資源として地下空間が見直されつつある。既に建築物の地下階をはじめとして、地下街・地下駅等の地下施設が相当数建設され、今後も増加しさらに深度化・大規模化することが考えられ、その利便性ととも防火安全性についても十分検討することが望まれる。

一方、このような地下空間における火災危険については統計的資料の不備もあって明らかになっていない部分が多い。本章では地下空間における防災安全性の評価のための指標の第一歩である出火の可能性として「出火率(建物床面積 1m^2 あたりの年間出火件数)」という指標を採用し、地下空間での火災危険の定量化を図ると同時に、火災拡大の危険性の指標である「焼損面積」の分布を累積相対度数分布の形式で示し、地上火災と地下火災で拡大状況に差があるかどうか検討するものである。

1.2 統計データの概要

文献[3,4]に示されるように既往の研究において一般に採用されている出火率というのは「建物1棟あたりの年間出火件数」であるが、この場合は建物全体がもつ出火頻度を表現しているに過ぎず、例えば規模の大小に伴う同一用途の建物の設計に対して、出火頻度を同一値で考えることは実際の状況とはことなり不合理であると想像される。本章で採用する出火率は建物の出火し易さを良く表現していると考えられる。

このような出火率の評価を統計的に行う場合には、その基礎となる統計データが整備されていることが必要となる。今回指標として用いる出火率の算定のために必要となる統計データは大きく2つに分けられる。

火災データ 過去に実際に起こった火災に関して建物の属性(延床面積, 構造 etc), 被害の状況などが記載されたもの

建物データ 火災発生の有無に関わらず, 社会に存在している建物全体(建物の母数)の状況が記載されたもの

従来, 日本では火災データについては自治省消防庁など公的機関によってデータ収集および整備が行われていたが, 建物データについては元々のデータ量が膨大であることもあり, 整備が遅れていたのが実状である。そこで, 今回の出火率の推定には建物データとしては比較的整備されているものとして, 東京都内の建築設備定期検査報告データを用いることとした。各データベースの詳細および抽出した情報について表 1.1 に示す。

表 1.1: データベースの概要および抽出した情報

データベース名	概要	抽出した情報
1. 東京消防庁データベース	東京消防庁管内で1980～1984年に発生した住宅関係火災を対象	用途・地上階数・地下階数・出火階数・延床面積・焼損面積
2. 自治省消防庁火災データベース	東京都内で1982～1987年に発生した住宅以外の建物火災を対象	用途・地上階数・地下階数・出火階数・防火対象物の区分・業態・延床面積・焼損面積
3. 建築設備定期検査報告データベース	(財)日本建築設備安全センターに1987年までに定期検査報告書を提出した東京都内の特殊建築物等を対象	用途・地上階数・地下階数・延床面積・建物竣工年

解析に供した建物用途については地下階および地下街に多く存在すると考えられた「物販店舗」「飲食店」「ホテル」「事務所」の4用途を対象とした。

一方, 出火率推定の前段階として, データベース間に整合性をもたせる必要性が生じる。例えば火災データベースは東京都内の全火災を対象としているのに対して, 建物データベースを構成する建物母数が東京都内の全特殊建築物の約1/3と考えられること, 建物データベースを構成する定期検査報告を必要とする建物規模が火災データベースの建物規模と食い違っていることなどがある。

このような不合理を排除することが出火率推定にとっては重要になるので, ここでは火災データベースのうち建物データベースの報告対象規模にあたらない規模の建物で発生した火災はデータベースから除くこととした。また建物の用途分類は文献[4]で示し

である方法により行なった。以上から今回解析する4用途について分析対象規模・建物棟数・出火件数について集計した結果を表1.2に示す。

表 1.2: 用途別報告対象建物規模・建物棟数及び火災件数(地下のあるもの)

用途	規模・階数	建物棟数	出火件数	地下出火
1. 百貨店・マーケット・物販店舗	A>500m ² or F ≥ 3	168	69	14
2. 飲食店	A>500m ² or F ≥ 3	87	72	29
3. 旅館・ホテル	A>500m ² or F ≥ 3	151	55	9
4. 事務所その他これに類するもの	A>2000m ² and F ≥ 5	1228	102	24

ただしAとは、当該用途に共する部分の床面積の合計を示し、F≥3とは3階以上の階に当該用途に共する部分の床面積の合計が100m²を越えるものを示す。出火件数は、1982年から1987年までの総数を示す。建物棟数は定期検査報告のうち、1987年までに竣工した建物総数を示す。

1.3 地下階の法制上の規定

地下空間の出火率推定に際して、建物および火災のデータベースはそれぞれの「地下」の定義を明らかにしておらず、以下の法規の定義に従っているかどうかは明らかではない。

建築基準法施行令

第一章第一条第二項 地階：床が地盤面下にある階で床面から地盤面までの高さがその階の天井の高さの1/3以上のもの

第一章第二条第八項 階数：建築物の地下階の倉庫・機械室などに類する部分で、水平投影面積がそれぞれ当該建築物の建築面積の1/8以下は階数としない

ここでは、上記の規定に基づいて「地下」が扱われているものとした。またデータベース中には建物の地下階の規模(延床面積)に関する記述が存在しない。そこで、地下階規模の算定に関して以下のような仮定を導入する。

建築物は地下階・地上階とも各階同一の平面形状・面積をもつ

この仮定から地下階および地上階の規模(それぞれの延床面積)は(1.1)式のように算定される。

$$\begin{cases} \text{地下階の延床面積 [m}^2\text{]} = \text{全延床面積 [m}^2\text{]} \times \frac{\text{地下階数}}{\text{地下階数} + \text{地上階数}} \\ \text{地上階の延床面積 [m}^2\text{]} = \text{全延床面積 [m}^2\text{]} \times \frac{\text{地上階数}}{\text{地下階数} + \text{地上階数}} \end{cases} \quad (1.1)$$

1.4 地下空間での火災危険

1.4.1 地下空間での出火率

1.3節にも示したように、建物データは火災データの母集団である東京都内の全ての建物を含んでいないので、出火率推定のためには使用する建物データにおいて用途別・規模別の建物棟数の推定を行わなければならないが、その方法は文献[5,6,7,8]に示したように東京消防庁統計書^[9]での建物棟数と表1.1の3.のデータベースから得られる建物棟数との比(ただし、4F以上の建物についてのみである)を、データベースから得られる建物数に掛けることで規模別の建物数を(1.2)式のように推定する。

$$\begin{aligned} \text{該当規模での建物棟数(推定)} &= \text{データベースから得られる該当規模での建物棟数} \\ &\times \frac{\text{東京消防庁統計書での建物棟数}}{\text{データベースから得られる建物棟数}} \end{aligned} \quad (1.2)$$

(1.1)(1.2)式と火災データベースから規模別(延床面積別)の出火率は以下の(1.3)式のように推定される。

$$\text{出火率 [回/m}^2 \cdot \text{年]} = \frac{\text{該当規模での1年間の地上[或いは地下]階での出火件数 [回/年]}}{\text{該当規模での地上[或いは地下]階の延床面積の合計 [m}^2\text{]}} \quad (1.3)$$

図1.1～1.4に(1.3)式によって推定された4用途における延床面積別の出火率を示す。飲食店以外の用途については床面積3,000m²ごとに、飲食店では450m²ごとに区切って、それぞれの区間の中点に推定結果をプロットした。なお、比較のために地下階を有する建物全体での出火率・地下階のない建物全体での出火率も併せて推定した。

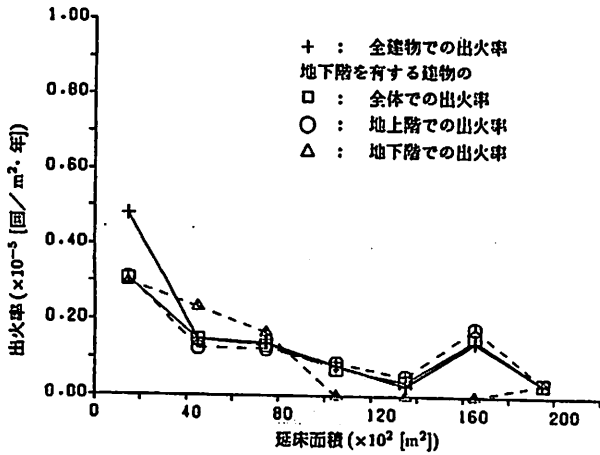


図 1.1: 物販店舗での延床面積別出火率

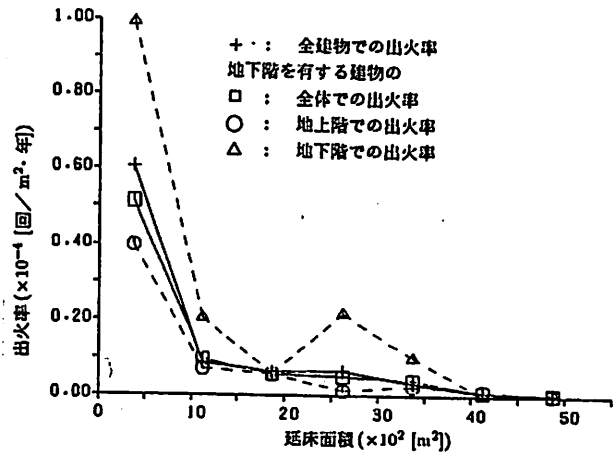


図 1.2: 飲食店での延床面積別出火率

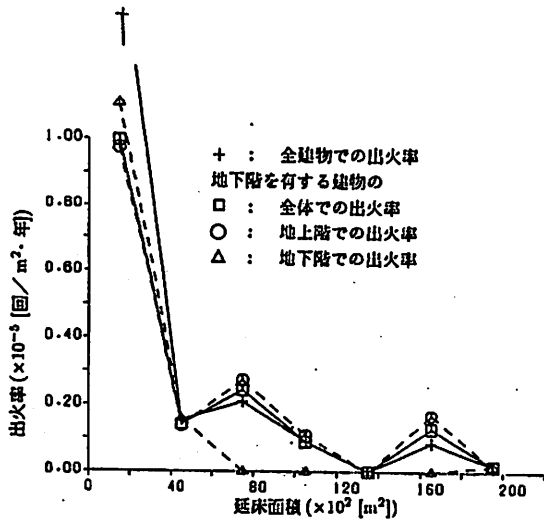


図 1.3: 旅館・ホテルでの延床面積別出火率

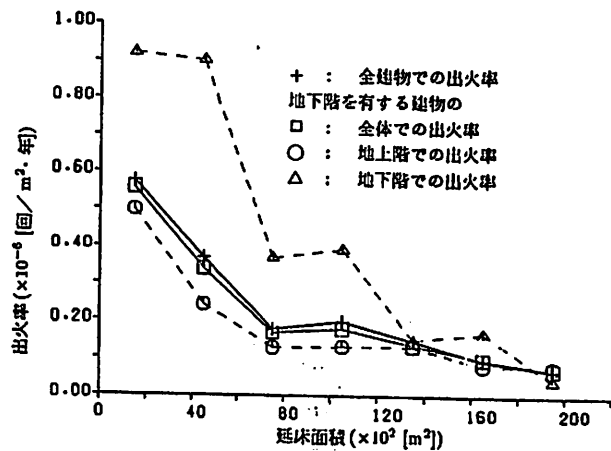


図 1.4: 事務所での延床面積別出火率

この推定結果から、用途別に地下階での出火率には違いがあることが分かる。¹用途ごとの特徴では、どの用途においても延床面積の増加につれてすべての出火率が減少することが分かり、また文献[5]から図では示されていないが、共同住宅用途においては地下階を有する建物についての出火率が延床面積の増加につれて減少することが分かる。

事務所用途について、延床面積の小さいところ(建物規模として小規模のところ)での地下階の出火率が他のものと比べて極めて高いことなどは、小規模の事務所での建物の維持管理状態などとの相関性が考えられる^[10]。しかしこの結果は、地下階を有する建物の地上階・地下階の延床面積を(1.1)式のように推定するための仮定、つまり地下階の平面形状・面積が地上階と同一としたことによる影響が強く、実状にあっていない可能性を否定できない。そのため、ここでの結果の解釈には十分な注意を要する。

¹特に飲食店用途での出火率の単位に注意が必要である。ただし精度は保証できない。

1.4.2 地下空間での火災拡大の可能性の検討

1.4.1節では「出火するかどうか」について地下階・地上階でかなりの相違が用途別・規模別で存在することが確認された。一方、火災に対する危険度の評価には「出火するか」のみではなく、「火災の拡大の可能性」についても検討する必要がある。そこで火災拡大の様子を示す指標として、地下階・地上階それぞれについて「焼損面積」を取り上げ検討することにする。

表1.1の火災データベース中から焼損面積について 1m^2 ごとに累積相対度数分布を用途ごとに求めたものが、図1.5～1.8である。図中の太線は地上階で発生した火災について、細線は地下階で発生した火災について検討したものである。

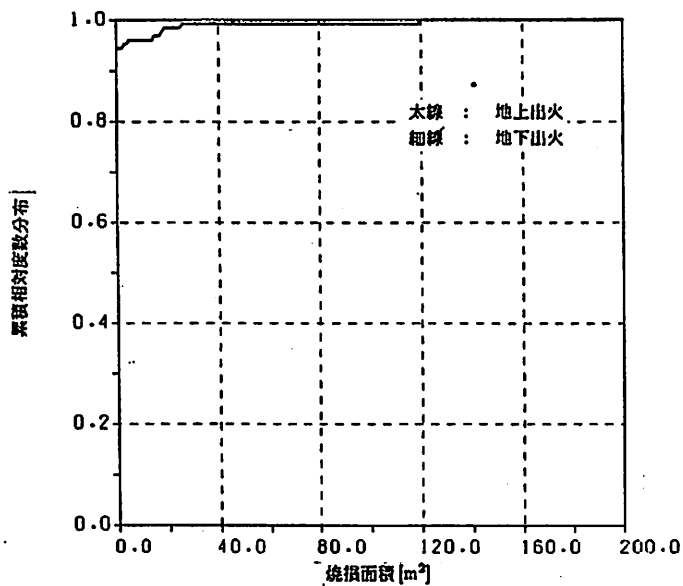


図 1.5: 焼損面積分布(物販店舗)

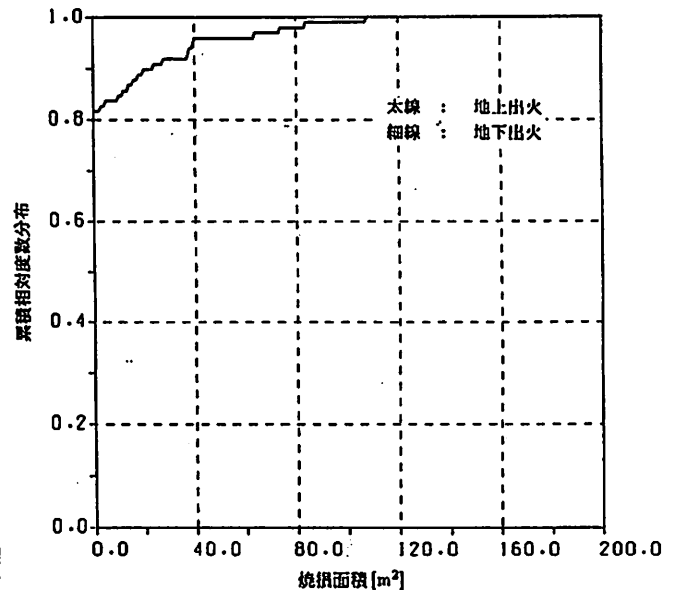


図 1.6: 焼損面積分布(飲食店)

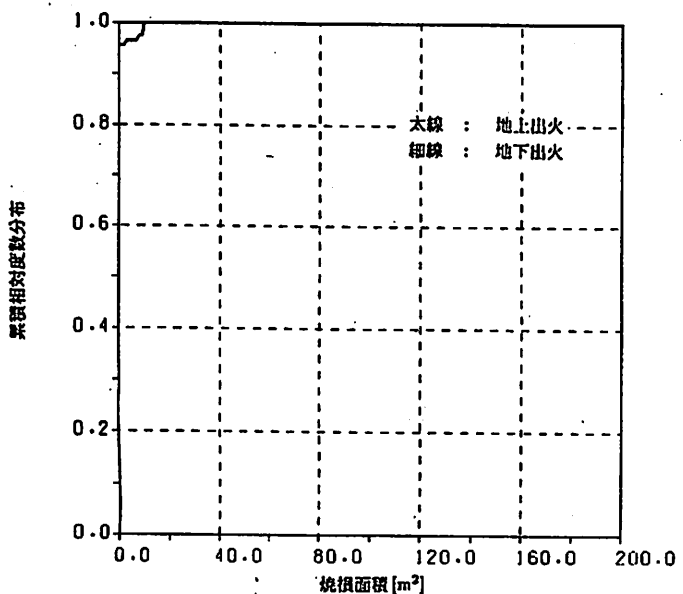


図 1.7: 焼損面積分布(旅館・ホテル)

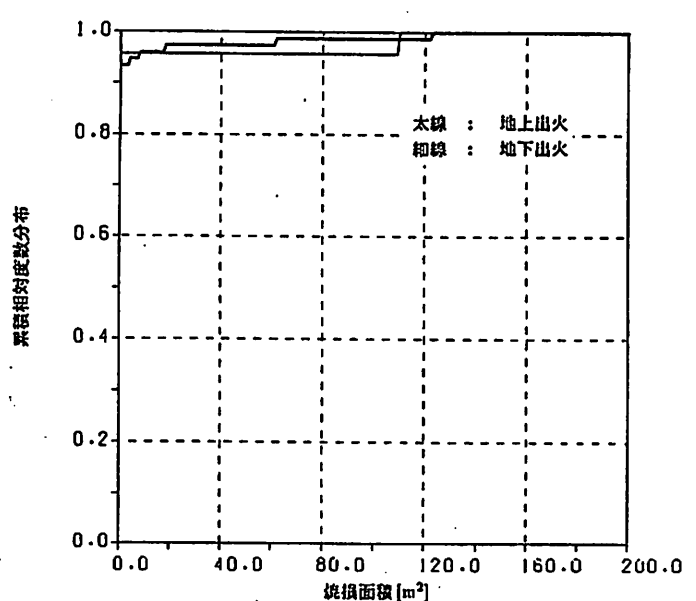


図 1.8: 焼損面積分布(事務所)

この結果から、地上で発生した火災でボヤで済んでいるもの²はどの用途においても、ほぼ全体の85～90%を占めるのに対し、地下で発生した火災ではボヤで済む割合が一部の用途を除いて地上のそれより小さいことが示される。

しかし、これは地下での火災の発生件数が少ないことに起因する可能性が大きく、焼損面積が「統計上」 0m^2 で済む場合と 1m^2 以上になる場合の χ^2 検定によると、危険率5%では地上・地下による差はないという仮説は棄却される。このことは火災拡大に地下・地上による有意差の存在を否定するものである。

1.5 まとめ

本章では建物統計データと火災統計データを用いて、東京都内での地下空間の火災危険の特性として「出火の可能性」として出火率を推定し、また「火災拡大の可能性」として焼損面積分布を検討した。考察内容としては以下のようにまとめられる。

- (1) 床面積 1m^2 あたりの出火率は用途別・規模別にかなり異なる。
- (2) 焼損面積分布における小火で済む割合については地上火災と地下火災において統計的に有意差は認められない。

²焼損面積が 0m^2 とされているもの、実際にはデータ処理上四捨五入を行っているので焼損面積 0.4m^2 以下のものも含まれている

第 2 章

名古屋駅前地区地下空間における火災 に対する危険度評価

2.1 はじめに

名古屋駅前地区の地下空間は地下街・ビル地下階・地下鉄道駅舎などの異なった性質を持つ空間の集合体であり、実際には42の管理区画から成り立っている。当然それぞれの空間に適用される火災からの安全性確保のための法規も監督官庁の違いなどから異なっていて、そのために総合的な防災管理体制はとられているとは言い難い。そのため地下空間においてどの場所が安全で、どの場所が危険であるかという視点での検討はなされていないのが現状である。これに対して、1990年度に「名古屋市地下街等防災対策検討委員会」が設置され、名古屋駅前地区地下空間を構成する地下鉄道駅を除いた地下街・ビル地下階の管理者に対するアンケート調査などを利用して、各管理区画の火災に対する防災性能評価を行っている^[1]。

この報告書は概ね各管理区画の特徴を描き出しているが、一方その調査報告に対しては、

- 管理主体個別の特性を用いての性能評価は、他の管理区画との空間的連続性に起因する煙伝播の可能性を含んでおらず、安全性評価について疑念が生じる。
- 評価に際しての採用項目には、個々の管理区画に固有であり、ただちには改善できないようなものが多い。そのため評価項目としては適切でないものがある。

というような疑問も示されている。

本章では、以下のようなプロセスで名古屋駅前地区地下空間の(主として火災に対する)防災性能の再評価を行なうものとする。

- 1) 昨年度の防災性能評価の結果を、
 - a) ある空間の出火による煙汚染の可能性を示す評価値
 - b) 避難安全性を示す評価値

に分離する。

- 2) 区画開口部(管理主体間のつなぎ目部分)について性能の実態調査を行なう。
- 3) 3)で明らかになった各管理区画間の開口の状態から、ある空間が火災の場合にどの程度周りの空間へ煙汚染を及ぼすかを計算する。
- 4) 1)-a)の評価値および3)の方法により求められる他の区画から出火した場合に煙で汚染する可能性を示す評価値を合算し、煙による汚染の可能性を示す評価値(Risk A)を求める。
- 5) 1)-b)の評価値をそのまま Risk B として採用する。
- 6) 4)で求めた評価値と5)の避難安全性を示す評価値とはそれぞれ独立に満足すべき水準を定め、改善の対象を選別する。
- 7) 改善のための手法のうち、それぞれの評価値を下げる効果をもつ2種類の対策についてシミュレーションを行ない結果を検討する。

図2.1に評価手順のフローチャートを示す。

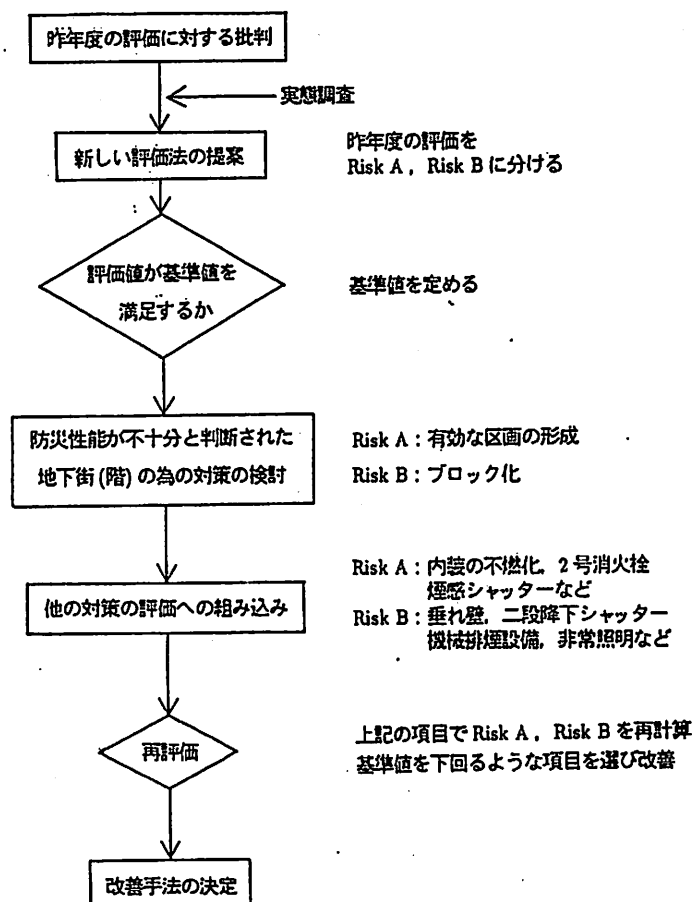


図 2.1: 危険度評価の手順

2.2 危険度評価のための基本的な考え方

名古屋駅前地区地下空間の火災に対する危険度の再評価を行なうに際して、その基本となる考え方について以下に示す。

- 地下街等においてある管理区画(i)の火災に対する危険度は、

Risk A その空間が煙による汚染を受ける可能性

Risk B 煙により汚染された場合、その空間からの避難安全性

の2面から考えられる。

そこで検討された評価値も大きく分ければ、Risk A に対応する項目として「物理環境」「出火危険」「店舗内危険」「通路内危険」の4種類が挙げられる。同様に Risk B に対応する項目として「避難安全性」が考えられて、2つに分けることができる。

そこで前年度の防災性能評価法によるはじめの4項目の評価値の合計を区画(i)が出火した場合にその空間が煙による汚染を受ける可能性を示す値とし、これに他の区画が出火した場合に区画(i)が煙による汚染を受ける可能性を示す評価値を加えて Risk A に対応する防災性能評価値とする。

- Risk B に対応する避難安全性の評価法としては表2.2の評価項目を充実する形で、よりソフト的な項目(例えば、非常用照明の点検時の床面照度・覚知から避難放送までの時間)を加えて充足を図る。
- 総合評価は Risk A と Risk B の評価値から行なうが、どちらかが極端に防災性能の劣るものについてはそれぞれに改善が必要と判断する。
- 煙汚染の可能性：Risk A の極端に高い区画については区画開口部の防災性能(作動方法)の改善を図った場合の結果を示す。
- 避難安全性：Risk B の極端に高い区画(特にその区画内では十分な階段の確保されないもの)については、周辺の区画への水平方向の避難を計画的に取り入れる方向で防災対策が選択されるべきである。この水平避難は近接管理区画との防災面での一体化(ブロック化)によって実現される(具体的にはシャッターの2段降下・防煙垂れ壁の設置)として、このような改善を図った場合の結果を示す。

2.3 名古屋駅前地区地下空間・各管理区画間の開口部性能調査

2.3.1 調査の背景

名古屋駅前地区地下空間は地下街・ビル地下階・地下鉄道駅が混在していて一体化したものである。しかし、実際は42の管理主体(管理区画:地下街が9つ、ビル地下階が28、地下鉄道駅が4つ)に分かれていて、地上との開口部などの開閉はそれぞれ独自に行なっている。

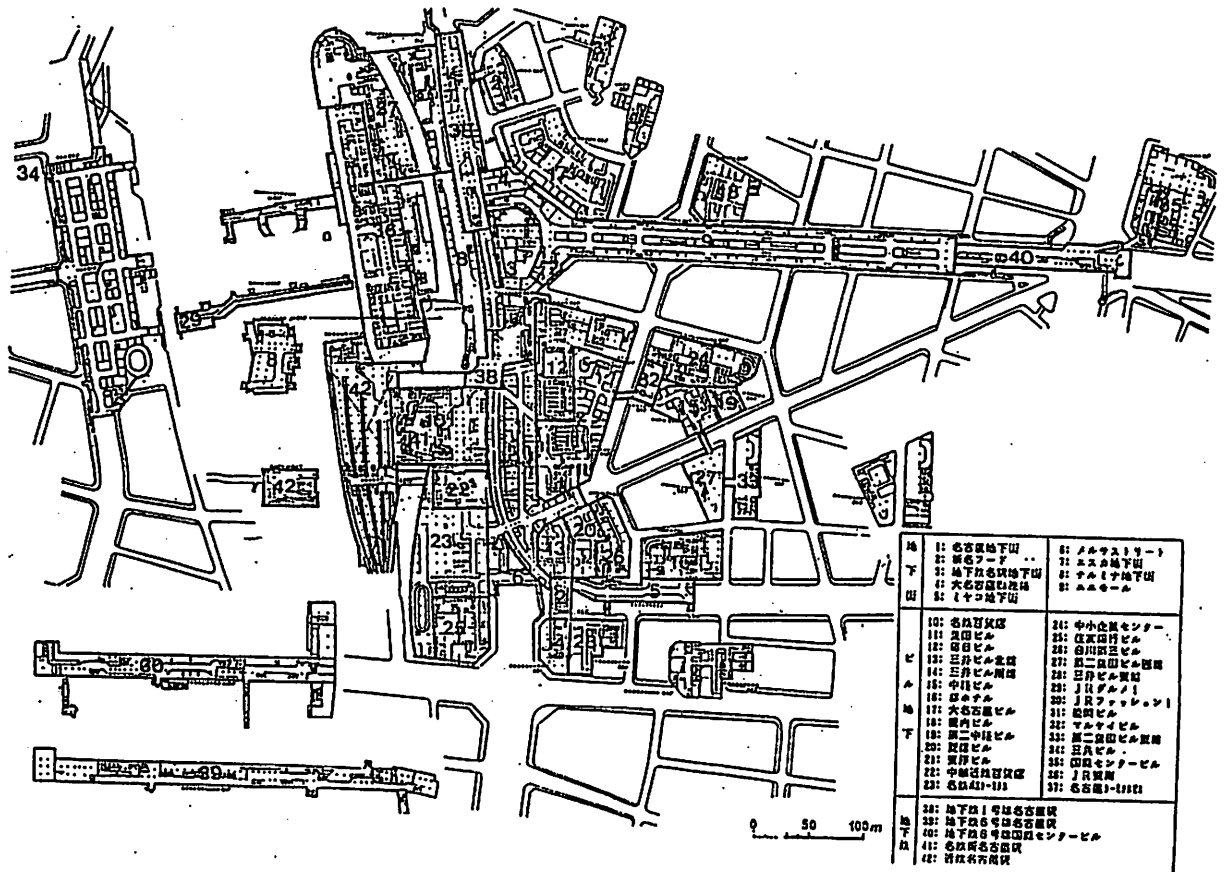


図 2.2: 名古屋駅前地区地下空間の概略図

図2.2から分かるように、それぞれの管理区画間のつなぎ目部分には主として人・物品の移動のために「区画開口部」が存在している。その結果多くの人々はどの部分で管理区画が変わったかが認識できない状態になっている。同時にある管理区画で火災が発生した際、隣接管理区画へ煙が及ぶかどうかにより多大な影響を与えることが想像される区画開口部の防災性能については名古屋駅地区全体として認識はされていないのが実状である。このことは、火災からの避難上でも大きな問題となり、在館者にとっても不利益となりかねない。そこで区画開口部についての現地調査を行ない、防災性能の把握を行なうと同時に次節以降の防災性能再評価に適用する。

2.3.2 調査概要

今回行なった調査について、その概要を示す。

- 調査目的 : 各管理区画間の接続部で火災の延焼がどの程度抑えられるかを把握する。
- 調査日時 : 1991年6月10日(月)～6月14日(金)
- 調査方法 : 原則として管理区画の接続部において開口部の大きさを測定し、同時にシャッター・扉の性能、作動方法、および開閉時間等を管理者にヒアリング調査した。
- 調査項目 : シャッター・扉により調査表を分類した(図2.3, 図2.4参照)

2.3.3 調査結果

調査結果の一部を表2.1に示す。今回の調査ではシャッター・扉について配置状況に関係なく調査を行ったが、ここでは以下のように「開口」を定義してその数え方、ならびにくぐり戸の処理について述べる。

- 開口 管理区画間の接続部において防火シャッター or 防火戸が1枚閉鎖することでその接続部を通じた通行ができなくなるようなもの
- 数え方 複数枚のシャッターが並列(図2.5参照)に配置されている場合、開口の数としてはシャッター・扉の枚数分だけあるとして数えることとし、直列(図2.5参照)に配置される場合には、枚数に関係なく開口の数としては1つとする。
- くぐり戸 区画開口部が閉鎖して通り抜けが不可能となった場合、近接したくぐり戸を通れば通過が可能となるが、このようなくぐり戸は開口としては数えない。

上記の定義によって数えたとき、シャッター・扉の総数は126であり開口の総数は111であることが確認される。

つなぎめ部分の防火区画の調査表 (シャッター)
整理番号 _____

名称 (地下街・ビル地下) _____ vs _____
(番号の若い方) (番号の大きい方)

防火戸の管理	側で維持管理								
開口部の大きさ (間口×高さ)	_____ × _____ m								
くぐり戸の有無 有・無	(有の場合) 大きさ _____ × _____ m								
区画の状況 ※戸あるいはシャッターが複数ある時はその状況を右図に示す:	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 80%; margin: 0 auto;"> <p style="text-align: center;">《主として断面図を示す》</p> </div>								
性能	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>防火防煙</td> <td>防火</td> <td>防煙</td> <td>その他</td> </tr> <tr> <td>甲種</td> <td>乙種</td> <td>その他</td> <td></td> </tr> </table>	防火防煙	防火	防煙	その他	甲種	乙種	その他	
防火防煙	防火	防煙	その他						
甲種	乙種	その他							
運動方法 ※感知器連動の場合は設置場所を図示する	<ul style="list-style-type: none"> ・感知器作動 (煙・熱・熱ヒューズ・その他 ()) ・現場操作 (自動・手動) ・遠隔操作 ・常時閉鎖式 ・その他 () <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 80%; margin: 10px auto;"></div>								
管理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ドアの開閉時間 (開) _____ : _____ (閉) _____ : _____ ・開閉責任者 _____ 側で開閉 ・休日とその対応 () 								
つなぎめ部分の天井裏の処置									
①防火区画的な処理がしてあるか									
②ダクトの貫通がある場合に処理はどうか									
③その他									

図 2.3: 調査表 (防火シャッターについて)

図 2.4: 調査表 (防火戸について)

つなぎめ部分の防火区画の調査表 (防火戸)
整理番号 _____

名称 (地下街・ビル地下)

_____ vs _____
(番号の若い方) (番号の大きい方)

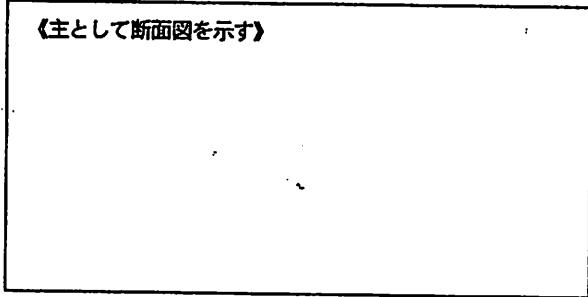
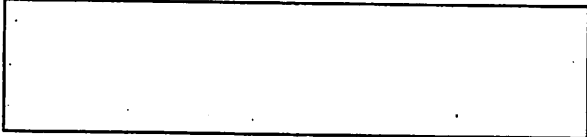
防火戸の管理		_____側で維持管理	
開口の大きさ (間口×高さ)		_____ × _____ m	
区画の状況 ※戸あるいはシャッターが複数ある時はその状況を右図に示す：	【主として断面図を示す】 		
性能	防火防煙 甲種	防火 乙種	防煙 その他
連動方法 ※感知器連動の場合は設置場所を図示する	<ul style="list-style-type: none"> ・感知器作動 (煙・熱・熱ヒズ・その他 ()) ・現場操作 (自動・手動) ・遠隔操作 ・常時閉鎖式 ・その他 () 		
管理方法 ・ドアの開閉時間 (開) _____ : _____ (閉) _____ : _____ ・開閉責任者 _____側で開閉			
つなぎめ部分の天井裏の処置 ①防火区画的な処理がしてあるか ②ダクトのの貫通がある場合に処理はどうか ③その他			

図 2.4: 調査表(防火戸について)

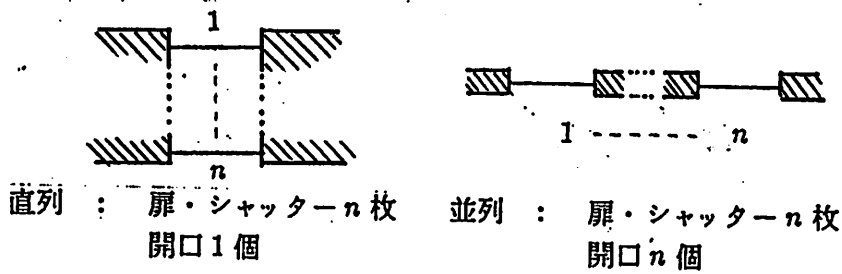


図 2.5: 開口の数の概念

以下、調査結果について分析結果を述べる。

(1) シャッター・扉の幅および高さ

シャッターおよび扉の幅・高さについてヒストグラムの形で集計したものが図 2.6 である。これをみると、幅については平均値が 4m 近くあり分布状況についてかなりのバラツキ(最大値: 10.3m)のあることが分かる。また高さについては地下空間の天井高さで規定される部分が多分にあるため、全体の約 9 割が 2.0m ~ 2.9m のカテゴリに入っている。つまり高さ方向についてはほとんど平均(2.475 m)化していると考えられる。

上記の分析をシャッターのみおよび扉のみで行うと、扉の方が幅・高さとも全体の平均よりも若干小さいことが分かる。

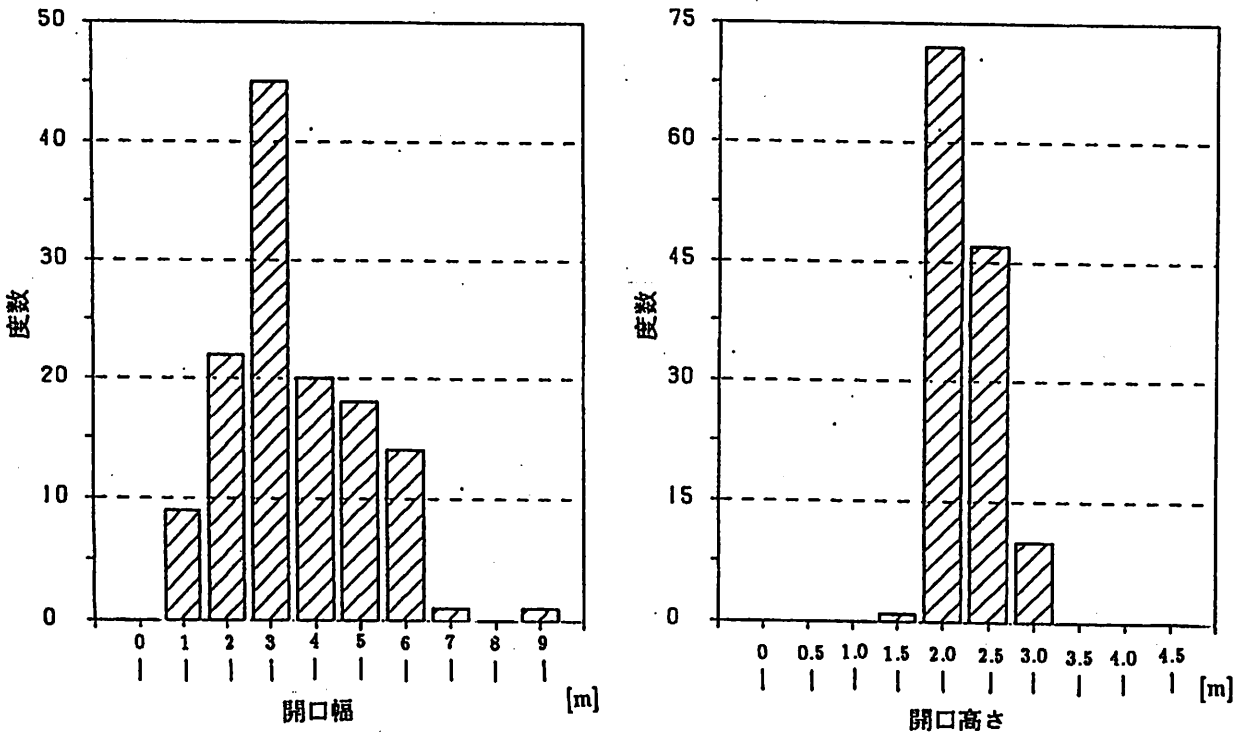


図 2.6: シャッター、扉の幅・高さについての分布

(2) 管理区画の属性

開口の特徴について、その開口が属している管理区画から検討する。

- 1) 地下鉄道駅との開口は閉鎖性能の信頼性が高いシャッター・扉が設置されている。また駅側で管理する開口は始発から終電まで開口が開いていることが必要なので、開閉時間がだいたい5:00～24:00ぐらいに集中している。この中には終日開いている開口も存在している。
- 2) 地下鉄道駅から離れたビル地下階の開口は、地下街を通過してビルへ入館するという目的のみで設置された開口が多数存在するため、閉鎖性能はその開口付近のボタン操作による「現場電動方式」であるものが多く、火災発生時の閉鎖については信頼性が低いと判断せざるを得ない。
- 3) 全体的な傾向は、空間の用途によって開口の性能・作動方法が異なり、また開設年度の違い(年代の新しい地下空間ほど性能の良いシャッター・扉が設置される)が開口の性能に影響を与えていると考えられる。

表 2.1: 区画開口部の調査結果(一部)

整理番号	名称	管理者	開口の大きさ	くぐり戸	種類	連動方式	二段階降下	閉鎖時間	休日	段差
1-2-1	サンロード-新名フード	新名フード(シャッター)	5.5m×2.3m		甲種 防火	現場 自動	無	7:00~22:00	開	
1-6-1	サンロード-メルサst	メルサst (ドア)	5.8m×2.3m	2.3m×2.5m	甲種 防火防煙	現場 自動	無	7:00~22:00	開	サンロード1.2m
1-10-1	サンロード-名鉄百貨店	名鉄百貨店(シャッター)	2.8m×2.1m		甲種 防火防煙	現場 自動	無	7:00~22:00	開	名鉄百貨店1.1m
1-10-2	同	名鉄百貨店(シャッター)	2.5m×2.3m		甲種 防火防煙	ヒューズ	無	10:00~22:00	開	
1-10-3	同	名鉄百貨店(シャッター)	4.1m×2.5m		甲種 防火防煙	現場 自動	無	10:00~19:00	閉	名鉄百貨店1.3m
1-10-4	同	名鉄百貨店(シャッター)	3.7m×2.1m		甲種 防火防煙	現場 自動	無	10:00~19:30	閉	
1-11-1	サンロード-豊田ビル	豊田ビル(シャッター)	2.5m×2.7m		甲種 防火防煙	煙	現場 自動	7:30~22:00	開	豊田ビル 1.3m
1-11-2	同	豊田ビル(シャッター)	3.6m×2.1m		甲種 防火防煙	現場 自動	現場 自動	7:30~22:00	開	豊田ビル 1.2m
1-11-3	同	豊田ビル(シャッター)	3.5m×2.8m		甲種 防火防煙	煙	現場 自動	7:30~22:00	開	豊田ビル 0.5m
1-12-1	サンロード-毎日ビル	毎日ビル(シャッター)	3.6m×2.8m		甲種 防火	現場 自動	無	7:00~22:00	開	
1-12-2	同	毎日ビル(シャッター)	4.5m×2.3m		甲種 防火防煙	煙(両)	無	7:00~22:00	開	毎日ビル 0.9m
1-13-1	サンロード-三井ビル北	三井ビル北(シャッター)	2.9m×2.6m		甲種 防火	現場 自動	無	7:00~22:00	開	三井ビル北1.6m
1-13-2	同	三井ビル北(シャッター)	4.8m×3.0m		甲種 防火	現場 自動	無	7:00~22:00	開	三井ビル北1.1m
1-20-1	サンロード-菱信ビル	菱信ビル(シャッター)	3.0m×2.4m		甲種 防火	現場 自動	無	7:30~22:00	開	菱信ビル 1.1m
1-22-1	サンロード-近鉄百貨店	近鉄百貨店(シャッター)	2.8m×2.4m	0.8m×2.0m	甲種 防火防煙	煙(両)	無	6:45~22:00	開	
1-22-2	同	近鉄百貨店(シャッター)	1.8m×2.4m		甲種 防火防煙	煙(両)	無	6:45~22:00	開	
1-22-3	同	近鉄百貨店(シャッター)	1.5m×2.4m		甲種 防火防煙	煙	無	0:00~24:00	開	
1-22-4	同	近鉄百貨店(シャッター)	3.5m×2.4m		甲種 防火防煙	煙	無	0:00~24:00	開	
1-23-1	サンロード-名鉄カサミ	名鉄カサミ(シャッター)	10.1m×2.4m		甲種 防火防煙	ヒューズ	無	7:00~22:00	開	名鉄カサミ0.7m
1-38-1	サンロード-1号名駅	サンロード(シャッター)	5.0m×2.3m	1.0m×2.0m	甲種 防火防煙	煙	現場 自動	7:00~22:00	開	
1-38-2	同	サンロード(シャッター)	3.8m×2.3m		甲種 防火防煙	煙	無	7:00~22:00	開	
1-38-3	同	サンロード(シャッター)	3.9m×2.4m		甲種 防火防煙	煙(両)	無	7:00~22:00	開	
1-38-4	同	サンロード(シャッター)	3.5m×2.4m		甲種 防火防煙	煙	無	9:00~19:00	閉	
2-5-1	新名フード-ミヤコ地下	ミヤコ地下(シャッター)	6.3m×2.0m		甲種 防火	現場 手動	無	7:00~22:00	開	
2-13-1	新名フード-三井ビル北	新名フード(シャッター)	5.0m×3.0m		甲種 防火	現場 自動	無	0:00~24:00	開	
2-13-2	同	新名フード(シャッター)	3.0m×3.0m		甲種 防火	現場 自動	無	0:00~24:00	開	
2-14-1	新名フード-三井ビル南	新名フード(シャッター)	5.0m×2.5m		甲種 防火防煙	現場 自動	無	0:00~24:00	開	
2-14-2	同	新名フード(シャッター)	5.5m×2.5m		甲種 防火	現場 自動	無	0:00~24:00	開	
3-8-1	メイチカ-テルミナ	テルミナ(シャッター)	6.4m×2.4m	1.3m×2.0m	甲種 防火防煙	煙(両)	無	5:15~24:20	開	
3-9-1	メイチカ-ユニモール	ユニモール(シャッター)	6.8m×2.4m		甲種 防火防煙	煙(両)	無	7:00~22:00	開	
3-12-1	メイチカ-毎日ビル	毎日ビル(シャッター)	3.5m×2.4m		甲種 防火	現場 自動	無	7:00~22:00	開	毎日ビル 1.4m
3-38-1	メイチカ-1号名駅	1号名駅(シャッター)	3.9m×2.3m	1.0m×2.0m	甲種 防火防煙	煙(両)	無	0:00~24:00	開	
3-38-2	同	1号名駅(シャッター)	3.8m×2.3m		甲種 防火防煙	煙	有	0:00~24:00	開	
3-38-3	同	1号名駅(シャッター)	3.8m×2.2m		甲種 防火防煙	煙	有	0:00~24:00	開	
3-38-4	同	1号名駅(シャッター)	4.0m×2.3m		甲種 防火防煙	煙	有	0:00~24:00	開	
3-38-5	同	メイチカ(シャッター)	3.7m×2.5m	0.8m×2.0m	甲種 防火防煙	煙	無	8:30~21:30	閉	
3-38-6	同	メイチカ(シャッター)	2.5m×2.5m	0.8m×2.0m	甲種 防火防煙	煙	無	10:00~20:30	閉	
3-38-7	同	メイチカ(シャッター)	2.5m×2.5m	0.8m×2.0m	甲種 防火防煙	煙	無	10:00~20:00	閉	
3-38-8	同	メイチカ(シャッター)	3.7m×2.5m		甲種 防火防煙	煙	無	10:00~20:00	閉	
4-17-1	大名bl連絡-大名古屋bl	大名bl連絡(シャッター)	6.6m×2.9m		甲種 防火	煙(両)	有	0:00~24:00	開	
4-38-1	大名bl連絡-1号名駅	大名bl連絡(シャッター)	6.1m×2.4m		甲種 防火防煙	煙(両)	有	5:15~24:30	開	
5-16-1	ミヤコ地下-都ホテル	ミヤコ地下(シャッター)	5.7m×2.4m	0.6m×1.7m	甲種 防火	煙	無	7:00~22:00	開	ミヤコ地下1.5m
5-16-2	同	ミヤコ地下(シャッター)	4.4m×2.4m	0.6m×1.7m	甲種 防火	煙	無	7:00~22:00	開	ミヤコ地下1.5m
5-26-1	ミヤコ地下-白川第3bl	白川第3bl(シャッター)	3.5m×2.9m		甲種 防火	煙	無	7:30~22:00	開	
5-26-2	同	白川第3bl(シャッター)	2.2m×2.9m		甲種 防火	煙	無	7:30~22:00	開	
5-26-3	同	白川第3bl(シャッター)	3.5m×2.9m		甲種 防火	煙	無	7:30~22:00	開	

2.4 煙汚染による評価値 (Risk A) の計算方法

以下、評価の対象となるのは文献[11]で報告された30の管理区画についてである。ここのRisk Aは、ある管理区画(i)の通路が火災によって発生した煙による汚染を受ける可能性を受ける評価値である。報告された調査結果に基づく評価値のうち、ここでいうRisk Aには表2.2に示される項目のうち、「物理環境」「出火危険」「店舗内危険」「通路内危険」の合計が該当する。だが、この評価は自身の火災に対しての煙汚染に対してのみ行われているので、実際の火災発生時に想定される隣接区画への煙伝播の危険が評価されていない。そこで、Risk Aを「区画(i)が出火した場合にその空間が煙の汚染を受ける可能性を示す評価値(Risk A_i(i))」と「他の区画が出火した場合に区画(i)が汚染を受ける可能性を示す評価値(Risk A_n(i))」の合計として算定する。

$$\text{Risk A}(i) = \text{Risk A}_i(i) + \text{Risk A}_n(i) \quad (2.1)$$

2.4.1 区画(i)出火の場合:区画(i)が煙による汚染を受ける可能性 (Risk A_i) の評価

Risk A_iの評価値は表2.2で示されたそれぞれの評価項目の点数にそれぞれの重み係数を掛けたものの和の形で計算される。評価項目の選定については文献[11]に詳しいので、ここでは点数化の方法について述べる。

- 1) アンケート調査から各管理区画ごとに算定したそれぞれの項目についての最小値と最大値をそれぞれ1点・5点とする。
- 2) 中間値については比例配分などを行って、それぞれ2～4点として最終的には5段階評価とする。
- 3) 評価項目間の検討から、全てが同程度には評価できないため人的被害に直接的に影響を与えると考えられるものなどを重み係数 $r=3$ 、中間的なものを $r=2$ 、剩り影響しないと思われるものを $r=1$ とする。
- 4) 各項目の点数は「点数× r 」という形で計算される。

図2.7にRisk A_iの分布状況をヒストグラムで示す。

2. 名古屋駅前地区地下空間における火災に対する危険度評価

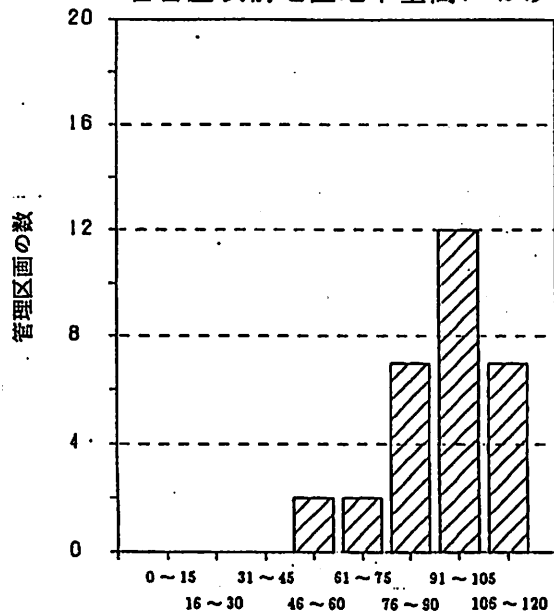


図 2.7: Risk A_i のヒストグラム

表 2.2: 報告書での評価値の算定法

評価項目		点数	1	2	3	4	5	重み
物理的 環境	総床面積 ¹		~ 10	10 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~	2
	店舗床占有率 ²		~ 0.2	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	0.8 ~	2
	店舗/通路の面積比 ²		~ 0.7	0.7 ~ 1.0	1.0 ~ 1.3	1.3 ~ 1.6	1.6 ~	2
	最大防火区画面積 ¹		~ 5	5 ~ 10	10 ~ 100	100 ~ 200	200 ~	3
出火 危険	ガス使用店舗数		~ 5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~	3
	ガス店舗数/全店舗数		~ 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.4	0.4 ~	2
	ガス店舗の平均床面積		~ 50	50 ~ 75	75 ~ 100	100 ~ 125	125 ~	1
	ガス店舗面積占有率 ³		~ 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.4	0.4 ~	3
	ダクト消火の設置率 ⁴		~ 90	70 ~ 90	50 ~ 70	30 ~ 50	~ 30	3
店舗内 危険	ガス店舗内装材の不燃 ⁵		~ 2.0	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~	2
	スプリンクラーの有無		有	—	—	—	無	3
	店舗と通路の区画 ⁶		~ 2.0	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~	2
	店舗内排煙設備 ⁷		~ 2.0	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~	2
通路内 危険	屋内消火栓設備の有無		有	—	—	—	無	1
	スプリンクラーの有無		有	—	—	—	無	2
	消火器の有無		有	—	—	—	無	1
	排煙設備		専用自然	専用のみ	給・排気	自然のみ	無	2
	防煙垂れ壁区画 ¹		~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~	2
避難	直通階段数		5 ~	4	3	2	1 ~	3
	地下街床面積に対する階段幅の総延長比 ⁸		~ 3.0	3.0 ~ 6.0	6.0 ~ 9.0	9.0 ~ 12.0	12.0 ~	3
	非常用照明の有無		有	—	—	—	無	2

注5, 注6についての評価方法は, 店舗別アンケートの質問の回答より下記の表にしたがって各々の店舗ごとに点数化し, その平均点より評価した。

注5について

ガス使用店舗内の不燃化

回答(不燃化率)	～80	60～80	40～60	20～40	～20%
評価点数	1	2	3	4	5

注6について

店舗と通路の区画方法の評価

種類(i)	1. 甲種	2. 乙種	3. 軽量	4. その他不明	5. 無し
1. 防火防煙	1	2	3	4	5
2. 防火	2	3	4	4	5
3. 防煙	2	3	4	4	5
4. 不明	3	4	4	4	5
5. 無し	3	4	4	5	5

$$\text{防災性能評価値 (R)} = \sum \frac{K(i,j)}{N}$$

¹単位は $\times 10^3$ [m²], その他は [m²]

²主に店舗が存在するフロアの面積のみを基準

³ガス使用店舗の総床面積 / 店舗が存在するフロアの総床面積

⁴ガス使用店舗におけるダクト消火設備を有する店舗数の比率 (%)

⁵上図参照

⁶上図参照

⁷専用および自然: 自然排煙と専用の機械排煙設備を兼用 (=1)

専用のみ: 専用の機械排煙設備 (=2)

給・排気: 吸気と排気の兼用 (=3)

自然のみ: 自然排煙のみ (=4)

無: 排煙設備無し (=5)

以上の点を各店舗ごとに配点し, 管理別に平均値を求める

⁸上記2の面積 / 地上に通じる直通階段幅の総和 ($\times 10^2$ [m²])

2.4.2 他の管理区画の出火により区画(i)が煙による汚染を受ける可能性 (Risk A_n) の評価

ここでは Risk A_n の計算方法を示す。

隣接区画への影響度の計算

2.4.1節ので求めた Risk A_i にある区画が持つ開口部の平均開放確率を掛けたものを、その管理区画内での煙汚染の可能性を示す評価値のうち周りの区画へ分配される評価値 (Risk A_o) とする。ただし、この場合には更にもう一つとなりの区画への煙汚染の可能性は無視できるとした。¹

さて、ある区画の出火による煙が他の区画を汚染する可能性を示す評価値は、開口部の開放確率によって決定できる。図 2.8 にその概念を示し、以下の (2.2) 式のように定義する。

$$\text{Risk } A_{i_o} = \text{Risk } A_i \times \frac{\sum_j P(i,j)}{\text{区画 } i \text{ とつながっている隣接区画 } j \text{ の数}} \quad (2.2)$$

この方法では、開口部の前後に大きな天井高の差があったり、外気へ直接つながる階段がある場合の煙流動の変化について考慮がなされていない。このような場合の考え方については第 3 章に示した。

(2.2) 式で求められた値に、規準化された開放確率(ある区画に存在する区画開口部すべての開放確率の和で、その開口の開放確率を割算した値)を掛けると、特定の開口を通じて分配される評価値 (Risk $A_{i \rightarrow j}$) が以下の (2.3) 式のように計算できる。

$$\text{Risk } A_{i \rightarrow j} = \text{Risk } A_{i_o} \times \frac{P(i,j)}{\sum_j P(i,j)} \quad (2.3)$$

Risk $A_{i \rightarrow j}$: 区画 (i) からの出火によって区画 (j) に煙が及ぶ危険性を示す値

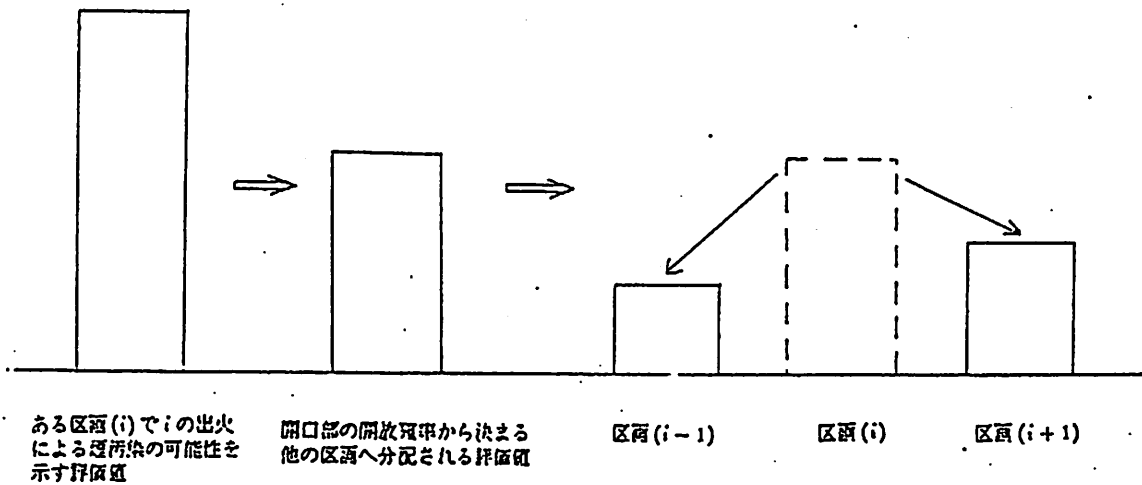


図 2.8: 火災による煙汚染の分配の概念

表 2.3: 防火区画の作動方法による閉鎖確率

作動方法	閉鎖確率
煙感知	0.8
熱感知	0.6
熱ヒューズ	0.4
現場電動	0.2
現場手動	0.1

開放確率の計算法

上記で考えた区画開口部の開放確率の計算方法を示す。

2.3節の調査結果判明した各開口部の閉鎖確率をその開口部の作動方法により以下の表 2.3 のように与える。

管理区画間の閉鎖確率を P_r とすれば、ある管理区画 (i) と別の管理区画 (j) の間の煙に対しての開放確率は以下の (2.4) 式のように示される：

$$P(i, j) = 1 - P_r(i, j) \quad (2.4)$$

($P(i, j)$: i - j 間の区画の開放確率)

($P_r(i, j)$: i - j 間の区画の閉鎖確率)

ただし、区画 i と区画 j が 1 つの開口だけでつながっていない場合もあるのでその時の考え方を示す。

1) 扉・シャッターなどが複数枚平行にならんでいるとき

この場合は、複数の開口のうち 1 枚閉まればその開口部分では煙は遮断される。よってその開放確率はすべての扉・シャッターが開いている場合になるので、以下の (2.5) 式のように示される。

$$P(i, j) = \prod_k \{1 - P_r(i, j, k)\} \quad (2.5)$$

($P_r(i, j, k)$: i - j 間の区画のうち k 番目の開口の閉鎖確率)

2) 複数の扉・シャッターが独立して存在するとき

この場合、1 枚でも開いていれば区画への煙の流入があるので、求める開放確率は少なくとも 1 枚開口部が開いているという事象であり、以下の (2.6) 式のように表される。

$$P(i, j) = 1 - \prod_k P_r(i, j, k) \quad (2.6)$$

($P_r(i, j, k)$: i - j 間の区画のうち k 番目の開口の閉鎖確率)

¹ほとんどの場合、火災の発生場所から 1 つ管理区画を越えてその隣の区画に至るまでには距離が 30m 以上あり、煙伝播の時間を考慮した場合無視できる。

Risk A_n の計算

これまでの結果を用いて、ある管理区画が隣接区画の出火によって煙汚染を受ける可能性を示す (Risk A_n) 評価値は以下の (2.7) 式のようになる。

$$\text{Risk } A_n(i) = \sum_{k=1}^m \text{Risk } A_{k \rightarrow i} \quad (2.7)$$

ただし、添字 k は区画 (i) に接している管理区画の総数 (m) を示す。

以上の考え方によって、(2.1) 式の値が計算される。アンケート調査の結果の存在する 30 の管理区画について Risk A を計算した結果を図 2.9, 図 2.10 に示す。図 2.9 は各管理区画での Risk A の構成状況が示されており、区画 No.1,2,15 では隣接区画から煙汚染を受ける可能性が高く、かなり危険であると判断される。この 3 つの区画は図 2.10 の Risk A のヒストグラムでも右側 (平均値 129.51, 標準偏差 60.158) にあることが分かる。2.6 節ではこのような管理区画の評価値を下げる方法を提案し、シミュレーションを行う。

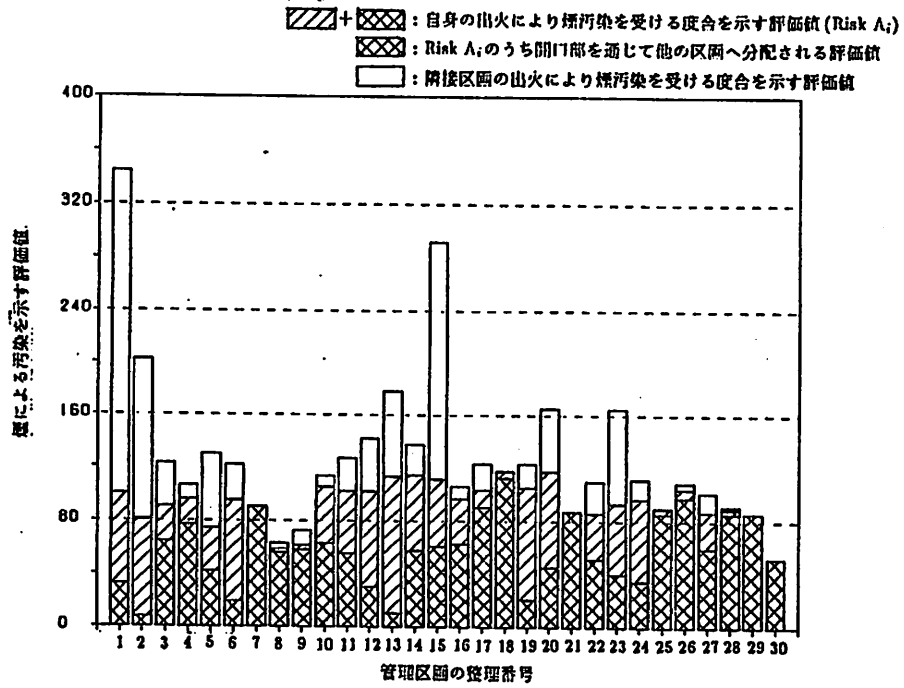


図 2.9: 現状での各管理区画の Risk A

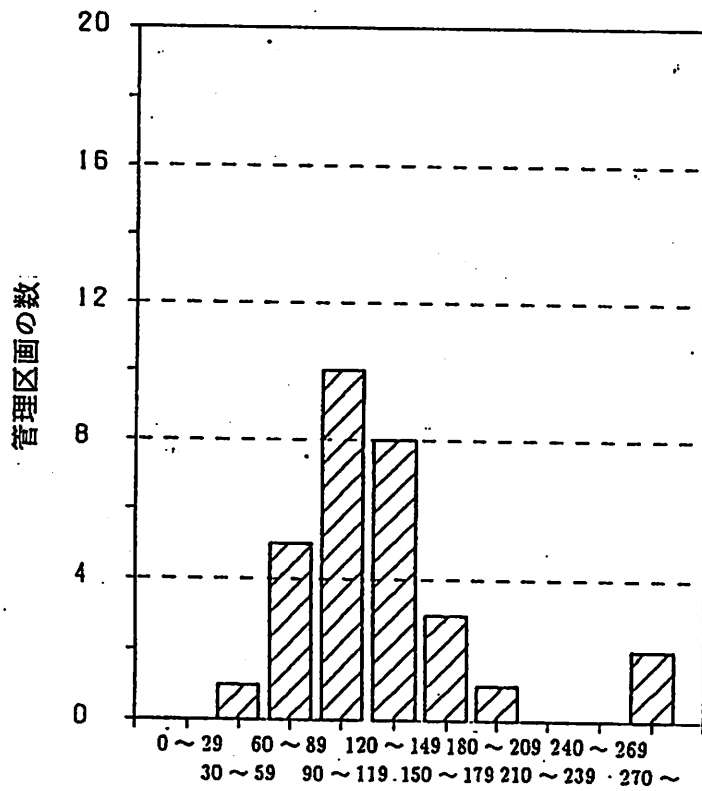


図 2.10: 現状での Risk A のヒストグラム

2.5 避難安全性の評価値 (Risk B)

Risk B とはある管理区画が煙に汚染された場合に、その空間から避難しやすいかどうかを示す評価値である。2.4節の表 2.2 の項目のうち、「避難」の項目に対応する。

ここでは何の変更も加えず、「避難」の評価値をそのまま Risk B とした。図 2.11 にそのヒストグラムを示す。この図から大きく危険側 (30—35) に存在する管理区画 (平均値 14.786, 標準偏差 11.085) が 3 つ存在していて、このような管理区画をなくすのが目標とされるべきである。

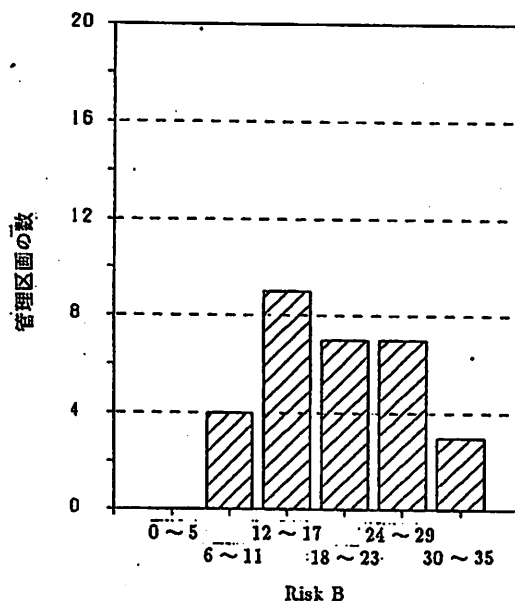


図 2.11: Risk B のヒストグラム

2.5.1 直通階段数・階段幅の分布

避難安全性を評価する項目のうち、空間の形態によって定まる項目 (直通階段数, 直通階段の階段幅の合計に対する地下街または地下階 (B1 部分) の総床面積の比) について、各管理区画の値を計算させた。結果を図 2.12 に示す。

一般的には一定の床面積 (収容人数と読み代えられる) に応じて階段幅・階段数が増加していき、ほぼ幅と数については線形関係が成立することが想像された。しかし図から、階段数は多いが 1 つ 1 つの幅は狭いというもの、階段数は少ないが幅は十分にとられているというようなものまで多数存在していることが分かる。例えば図 2.12 の (b) でいえば、y 軸の直通階段の階段幅に対する床面積の比が 3×10^{-3} の管理主体で x 軸の直通階段の階段数に対する床面積比には 4 倍以上の違いがあることが分かる。

地下街・ビル地下階それぞれの分布に対する相関係数はそれぞれ 0.619, 0.829 であり、2 つの集団での相関係数についての検定からは異質な空間であることが推定される。これは双方の空間での関係する法律の違い (地下街: 5 省庁通達, ビル地下階: 建築基準法) が大きいと考えられる。

また図 2.11 の Risk B の点数が高いもの (24 ~) が、図 2.12 の階段幅・階段数についての分布の中で左下の方にかたまって位置していて、点数が低いもの (6 ~ 11) は右上の方に位置している。このことは「階段」が Risk B の値を大きく左右していることを示している。

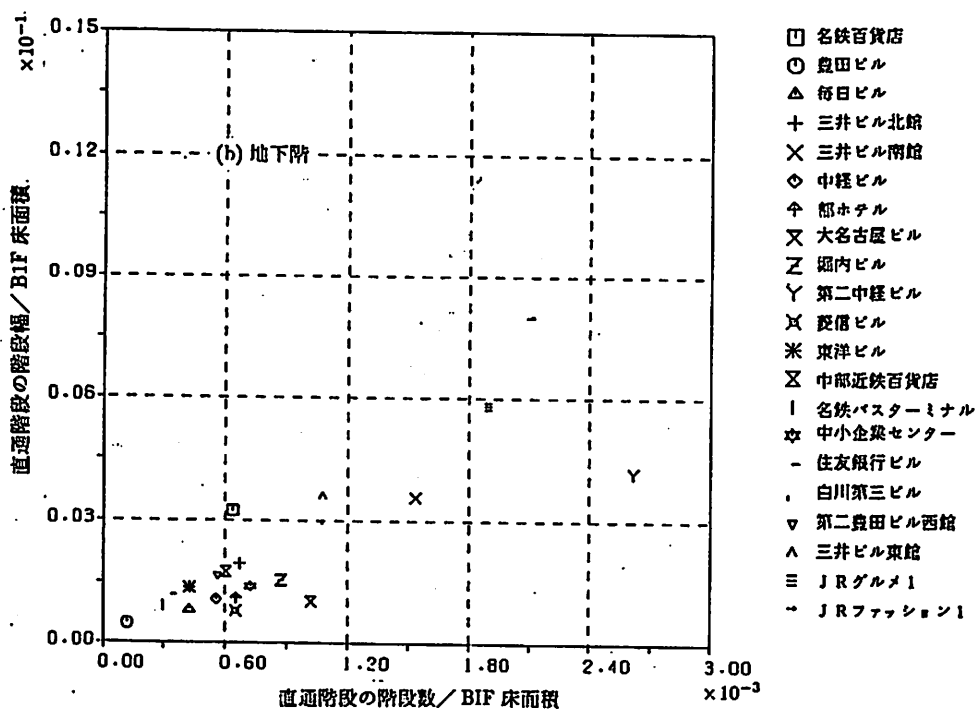
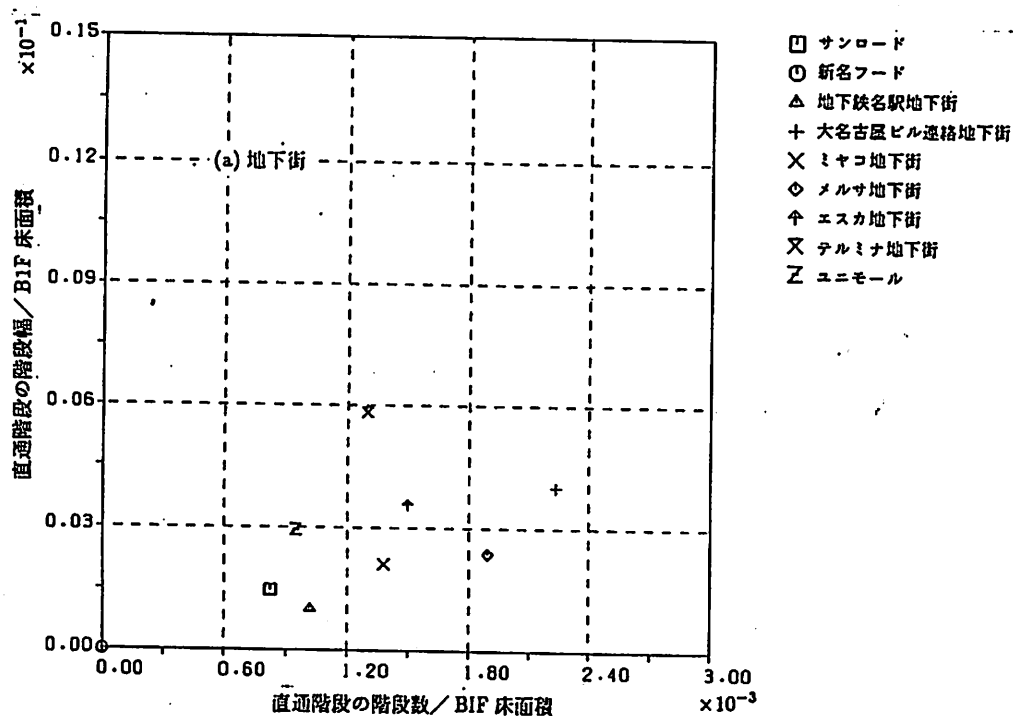


図 2.12: 階段幅・階段数についての分布

2.6 Risk A と Risk B の関連性

2.4および2.5節から計算されたそれぞれの評価値の散布図を図2.13に示す。(a)は地下街についてのものであり、(b)はビル地下階についてのものである。また縦軸にRisk B、横軸にRisk Aをとっている。これをみると地下街については1,2についてのRisk Aが、またビル地下階については15のRisk Aが他の管理区画に対してかなり大きいので、それぞれの相関係数は0.279,0.505と低めであるが、このような管理区画を除いて考えると2つの間の相関係数はかなり高くなることが想像される。この理由としては、評価項目の選択の際に地下空間の規模(床面積)に関係する項目が双方に存在しているためと考えられる。

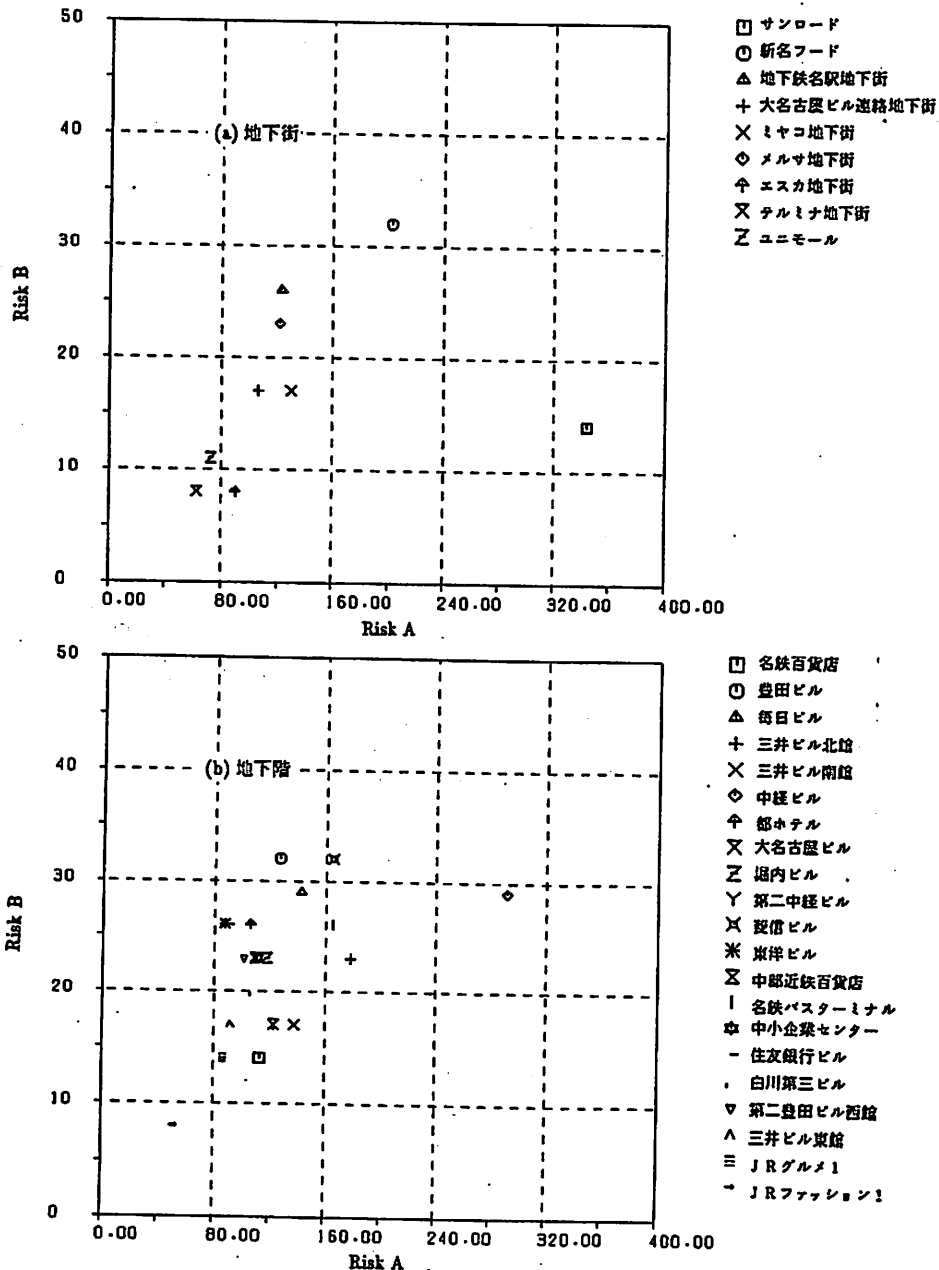


図 2.13: Risk A と Risk B の散布図

2.7 各種対策による改善シミュレーション

これまでにみてきたように、名古屋駅前地区地下空間においては各管理区画ごとに煙による汚染の可能性および避難安全性が大きく異なる結果となった。一般に一体となった空間においては同レベルの防災性能が要求されると判断されるため、現状の名古屋駅前地区地下空間における総合的な防災性能を改善することが強く望まれる。

一方、これまで示した評価の各項目の中には階段数・規模など個別の管理区画にとって変更が不可能に近いものも多く、このままでは評価の改善のための方策を適切に評価できないと考えられる。そこで本節では Risk A および Risk B それぞれの評価値が改善対策の実施によって、どのように変化するかをシミュレートし、結果について考察を加える。

2.7.1 Risk A についてのシミュレーション

Risk A の評価値を下げるための方法としては、「有効な区画の形成」が考えられる。2.3 節の調査結果から、現状では管理区画間の開口部は各管理区画にとってはいわゆる外部との開口である為、6 割程度が開口部の閉鎖を現場の電動方式によっている。このことは火煙伝播の阻止という意味では、信頼性の低い状態であるといえる。

一般に地下空間に存在する開口というのは、図 2.14 で示されるように大きく 5 種類に分けられる。煙拡大の阻止という意味においては開口 1, 2, 3 の閉鎖性能を保証することが重要であると考えられるが、ここでは開口 4 および開口 5 の閉鎖作動性能をすべて煙感知器連動方式へ変更したときの Risk A の変化についてのシミュレーションを行った（ただし他の項目を不変とする）。結果を図 2.15 および図 2.16 に示す。これから多くの管理区画において隣接区画からの煙汚染の可能性が減少するため、現状のままの Risk A の分布では改善が必要と判断された管理区画の全てが改善前の分布状態での平均値 + 標準偏差以内におさまるので、この方法は Risk A の軽減には意味があると判断される。

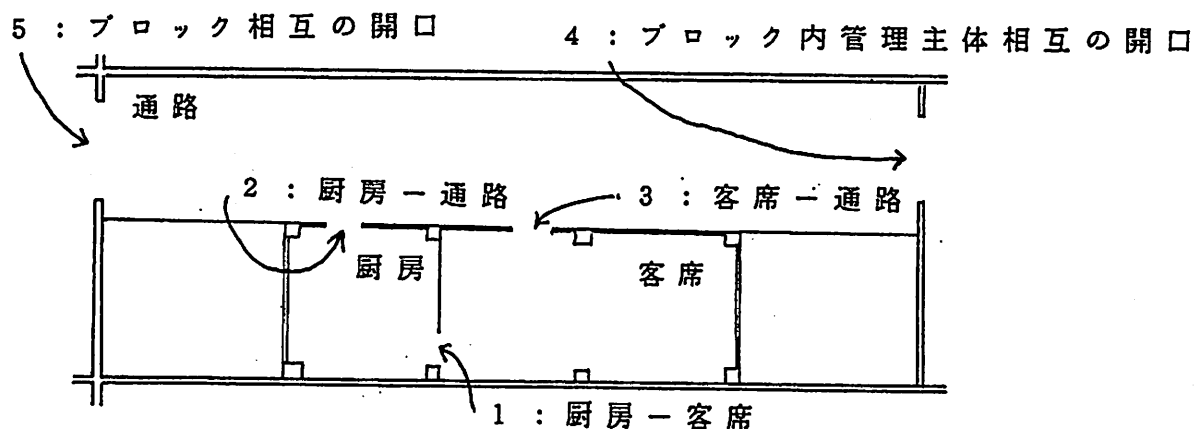


図 2.14: 地下街・ビル地下階での開口の種類

2. 名古屋駅前地区地下空間における火災に対する危険度評価

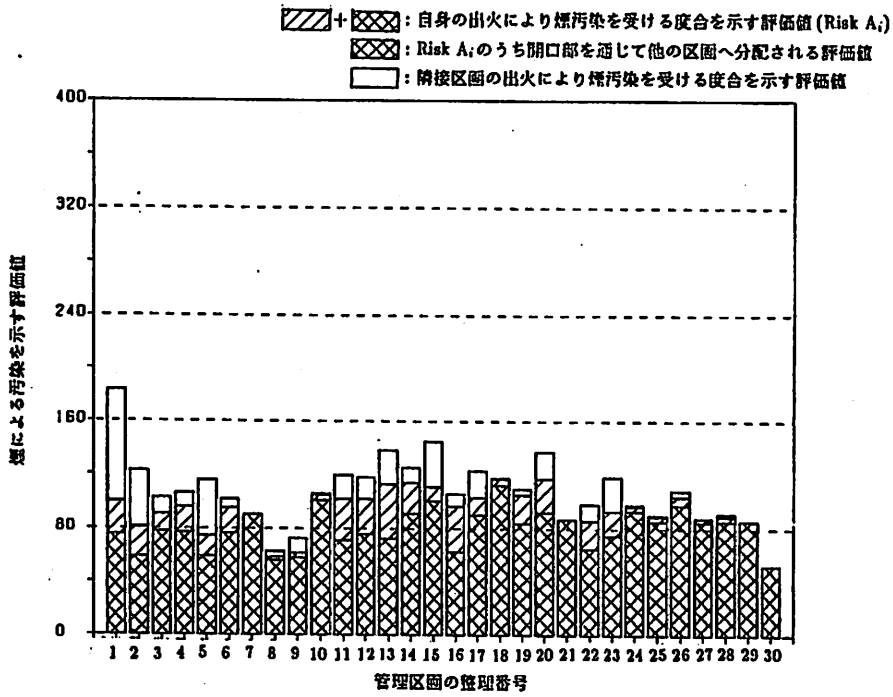


図 2.15: すべてを煙感知器連動方式に変更したときの Risk A

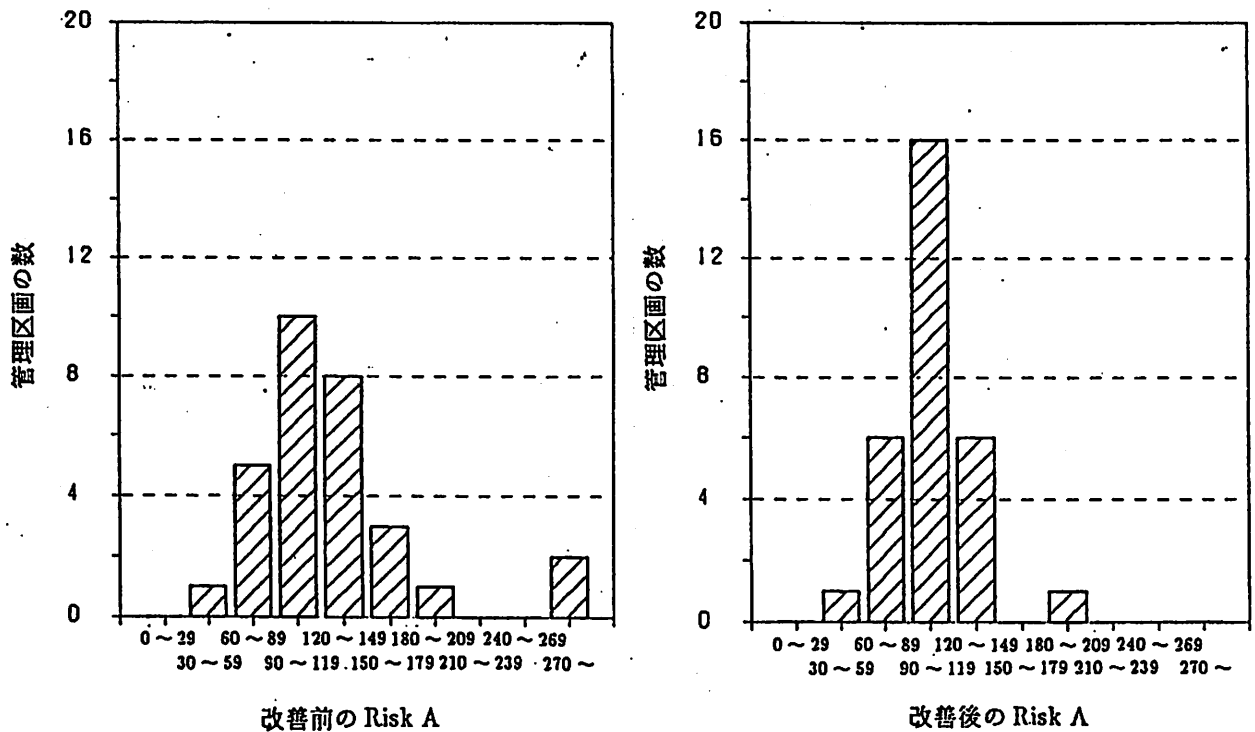


図 2.16: Risk A の分布型の変化

2.7.2 Risk B についてのシミュレーション

Risk B の評価値を下げるための方法として、「ブロック化」が考えられる。「ブロック化」とは以下のことを言う。

- 1) 近接する複数の管理主体をまとめて1ブロックとする。ブロック間の開口は閉鎖確率が高く、かつ延焼防止性能・遮煙性能の高いものとし、出火ブロック以外に出火による影響が及ばないようにする。
- 2) ブロック内の管理主体については管理主体間の開口を相互に避難経路として利用しあうことで避難安全性を向上させる(階段数, 階段幅の不足を補う)。

ここでは有効な二段降下シャッターを管理区画間に設置することで、隣接区画への安全な水平避難が可能になるものとし(一段目が降下したシャッターにより煙が止められ、シャッターを通過すれば安全な階段室へ入ったのと同等と考える)、隣接区画への開口の数だけ外気への直通階段の数を増加させ、その開口幅の分だけ直通階段の階段幅を増加させる効果があるものとした。なお、二段降下シャッターの一段目の高さの位置については第3章3.4で説明する。

例として提案されているブロック化案(図2.20,2.21参照)に基づいてブロック化を行ったときのシミュレーション結果を図2.17に示し、ブロック化したときの直通階段数・階段幅についての散布図を図2.18および図2.19に示す。

この結果から、改善が必要とされた30～35の評価となった管理区画は全て29以下に改善され、ブロック化の効果があることがいえ、また階段についての分布からは地下街・ビル地下階ともに安全側(グラフの右上の方向)へシフトしていることが示される。

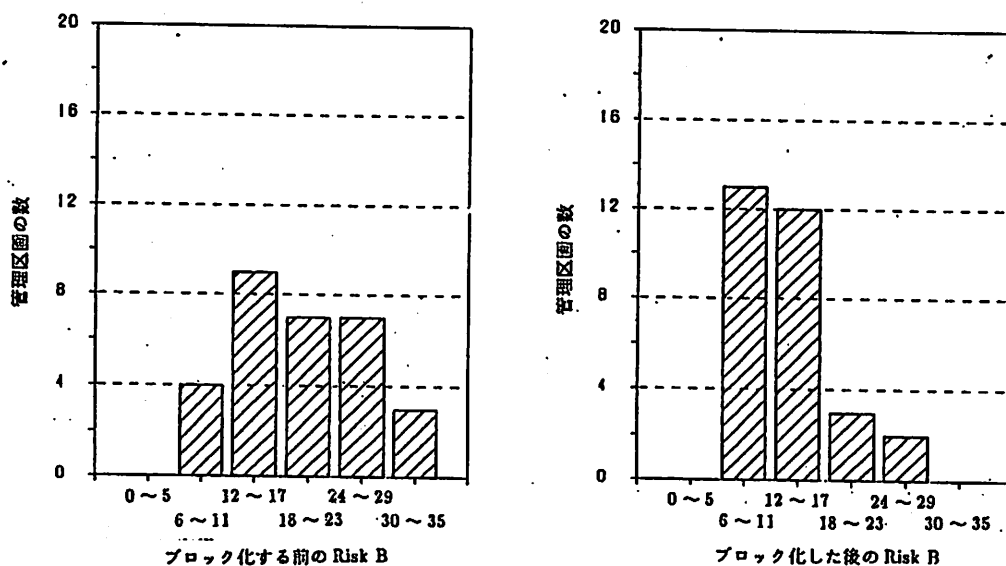


図 2.17: Risk B の分布型の変化

2. 名古屋駅前地区地下空間における火災に対する危険度評価

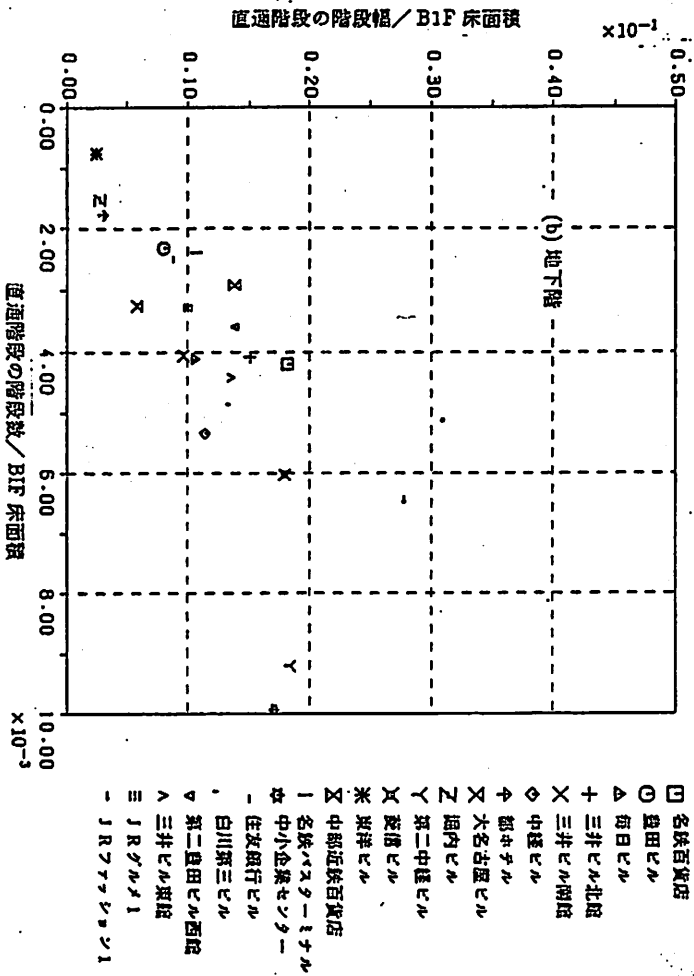
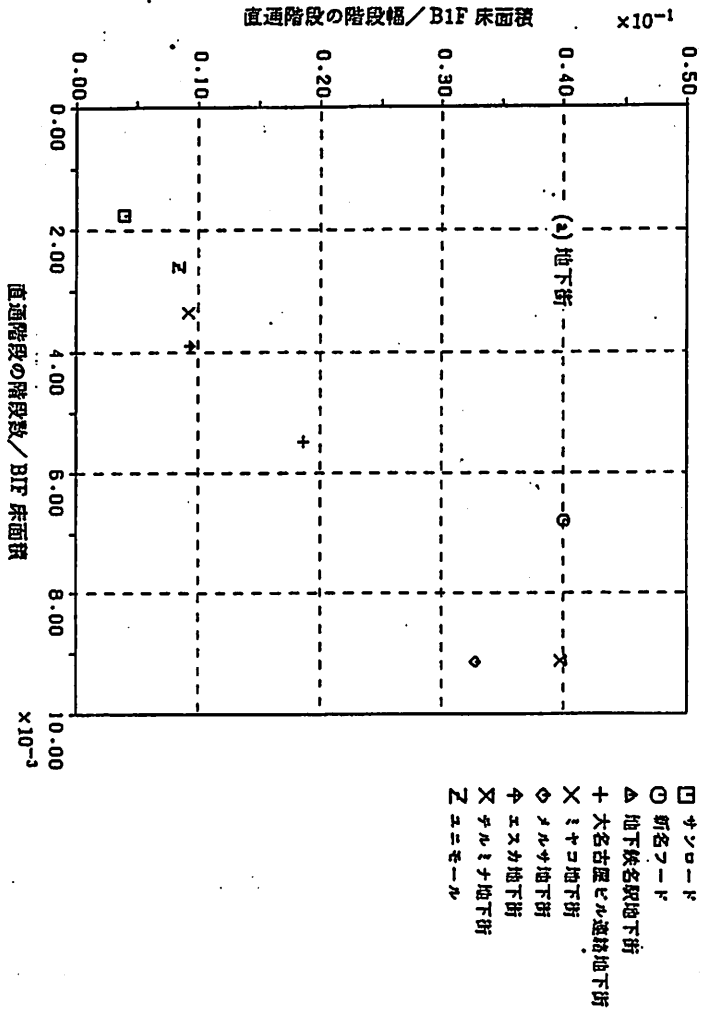


図 2.18: 階段幅・階段数についての分布(プロット化[案1]後)

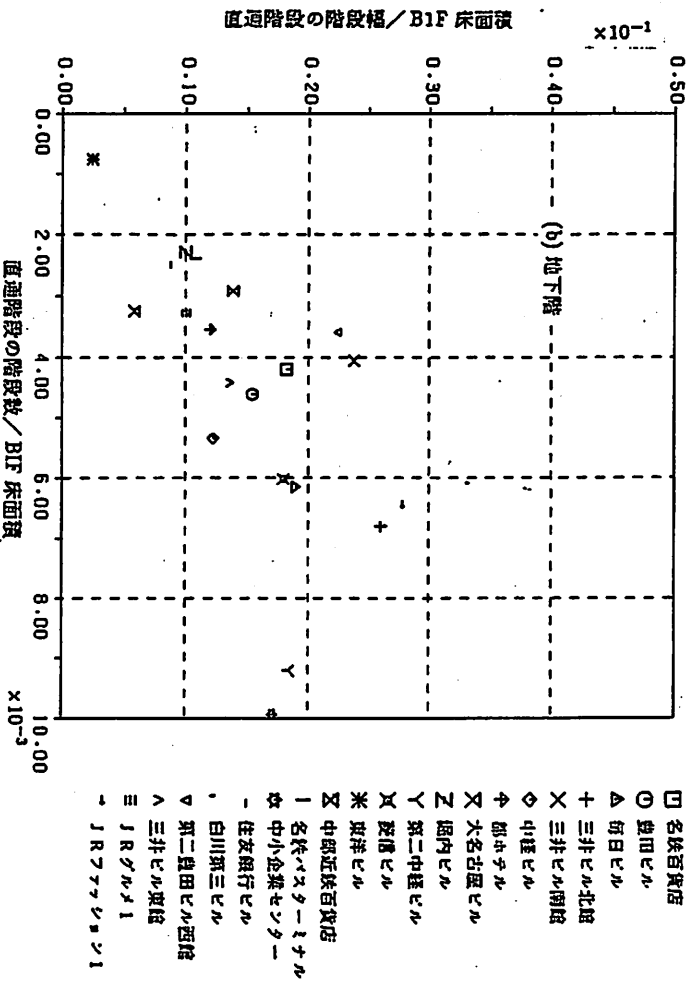
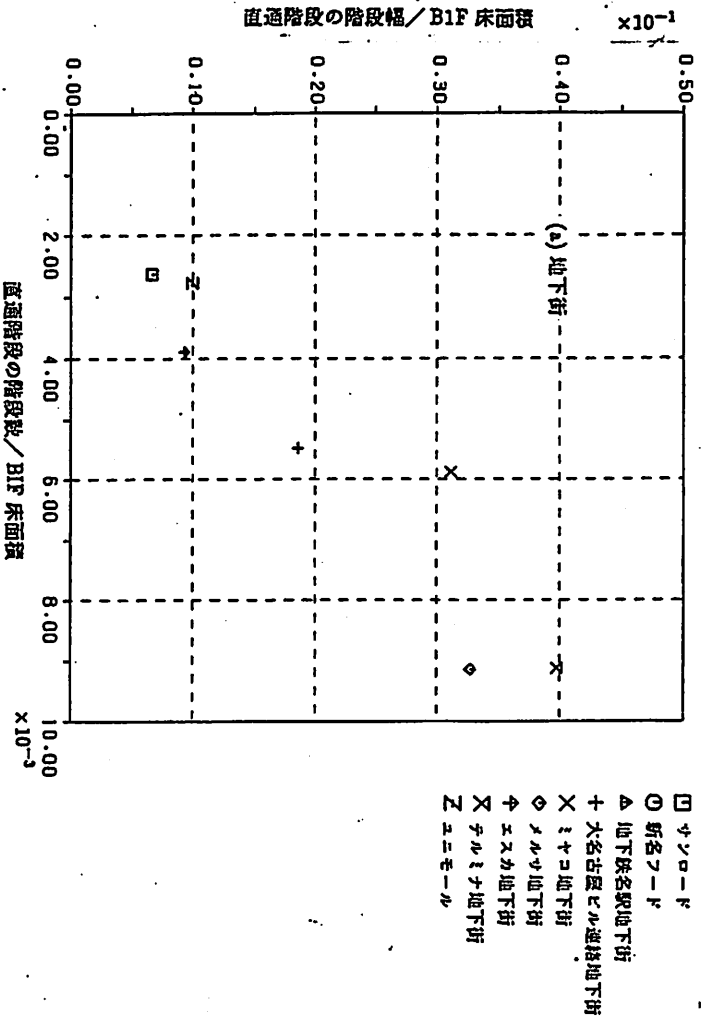


図 2.19: 階段幅・階段数についての分布(プロット化[案2]後)

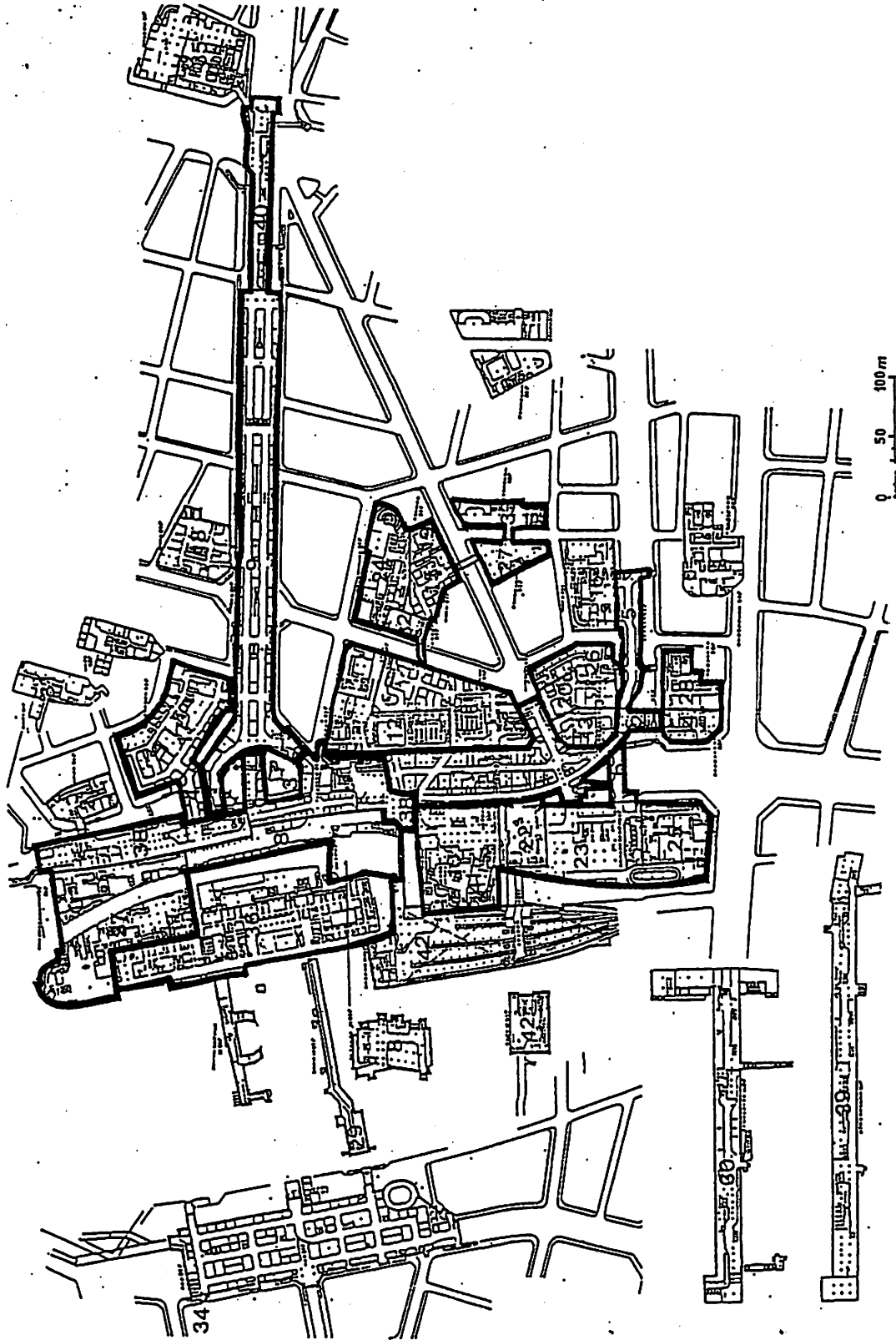


図 2.20: ブロック化案(1)

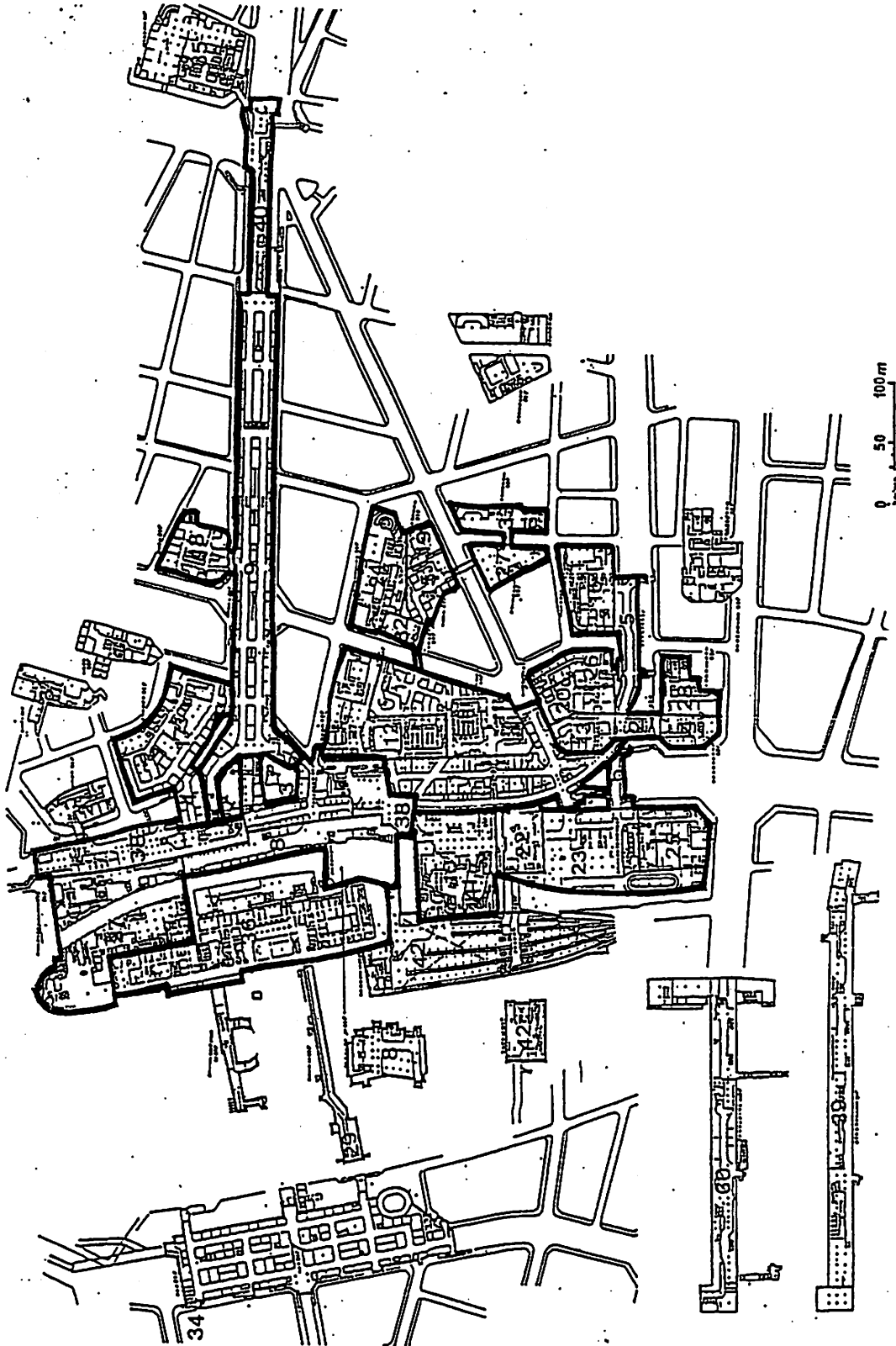


図 2.21: ブロック化案(2)

2.7.3 Risk B の改善による Risk A への影響

Risk B の評価値を下げるためにブロック化を行うと、ブロック間の区画開口部が閉鎖性能の高いものに改められることになり、またブロック内の区画開口部は垂れ壁を設置すれば現在の閉鎖性能でよいことになる。このような場合の Risk A の変化について2つのブロック化案でシミュレーションを行い、結果を図2.22～図2.27に示す。

これをみると、本来ブロック化によって火災による管理区画自身の危険性が改善されるわけではないので、Risk A を低減化するため煙感知器連動方式に変更する改善方法によるシミュレーション結果よりも Risk A に関しては結果が悪くなる。またブロック化後の Risk A と Risk B の相関をみると、ほとんど無相関になるので2つの指標の独立性が考えられる。

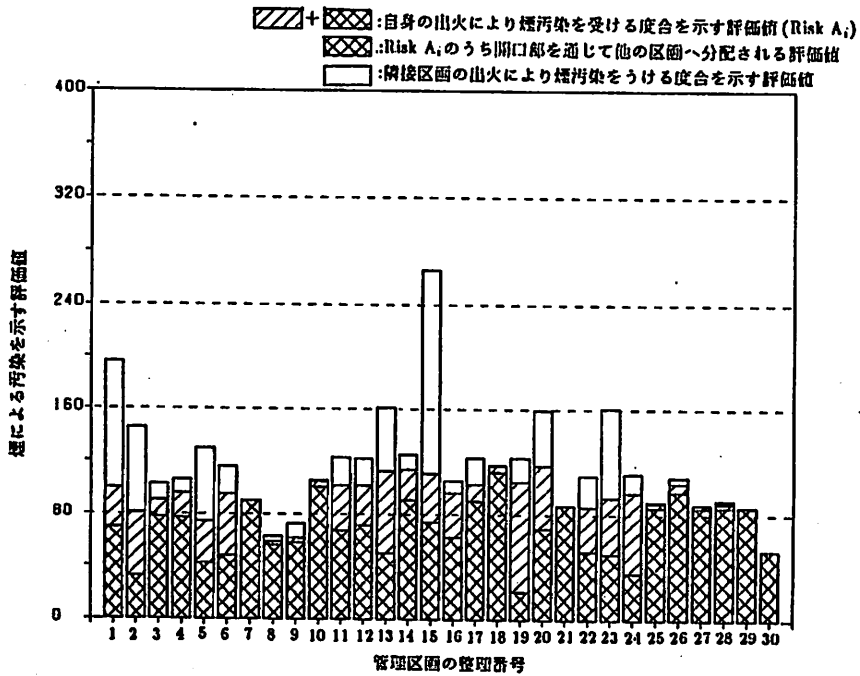


図 2.22: ブロック化案(1)による各管理区画の Risk A

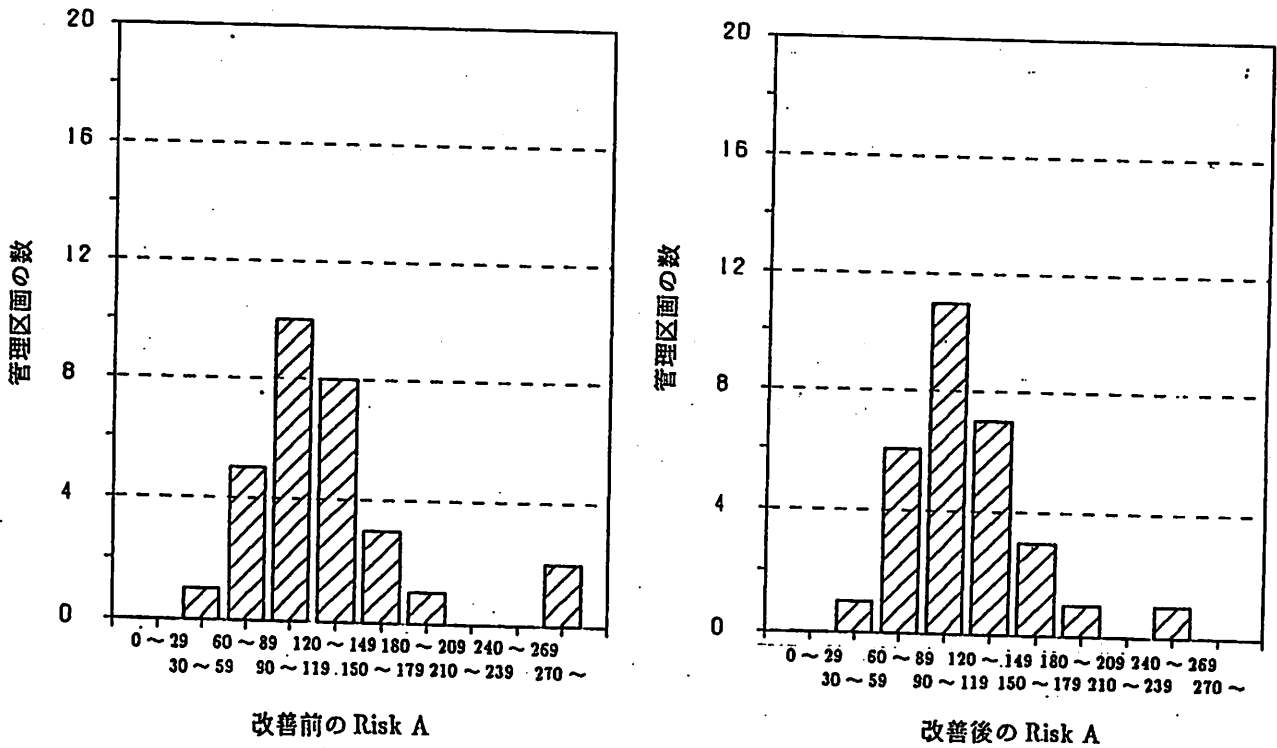


図 2.23: ブロック化案(1)による Risk A の分布変化

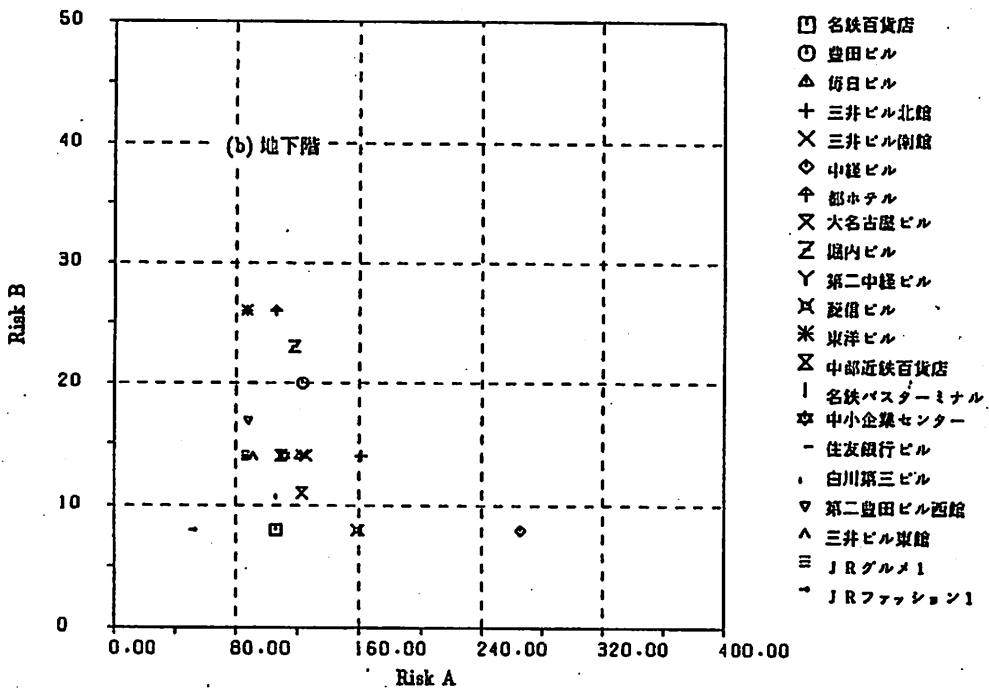
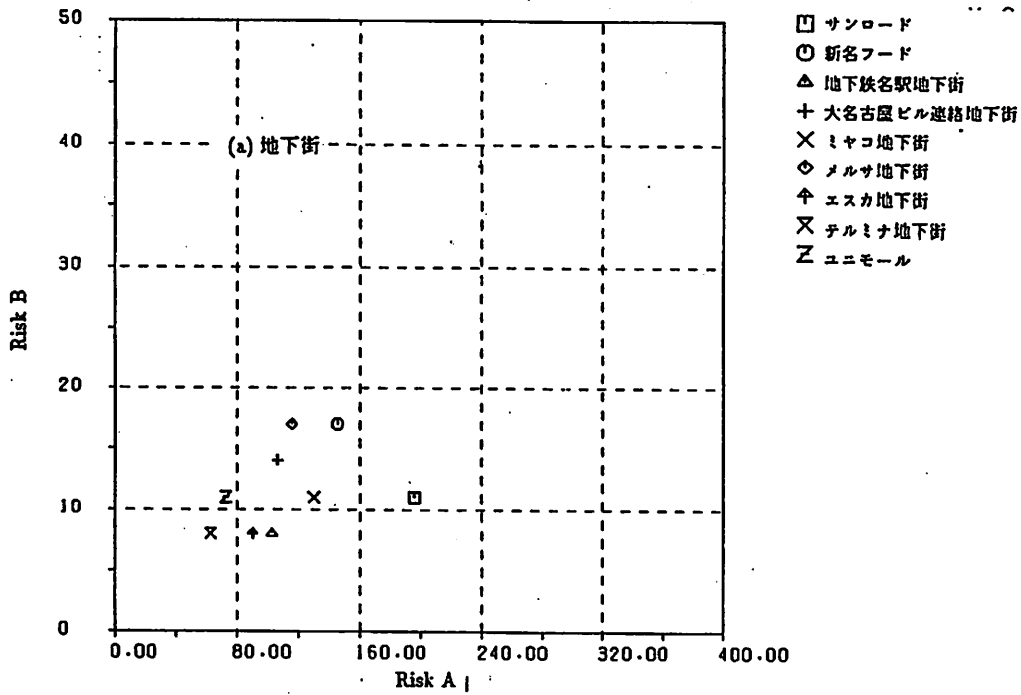


図 2.24: ブロック化案(1)による Risk A と Risk B の相関

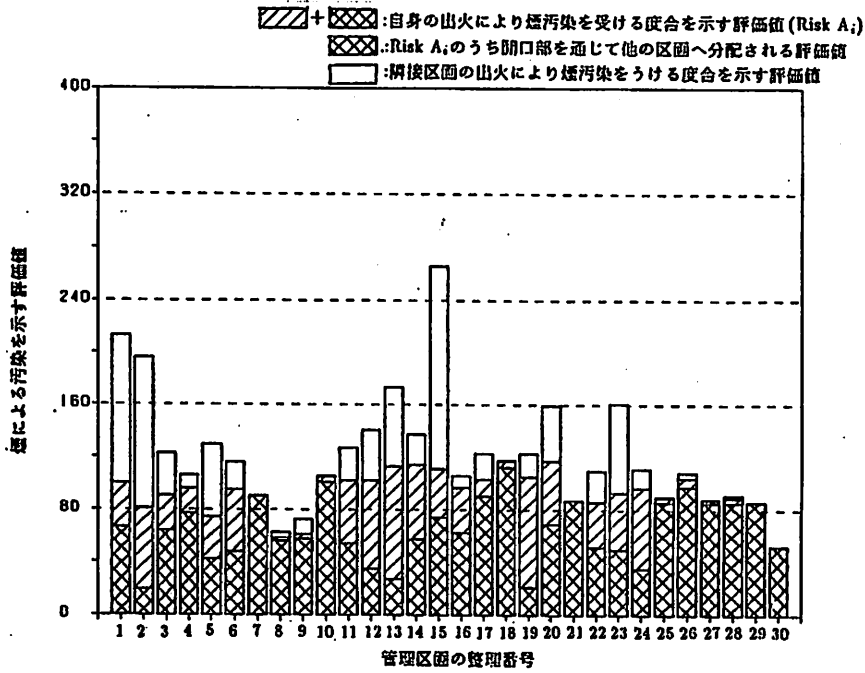


図 2.25: ブロック化案(2)による各管理区画の Risk A

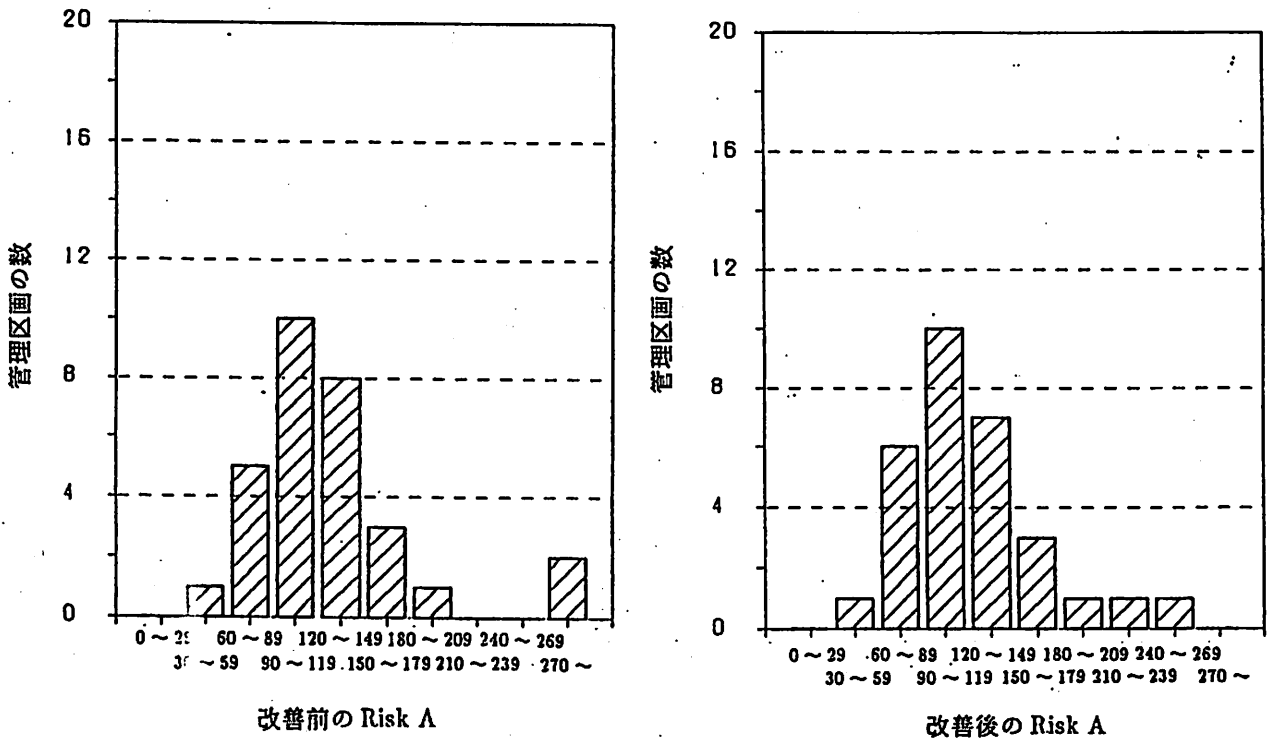


図 2.26: ブロック化案(2)による Risk A の分布変化

2. 名古屋駅前地区地下空間における火災に対する危険度評価

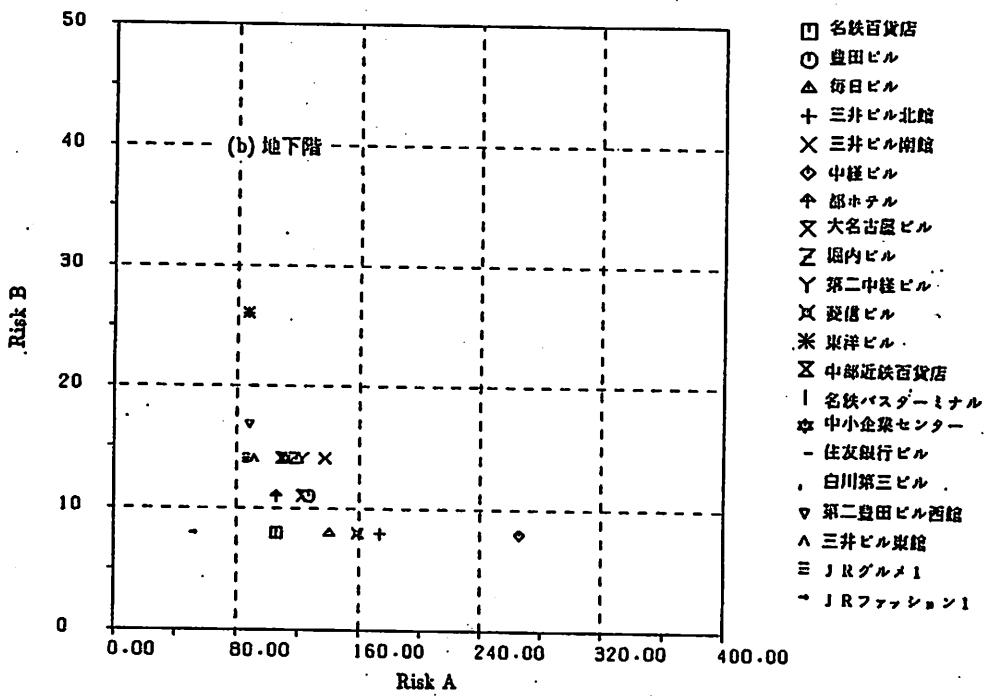
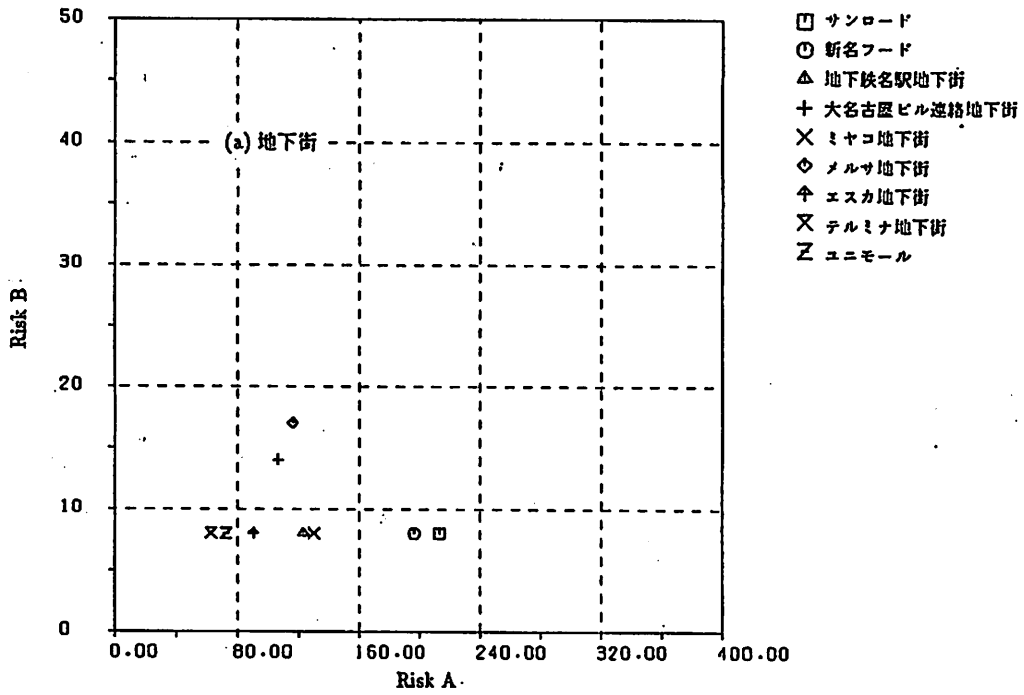


図 2.27: ブロック化案(2)による Risk A と Risk B の相関

2.8 まとめ

本章では、地下空間の火災危険度評価として名古屋駅前地区をモデルとして、アンケート調査から導かれた評価の再検討を行い、同時に区画開口部の防災性能の改善・ブロック化に伴うシミュレーションを実施して現状との比較分析を行った。考察内容としては以下のようにまとめられる。

- (1) 区画開口部の実地調査から、多くの区画開口部において火災発生時の閉鎖機構が「現場による電動方式」(開口部のそばでのボタン操作によるもの)によっており、閉鎖という面からは信頼性の低い状態となっている。
- (2) 名古屋駅前地区では火災による煙汚染の評価(Risk A)・避難に対しての評価(Risk B)とも、一体化した空間であるにも関わらずかなりバラツキがみられる。
- (3) Risk A の改善するための区画開口部の作動性能の向上、あるいはRisk Bを改善するためのブロック化両方とも、現状における極端に評価値の高い管理区画(平均値+標準偏差よりも値が高いもの)は状態が改善され、改善前の平均値+標準偏差以内に納まる。
- (4) Risk Bを改善するためのブロック化を行った際のRisk Aにおける変化はあまり危険性を改善する方向には働いていない。

第3章

シミュレーションプログラムを用いた評価法の検討

3.1 はじめに

第2章の防災性能評価は、実際の地下空間の形状(天井高さ・外気直通階段の開口の存在)を考慮にいかず、開口部の防災性能のうち作動方法による開放確率のみで決定されている。開放確率がそのまま煙の拡がり方を示すとすれば、この値は隣接区画への煙伝播確率と読み代えることができ、正確な煙伝播の状況を表示しているとは考えられない。

また評価値 Risk B の低下のための対策として考えられる「ブロック化」の為には、防煙垂れ壁・二段降下シャッターを用いることとなるが、それに要求される性能は避難中の隣接区画への煙伝播を抑えることであり、そのためには煙溜めの高さを適切なものとしなければならない。

本章では、煙流動性状予測のためのシミュレーションプログラムである「二層ゾーンモデル」[12]を用いて、以下の事象について検討し考察を加えたものである。

- (1) 開口部高さに差がある場合に、開放確率のみで煙伝播確率を求めるのと比べてどの程度の差が生じるかを計算する
- (2) 火災室での発熱量を5MWとした場合の地下空間の通路幅・天井高さを変化させて、最適と考えられる防煙垂れ壁の高さ(または二段降下シャッターの一段目の降下高さ)の推定

3.2 煙伝播確率計算シミュレーションの考え方

火災による煙流動シミュレーションを実行して、煙伝播確率を求める際に考慮されるべきポイントとしては、

1. シミュレーション地域をどのように選択するか
2. 想定火源をどのように設定するか

3. シミュレーション結果をどのように評価するか

の3つが考えられる。ここでは煙伝播確率をどのように考えるかを述べた後、これらの要因についての考え方を述べる。

3.2.1 煙伝播確率の計算法

ある管理区画(i)において火災が発生したときの隣接区画への煙の広がり方を、各開口部での煙伝播確率として以下のように計算する。

- 1) それぞれの区画開口部は表2.3で作動方法による閉鎖確率が与えられている。(火災が発生した場合は、開口部は閉鎖または開放のどちらかの状態をとるものとする。またそれぞれの開口部は独立に作動すると仮定する。) ある区画(i)に隣接する区画(1つとは限らない)との区画開口部の数の合計を k 個とすれば、開放・閉鎖についての組み合わせパターンは例えば表3.3のように 2^k 個になる。その組み合わせの一つ一つに対して確率 $P_r(i, j, \ell)$ ($j = 1, 2, \dots, k$; $\ell = 1, 2, \dots, 2^k$) が計算される。

ただし $P_r(i, j, \ell)$: 管理区画(i)に隣接する管理区画の開口部(k 個)のうちの、 j 番目の開口部について 2^k ある組み合わせのうち ℓ 番目をとる確率

- 2) 開口部をとるパターンに対して、火災発生時の煙流動シミュレーションモデルである二層ゾーンモデルを用いて、ある火源状態での各開口部を通過する流動状態を計算させる。この際流れは基本的に非定常(ただし今回のモデルでは600[sec.]以降ではほぼ定常となる)であって、時間のFactorがもう1つあることを確認しておく。
- 3) それぞれの開口部(j)からのあるパターン ℓ での煙の流出量は $V(i, j, \ell)$ ($j = 1, 2, \dots, k$)と求められる。これにパターン ℓ をとる確率 $P_r(i, j, \ell)$ を掛ければ j 番目の開口部での煙流出量の期待値 $\bar{V}(i, j)$ が、(3.1)式のように求められる。

$$\begin{aligned} \bar{V}(i, j) &= V(i, j, 1)P_r(i, j, 1) + V(i, j, 2)P_r(i, j, 2) + \dots + V(i, j, 2^k)P_r(i, j, 2^k) \\ &= \sum_{\ell=1}^{2^k} \{V(i, j, \ell) \times P_r(i, j, \ell)\} \end{aligned} \quad (3.1)$$

$\bar{V}(i, j)$: j 番目の開口部での煙流量の期待値 [m³/sec]

$V(i, j, \ell)$: j 番目の開口部でパターン ℓ の時の煙の流出量 [m³/sec]

$P_r(i, j, \ell)$: j 番目の開口部でのパターン ℓ の時の開放確率

- 4) すべての開口部について煙の流出量の期待値の和をとると、これは火災で発生したすべての煙の量と考えられる。この値と3)での $\bar{V}(i, j)$ との比をとると、その開口部を通じて煙が流入する可能性を示す指標(煙伝播確率)を求めることができる。数式で表現すると(3.2)式のようになる。

$$\alpha_{i \rightarrow j} = \frac{\sum_{l=1}^{2^k} \{V(i, j, l) \times P_r(i, j, l)\}}{\sum_{j=1}^k \sum_{l=1}^{2^k} \{V(i, j, l) \times P_r(i, j, l)\}} \quad (3.2)$$

$\alpha_{i \rightarrow j}$: 前節での区画*i*と区画*j*の間の開放確率にあたるもの

3.2.2 想定火源の設定

上記のシミュレーション計算に火源の大きさが与える影響はかなり大きいことが、推定される。計算に際しては「想定火源」として、ある大きさの火源(標準的なものとして5MW)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、この様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。

そのため、ここではシミュレーションに用いる火源の大きさについて、想定火源が焼損面積に比例して0.5MW/m²であると仮定すると、1.4.2節で求められた焼損面積分布を読み代えることによって、「小火源(1MW)、中火源(3MW)、大火源(5MW)」の発生する確率にあてはめることができる。想定する火源の大きさの分布図を図3.1に示す。これは地下空間を構成する店舗のうち、最も多いと思われる飲食店舗についてみたものである。これから例えば、1MW以下の火災である確率は85%であると考えられる。その他の地下空間によく存在する用途には物販店舗・事務所があるが、それらでは火災が1MW以下の確率は95%となる。

一般に最も危険と考えられる事象が発生した際でも安全であることが保証された場合に、その空間のもつ危険度が低いことは妥当であると判断されるので、今回のシミュレーションでは飲食店用途での火源状態を用いることとする。

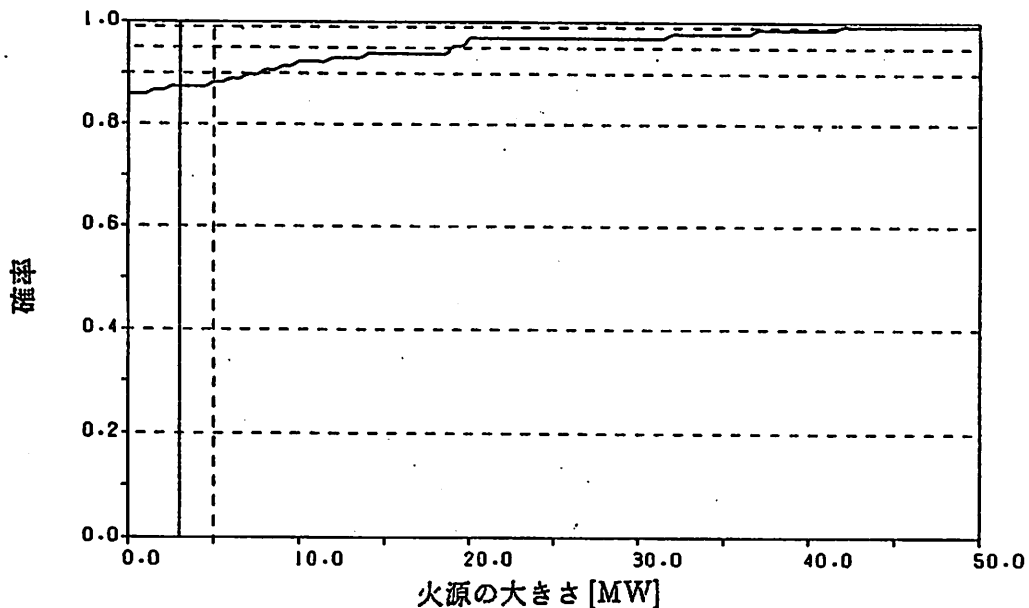


図 3.1: 飲食店での火源分布

3.2.3 シミュレーション地域の選択

火源の大きさと同様に、開口部の幾何学的な配置も煙流動シミュレーションに大きな影響を与えることが想像される。実際の煙流動に影響を与えるような開口部の配置条件としては、区画開口部から30m以内に外気へ開放された階段の開口が存在することで、これは前章の危険度評価の際には、火災で発生した煙が隣接区画へ及ばずに階段開口から逃げるので煙伝播確率(作動方法から計算された開放確率)が変化すると考えられる。このことは危険度評価から何らかの防災性能向上のための対策をとるときに、過度に安全性を要求される事態となりかねない。これは実際に改修を担当する事業者側にとっては予算の関係などから容認できない。

名古屋駅前地区地下空間において、実際に外気直通階段の影響を受けると考えられる区画開口部はある程度存在するが、複数の区画開口部との兼ね合いで煙流動の状況が複雑化すると考えられる地域は2, 3箇所に限られる。今回のシミュレーションでは図3.2で示されるような4つの区画開口部と1つの階段開口部をもつような地域を選択し、3.3節でモデル化を行いシミュレーション計算を行う。

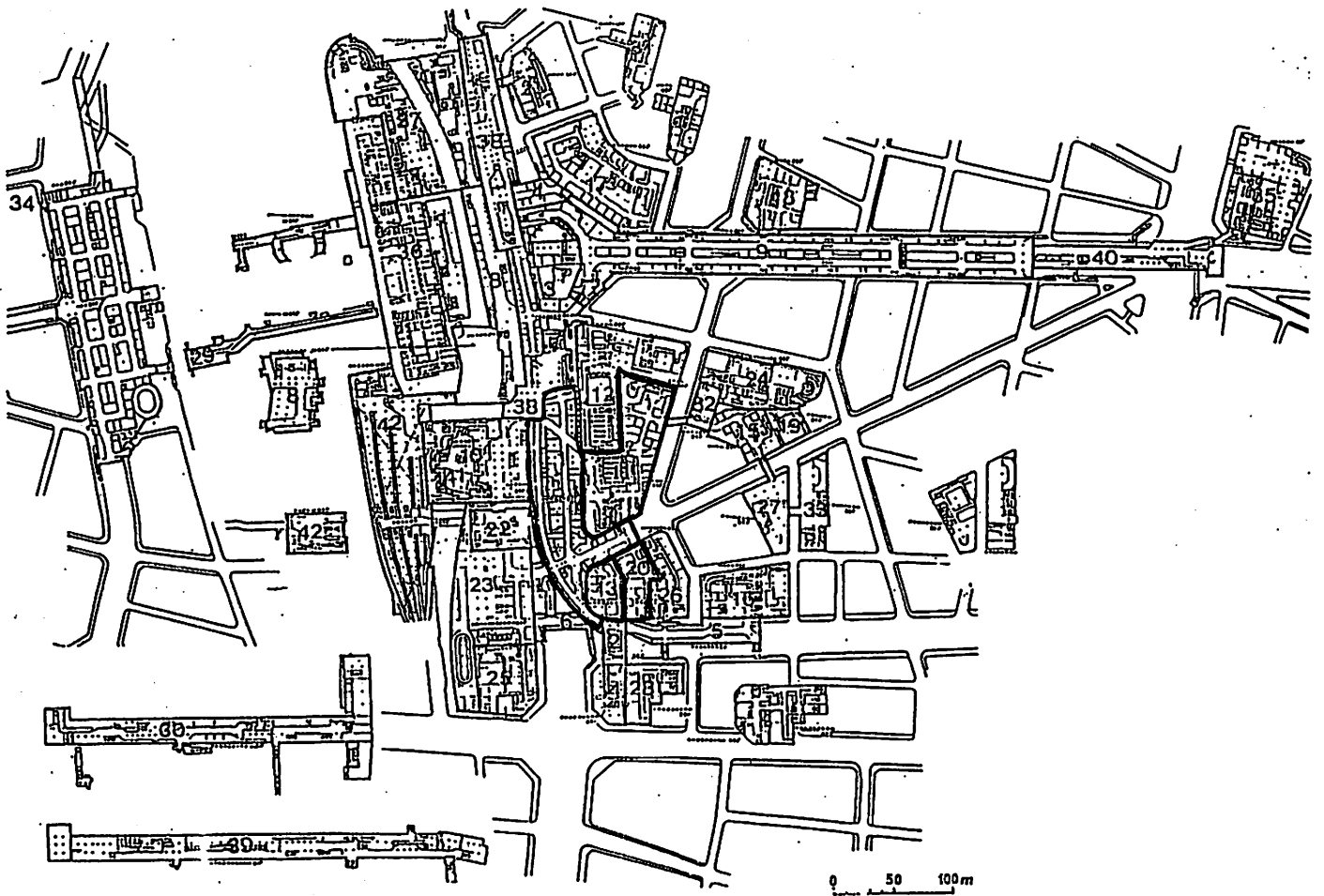


図3.2: 今回のシミュレーションの選択地域

3.3 数値計算シミュレーション

3.3.1 シミュレーションの共通条件

以下に今回のシミュレーションでの共通となる条件を示す。

想定空間 3.2.3節で選択された地域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3.3に示す。この図では1の部屋で火災が発生して以下2,3,4,5の部屋へ火災の煙が広がっていく様子を示している。2の部屋には外気へ開放された階段の開口とみなすような外との開口部が開いていて、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。幾何的条件としては1の部屋の天井高さ2.7m, それ以外の部屋は天井高さ3.0mとしている。また開口の大きさについては表3.1を参照のこと。

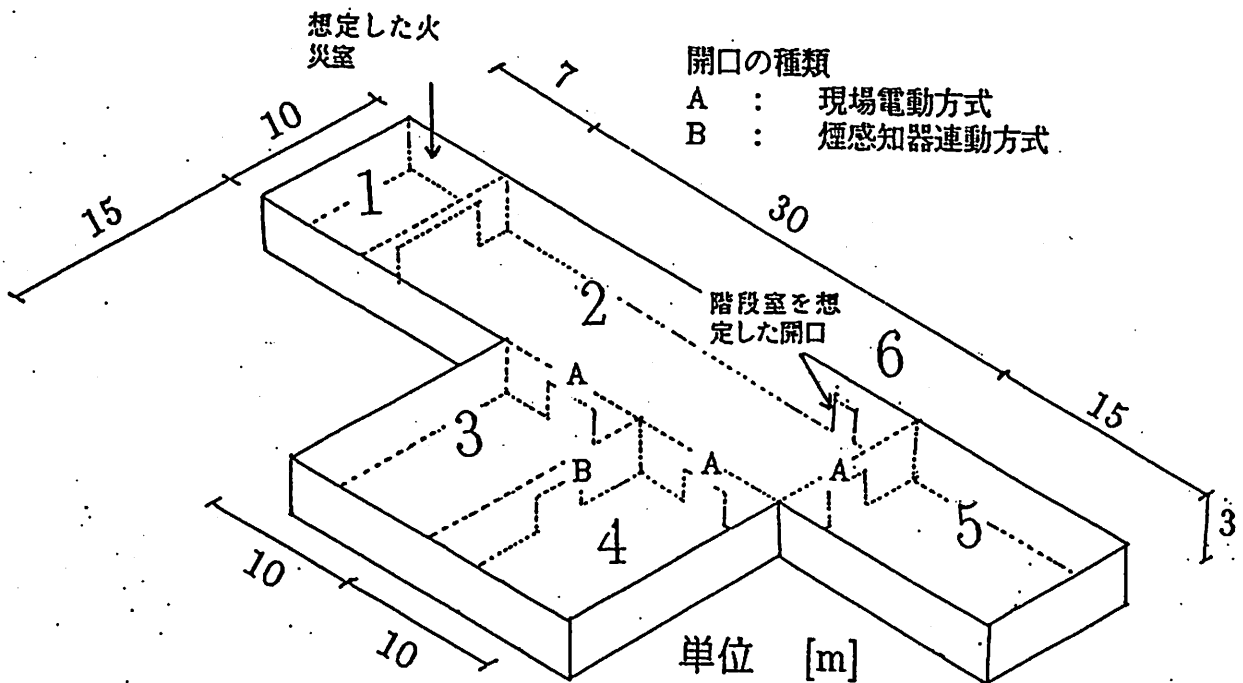


図3.3: シミュレーションの想定図面

火源大きさ 図3.4に示す形状で火源の大きさと時間との関係を与えた。なお、火源の最大値としては1MW, 3MW, 5MWの場合について想定する。

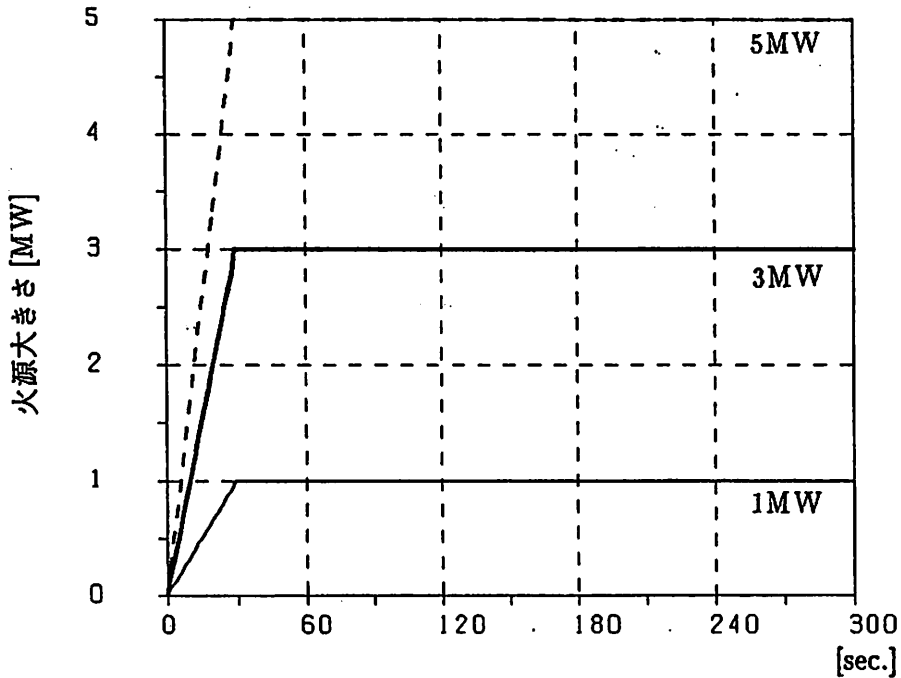


図 3.4: 想定火源の時間変化

開口部条件 それぞれの部屋の間開口部の大きさについてまとめたものを表3.1に示す。この開口の大きさは3.2.3節から選択された地域での開口部の大きさをそのまま用いている。また、二層ゾーンモデルによる計算を安定させるための開口として、3,4,5の部屋に10m × 0.5mの開口を床面に接して設けている。

火災発生時の開口部の閉鎖については、その部分の作動方法によらずすべて火災発生と同時に閉鎖する(シミュレーション条件ではOpening Scheduleを0[sec]で開放率0.0とする)こととする。

計算時間 シミュレーションを継続する時間は600[sec.]としている。これは煙流動状況が定常になると考えられる時間であるからである。

表 3.1: シミュレーションで考えた開口部の性能

開口部 No.	開口部の大きさ	作動方法
2-5	2.5m × 2.7m	現場電動
2-3	2.9m × 2.6m	現場電動
2-4	3.0m × 2.4m	現場電動
3-4	3.5m × 2.6m	煙感知器連動
2-6	1.5m × 2.3m	—
計算を安定させるための開口部分		
3-6	10.0m × 0.5m	—
4-6	10.0m × 0.5m	—
5-6	10.0m × 0.5m	—

3.3.2 各パターンでの確率

各開口部での開放・閉鎖確率は 2.4.2 節の作動方法から以下の表 3.2 のようになる。

表 3.2: 作動方法による区画煙伝播確率

	作動方法	閉鎖確率	開放確率
2-3	現場電動	0.2	0.8
2-4	現場電動	0.2	0.8
2-5	現場電動	0.2	0.8
3-4	煙感知器連動	0.8	0.2
2-6	不明	0.0	1.0

これから 4 個の区画開口部の開閉のパターンは 2^4 個あり、それぞれの状態の確率は表 3.3 のように表される (ただし開放状態を○, 閉鎖状態を×で示している。)

表 3.3: 各開放・閉鎖パターンをとる確率

閉鎖条件	2	2	2	3	各パターンでの確率
	5	3	4	4	
(全て開放)	○	○	○	○	$(0.8)^3 \times 0.2 = 0.1024$
(2-5 閉鎖)	×	○	○	○	$0.2 \times (0.8)^2 \times 0.2 = 0.0256$
(2-3 閉鎖)	○	×	○	○	$0.2 \times (0.8)^2 \times 0.2 = 0.0256$
(2-4 閉鎖)	○	○	×	○	$0.2 \times (0.8)^2 \times 0.2 = 0.0256$
(3-4 閉鎖)	○	○	○	×	$(0.8)^3 \times 0.8 = 0.4096$
(2-3,2-5 閉鎖)	×	×	○	○	$(0.2)^2 \times 0.8 \times 0.2 = 0.0064$
(2-4,2-5 閉鎖)	×	○	×	○	$(0.2)^2 \times 0.8 \times 0.2 = 0.0064$
(2-3,2-4 閉鎖)	○	×	×	○	$(0.2)^2 \times 0.8 \times 0.2 = 0.0064$
(2-5,3-4 閉鎖)	×	○	○	×	$0.2 \times (0.8)^2 \times 0.8 = 0.1024$
(2-3,3-4 閉鎖)	○	×	○	×	$0.2 \times (0.8)^2 \times 0.8 = 0.1024$
(2-4,3-4 閉鎖)	○	○	×	×	$0.2 \times (0.8)^2 \times 0.8 = 0.1024$
(2-3,2-4,3-4 閉鎖)	○	×	×	×	$(0.2)^2 \times 0.8 \times 0.8 = 0.0256$
(2-4,2-5,3-4 閉鎖)	×	○	×	×	$(0.2)^2 \times 0.8 \times 0.8 = 0.0256$
(2-3,2-4,3-4 閉鎖)	×	×	○	×	$(0.2)^2 \times 0.8 \times 0.8 = 0.0256$
(2-3,2-4,2-5 閉鎖)	×	×	×	○	$(0.2)^3 \times 0.2 = 0.0016$
(全て閉鎖)	×	×	×	×	$(0.2)^3 \times 0.8 = 0.0064$

3.3.3 シミュレーション結果と考察

二層ゾーンモデルによって計算させた結果を開口部番号ごとに図 3.5～図 3.8に示す。これからすべての火源の大きさかつすべての開口部で 20[sec.] までは煙の流入がないことが分かる。また 3-4 の開口部では 60[sec.] 経過した後でも、煙の流入がないことが示される。

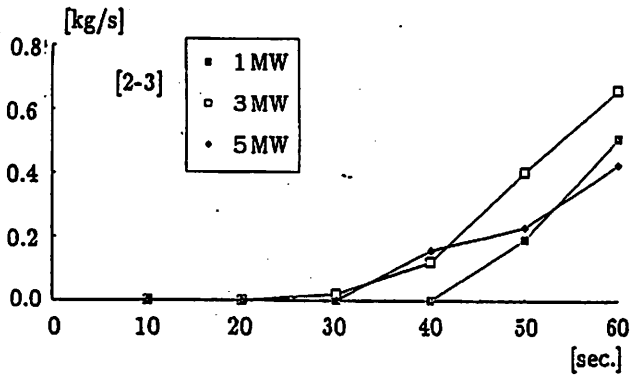


図 3.5: 2-3 での流量変化

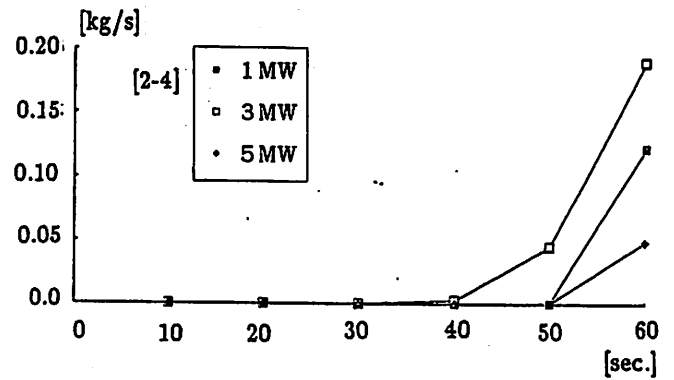


図 3.6: 2-4 での流量変化

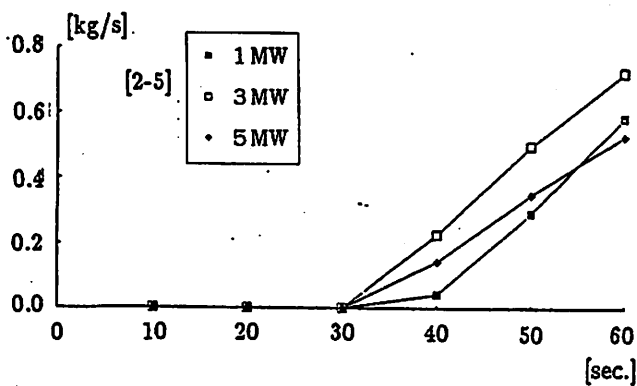


図 3.7: 2-5 での流量変化

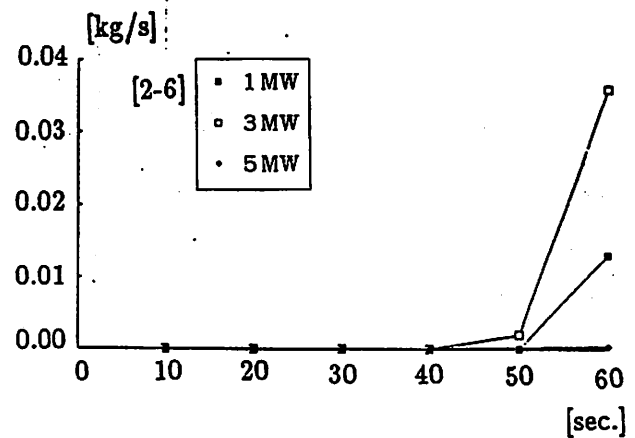


図 3.8: 2-6 での流量変化

すべての開口部において3MWでの火災における場合の煙の流量が最も大きい。ここでは1MW,3MW,5MWと火源の大きさが拡大するにつれて開口部の流量が増加することが想像されたが、実際には5MWの火災ではシミュレーション条件でのスケールに比べて大きいためにシミュレーション計算上解答が厳しくなることが原因として考えられる。

また図から分かるように、1MW,3MW,5MWの10[sec.]ごとの流量の比較では順位の逆転する開口部が存在する。このことはこのような地域で火災が発生した場合、現象が非線形(簡単には表現できない関数系になる)なものであるからと考えられる。階段開口部2-6では、60[sec.]の段階でも全体の流量に占める割合が小さくあまり煙の排出にとっては有効な階段開口でないことが分かる。これは階段開口部の上端の高さが他の区画開口部の上端の高さに比べて低いために、2の部屋に溜まった煙が階段開口部へ抜ける前に他区画へ流出する現象が生じるためと考えられる。

同様な条件で600[sec.]までシミュレーションした場合には、ほぼ流動状態は定常になると考えられる。これから火源状態によつての煙伝播確率にはあまり変化の見られないことが想像される。そこで表3.3で示される各パターンの確率と二層ゾーンモデルによつて計算されたそれぞれの開口部の流量を、(3.1)式のようにかけ算する事でその開口部での煙流量の期待値が求められる。この値から(3.2)式の方法により各開口部での煙伝播確率が計算される。

ここでは60[sec.]でのそれぞれの発熱量での煙伝播確率と600[sec.]での煙伝播確率について計算し、結果を表3.4に示す。ただし、作動方法による煙伝播確率は火災により発生した煙全体が5個の開口部にのみ伝わるとした時の煙伝播確率になっている(つまり、全体を1としてそれぞれの煙伝播確率を規準化する)。

表 3.4: 作動方法による煙伝播確率と二層ゾーンによる煙伝播確率の比較

開口番号	作動方法による煙伝播確率	2層ゾーンによる煙伝播確率			
		1MW	3MW	5MW	定常状態
2-3	0.2222	0.4135	0.4109	0.4261	0.2457
2-4	0.2222	0.1003	0.1183	0.0485	0.1914
2-5	0.2222	0.4755	0.4483	0.5247	0.2172
3-4	0.0556	0.0000	0.0000	0.0000	0.0461
2-6	0.2778	0.0168	0.0224	0.0003	0.2996

この表から、避難時間を考慮する場合としての60[sec.]での煙伝播確率は、火源の発熱量について作動方法のみで求められたものとはかなり異なることが分かる。この確率の値の大小は開口部の上端高さの大小の順と一致しているので、開口部の上端高さが煙伝播確率に大きな影響を与えることが示される。また、定常状態では二層ゾーンによる計算結果と作動方法のみによる確率との間にはあまり違いがないことが示される。この値は火災危険度の評価の観点から判断すると、空間内から煙があまり逃げないことになるので、この階段開口部の存在が他の4つの区画開口部の煙伝播確率へはあまり影響しないと判断される。

3.4 垂れ壁の高さの決定法

Risk Bの値の低下のためにとられた対策としてのブロック化の概念は、火災が発生した区画からの水平避難の達成にある。そのためには避難が完成するまでの時間の間は、隣接区画へ煙の侵入が起きないように、煙溜め(垂れ壁または二段降下シャッターの一段目の降下高さ)を設定する必要がある。

本節では、二層ゾーンモデルを用いて、ある区画で火災が発生したときに避難が完了すると考えられる時間(60[sec.]とする)まで、煙が隣接区画へ侵入しないような垂れ壁の高さを推定し(図3.9参照)、考察するものである。

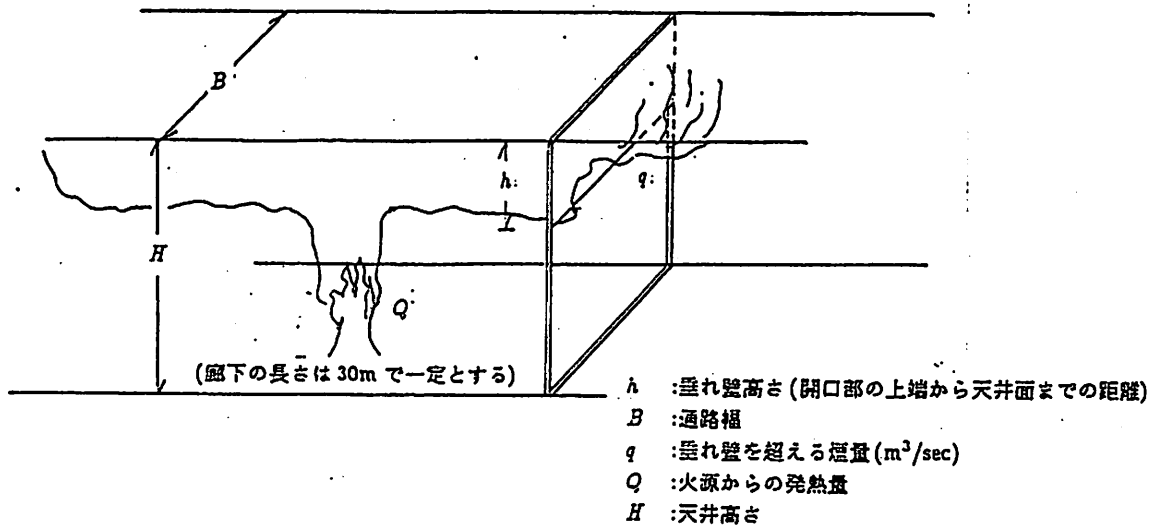


図 3.9: シミュレーションの概念図

3.4.1 シミュレーション条件

図面 シミュレーションの想定図面を図3.10に示す。火災は1の部屋から発生し、煙は2, 3の部屋へ広がっていくことになる。ここでは2の部屋としては地下街等の通路を想定している。

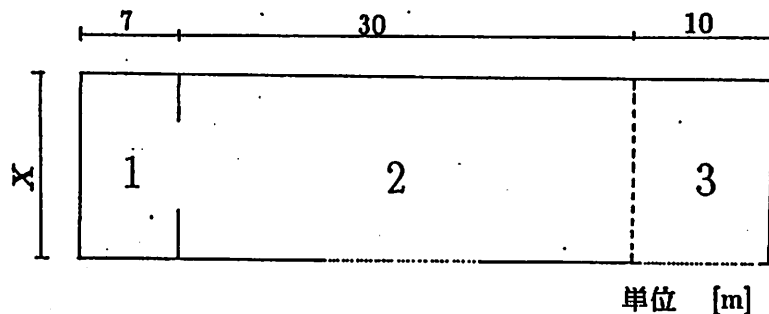


図 3.10: シミュレーション想定図面

幾何的条件 煙溜めのための垂れ壁の高さに影響を与えると考えられる幾何学的パラメータとしては、通路幅・通路長さおよび天井高さがある。このうち、通路長さについては、法規上歩行距離30m以内に避難階段が存在しているはずなので、それ以遠の場所については考えないこととして、30mと固定した。

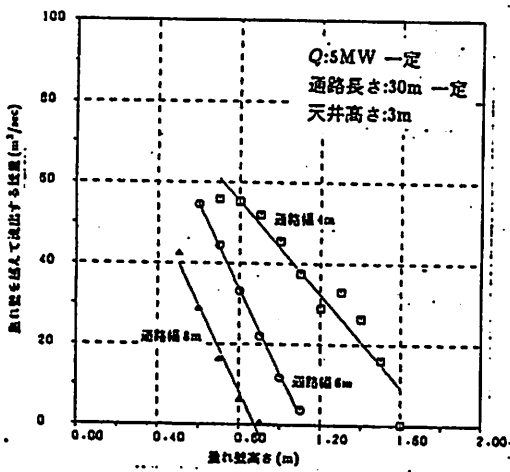
火源条件 火源の大きさはどの場合も5MWとした。これは3.2節で述べたように、5MWを超える火災が発生する頻度が低く、また物理条件的にも5MWを超える火災は発生し得ないと判断されたからである。

計算時間 シミュレーション時間は、60[sec.]とした。これは上でも述べた通り歩行距離30m以内に避難階段が存在し、また火災発生によってどんなに地下通路が混雑したとしても歩行速度が0.5[m/s]を下回らず、結果として60[sec.]で安全域への避難が完了すると判断されたからである。

開口部条件 2-3の部分の開口部の条件は[通路幅×天井高さ]とした。またシミュレーション計算の安定化を図るため、2および3の部屋には、ともに10m×0.5mの開口を開けるものとした。

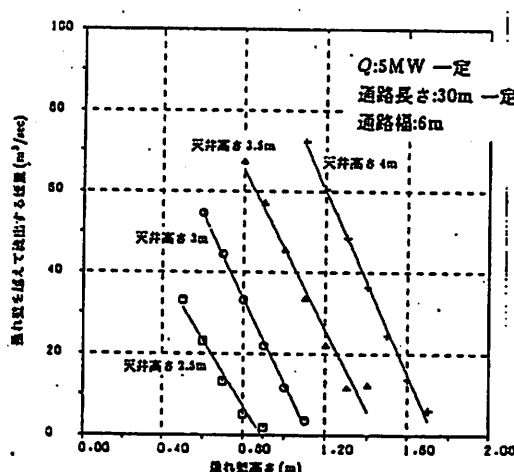
3.4.2 シミュレーション結果と考察

上記の条件下で、[通路幅6m・天井高さ3m]の地下通路を標準として、どちらかを固定したときの垂れ壁の高さによる3の部屋への煙の流量を求めた。結果を図3.11、図3.12に示す。図中の直線は各プロット点を最小二乗法によって回帰して描かせた回帰直線である。図3.11では天井高さを3mと固定し、通路幅をそれぞれ4m,6m,8mと変化させた場合であり、図3.12は通路幅を6mと固定し、天井高さをそれぞれ2.5m,3m,3.5m,4mと変化させた場合である。



通路幅による流出煙量の変化
(二層ゾーンモデル, t=60秒での値)

図 3.11: 通路幅における流量変化



天井高さによる流出煙量の変化
(二層ゾーンモデル, t=60秒での値)

図 3.12: 天井高さにおける流量変化

この図から推定されるそれぞれのケースでの垂れ壁の高さについてまとめたものを表 3.5に示す。

表 3.5: 推定された垂れ壁高さ

天井高さ [m]	通路幅 6.0m	通路幅 [m]	天井高さ 3.0m
2.5	0.890	4.0	1.760
3.0	1.122	6.0	1.122
3.5	1.457	8.0	0.877
4.0	1.732		

それぞれの推定値を得るために描かせた回帰直線の相関係数は0.95以上なので、煙の流量と垂れ壁の高さの関係はほぼ線的と見てよいことが分かる。また、天井高を固定すれば通路幅が大きい程、通路幅を固定すれば天井高さが低い程、垂れ壁の高さは少なくて済む。

しかし、実際の問題となると人間が通行できる高さは確保しなければならない。(だいたい1.8mぐらい)とすれば、例えば「通路幅6m・天井高さ2.5m」で必要とされる垂れ壁高さは0.89mなので、この通りに設置すると人間の通行のための高さが確保されない。このような場合の対処法については次節で述べる。

3.5 シミュレーション結果の火災危険度評価への応用

3.3および3.4節から二層ゾーンモデルを用いた解析の有効性が示されるが、この結果をどのように火災危険度評価へ応用するかの一例について示し、フローチャートを図3.13に示す。

Risk A 3MWの火源を用いた二層ゾーンモデルのシミュレーションの結果、定常状態において煙が対象としている開口部付近の階段開口部から5割以上抜けることが確認されれば、その区画開口部の作動方法が改善されて閉鎖確率が上昇したと同等とする。危険度評価への応用としては、例えば区画間の開放確率を1/2にすることなどが考えられる。この結果Risk Aの値が現状において変化することが予想される。2.4.2節で求められた各管理区画間の開放確率について表3.6に示し、そのうち上記のシミュレーションの結果開放確率が減少する可能性がある箇所については太線で囲んである。

Risk B 垂れ壁の指標を $B \geq 8.0$ (標準的地下空間通路を形成する天井高さ3.0m, 通路幅6.0mで通路長さを30mに固定した場合, 5MWの火災で60[sec.]隣接空間へ煙がいかない垂れ壁の高さが1.2mぐらいなので, $1.2 \times 6.0 = 7.2[\text{m}^2]$ が垂れ壁の指標となるが安全率を考慮して)として, 人間の歩行のために床面から最低1.8mの高さを保証するとき, B が基準を満たすかどうかをチェックする。

その結果安全が保証されない場合は, 機械排煙設備を設置した場合のシミュレーションを行い60[sec.]煙が隣へ流出しないような排煙量 $[\text{m}^3/\text{sec.}]$ を決定する。その時点でRisk Bの再計算を行う。

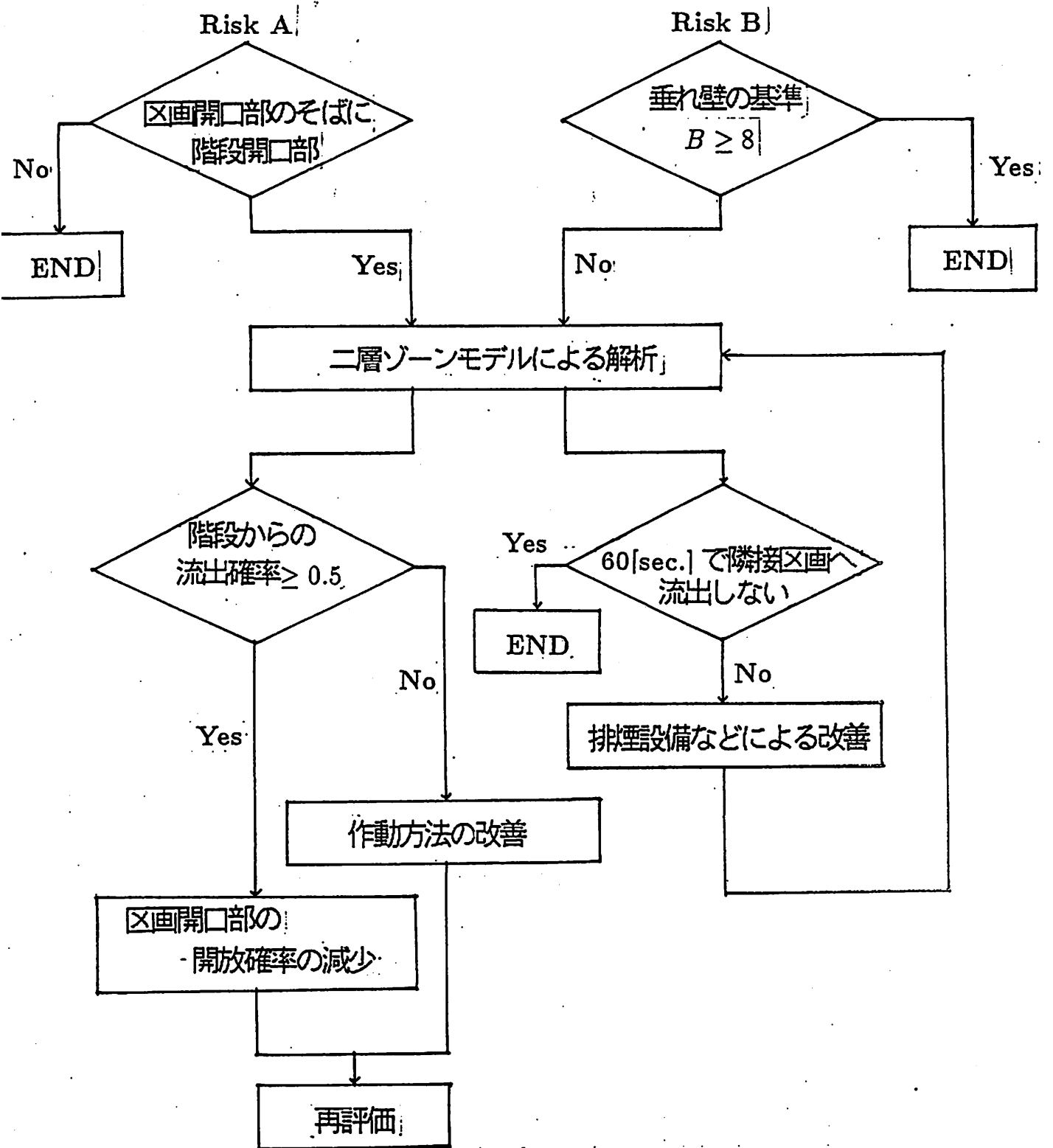


図 3.13: 火災危険度評価のフローチャート

現状の開口率

管理区画の番号 (i)

□ 天井高の差が i-j に対して 1m 以上 or 直通階段が開口から 30m 以内にある
 — は評価の対象外

(i) 管理区画の番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1		0.9			0.8				0.8128	0.872	0.84	0.96									0.7	0.3856	0.6									
2	0.8			0.9									0.96	0.96																		
3							0.2	0.2				0.8																				
4																	0.2															
5		0.9																														
6	0.8														0.36											0.0477						
7																							0.8									
8			0.2																													
9			0.2													0.04	0.04															
10	0.8128																															
11	0.872																															
12	0.84		0.8								0.344				0.2																	
13	0.96	0.96																				0.96										
14		0.96																														
15										0.2																						
16				0.36																												
17			0.2					0.04																								
18								0.04																								
19														0.8																		
20	0.8												0.96																			
21																																
22	0.3856																															
23	0.6				0.8																											
24															0.64																	
25																																
26				0.0477																												
27																0.0784																
28														0.64																		
29																																
30																																

表 3.6: 管理区画間の開放確率

3.6 まとめ

本章では、煙流動シミュレーションプログラムである二層ゾーンモデルを用いて地下空間の煙流動の様子を

1. 区画開口部から歩行距離 30m 以内に外気直通階段が存在する場合
2. 天井高さ・通路幅を変数とした場合、煙溜めの指標としての垂れ壁が存在する場合

について計算して、火災危険度評価(Risk A・Risk B)への組み込み方の一例について示した。

考察としては以下のようにまとめられる。

- (1) 階段開口部の存在によって煙流動の性状に影響があることが予想された今回の選択地域では、火災発生後 60[sec.]において区画番号 3-4 では煙流動が起こらないこと、またその他の開口部においても火源の大きさの変化に比例して区画開口部の流量が比例することはなく、この空間においては現象自体が非線形である。
- (2) 十分時間が経過した後では、(1)で考えた地域でのそれぞれの区画開口部での煙伝播確率はほぼ一定となる。
- (3) 火災発生から 60[sec.]間煙を閉じこめておくことができる垂れ壁の高さは、その地下空間の天井高さが低いほどまた通路幅が大きいほど低くてもよいことが推定される。
- (4) 上記の結果を Risk A および Risk B の計算に組み込む方法を示した。

まとめ

本論文では、地下空間の火災危険度の評価を「統計データを用いた出火危険度の推定」「アンケート調査による評価結果の改善」「二層ゾーンモデルを用いた計算結果の火災危険度評価への組み込み」3点について検討した。

第1章では地下空間の火災危険の特性を、建物および火災統計データから出火率として推定するとともに、焼損面積分布から火災拡大の可能性について分析した。その結果用途別・規模別で出火率が異なることが示された。特に事務所用途の小規模部分では、地下空間における出火率が他の出火率に比べて2倍以上高いことが示され、これは建物の維持管理状況との関連性が考えられる。また火災拡大の可能性を示す焼損面積分布から、焼損面積 0m^2 の小火で済む割合と 1m^2 以上になる割合との間で地上・地下の有意差はないことが確認された。

第2章では実際の地下空間の例として名古屋駅前地区を取り上げ、アンケート調査から導かれた評価の再検討を行い、かつ評価値の低下のための対策例を示しシミュレーションを行った。その結果、現状ではRisk A(煙汚染による評価値)およびRisk B(避難安全性)ともに値が極端に高い管理区画(平均値+標準偏差よりも点数が高い管理区画)が存在しているが、改善対策を施した後のシミュレーションではこのような管理区画の評価値は低くなることが確認された。また地下空間の空間形態の指標と考えられる(Risk Bへ影響する)直通階段についての散布図から、種々の形態の階段が存在することが確認され、対策にのっとったシミュレーションの後では階段数・階段幅とも増加する方向へシフトすることが確認された。

第3章では、第2章の評価の精度をあげるために二層ゾーンモデルを用いた評価法の検討を行った。その結果選択されたシミュレーション地域では、Risk Aに影響する区画開口部の煙伝播確率(第2章での開放確率と同等)が階段開口部の影響で約70%程度になることが確認され、この地域の区画開口部の煙伝播確率にはあまり影響しないことが導かれた。またRisk Bに影響する垂れ壁の高さについては、地下空間の通路幅が広いほどまた天井高さが低いほど低くて済むことが確認された。またこれらの結果を用いて第2章での評価法の応用についても述べた。

今後の課題としては、より精密かつ定量的な火災危険度評価のために、評価対象とする地下空間の店舗構成比・その店舗に存在する可燃物量の正確な調査・およびその統計的分析に基づく火災危険の定量化が求められ、普遍的な危険度評価法が確立されることであろう。

Appendix A

地下空間を有する建物数

今回の解析で用いた4用途について地下階を有する建物の数を、ある規模全体での建物数と比較し、図A.1～A.4に示す。

これからどの用途でも大規模化するにつれて、地下空間を有する建物の数が増加していくことが分かる。

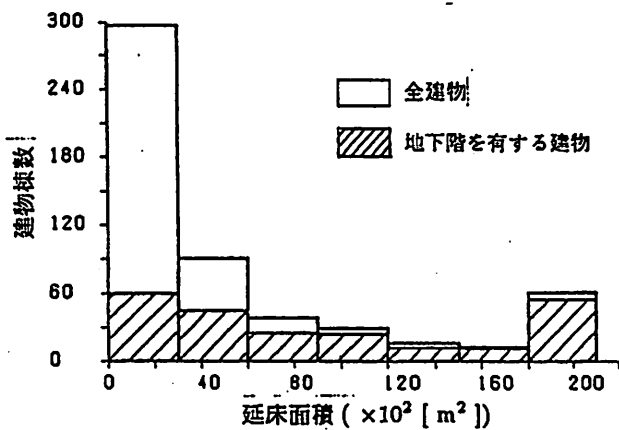


図 A.1: 物販店舗での建物数比

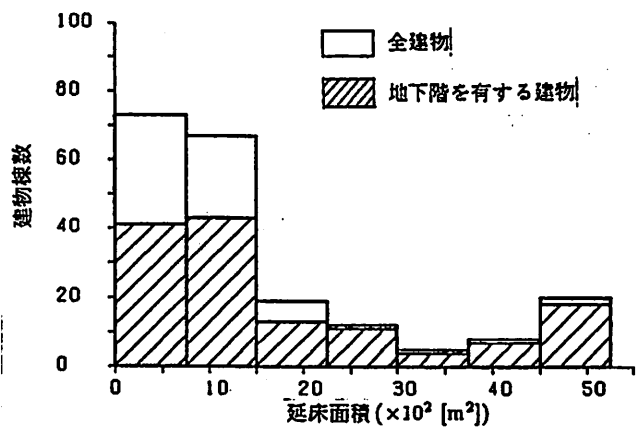


図 A.2: 飲食店での建物数比

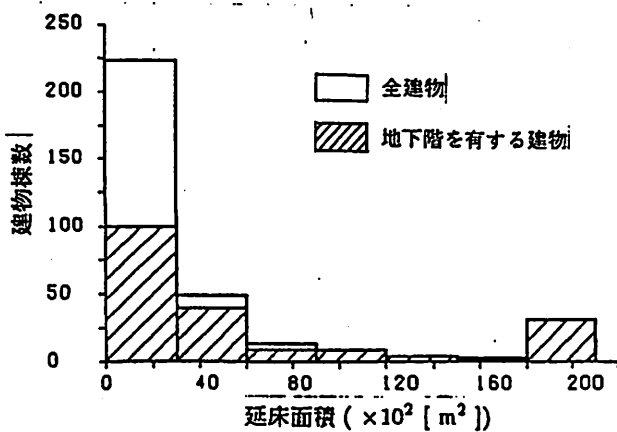


図 A.3: 旅館・ホテルでの建物数比

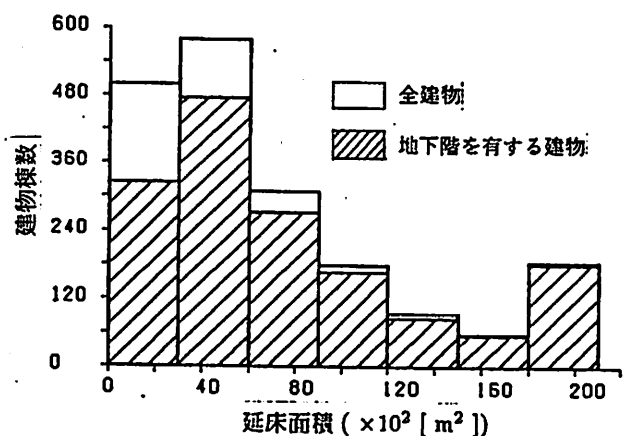


図 A.4: 事務所での建物数比

Appendix B

二層ゾーンモデル

B.1 煙流動性状予測モデルの概念

この煙流動予測モデルは二層ゾーンの概念を基づいて作成された、多数階多数室を対象とする非定常煙流動予測モデルであり、モデル化に関係して以下のような仮定が設けられている。

1. 建物内のいずれの空間も、2つの層すなわち上部層と下部層、もしくはそのいずれか一方によって満たされる。
2. 上部層は空間の上部に、下部層は空間の下部に形成され、両者は明確な水平面で分離される。
3. それぞれの層はよく混合されており、物理的・化学的性質において一様である。
4. 各層の境界面に通じる質量の移動は、火災プルーム・開口ジェットおよびそれに起源を有するプルーム(火災気流)のみを通じて生じる。
5. 各層の境界面を通じる熱エネルギーの移動は、4の質量の移動に伴うほか、同一空間内の他方の層および周壁との放射熱伝達により生じ、また各層との周壁との間の対流熱伝達によって生じる。
6. 火源上の火災からの直接の放射は無視する。
7. 建物内の各空間の体積は空間内の圧力の変化、その他の理由により伸縮するものではないとする。
8. 空間を異にするゾーン間の放射熱伝達は無視する。

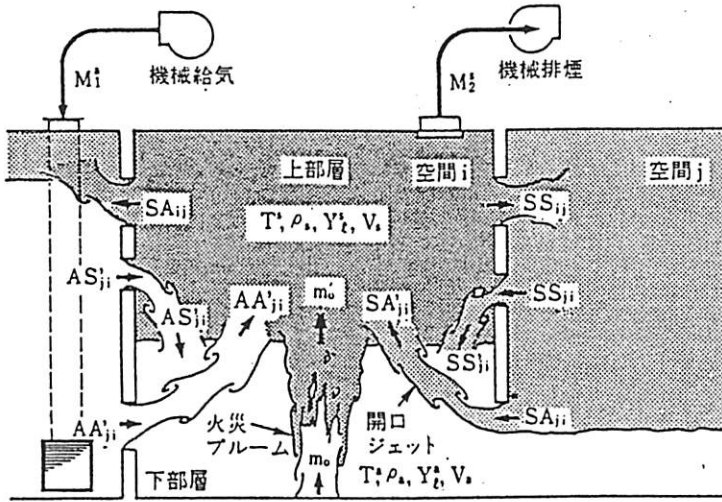


図 B.1: 複数の空間を有する建築物での二層ゾーンモデルの概念

B.2 基本となるゾーン方程式

このモデルでの基本となる方程式には、建物内のそれぞれの空間内の各ゾーンに対する質量、化学種、エネルギー保存関係、気体の状態方程式などから誘導される温度、化学種の温度、ゾーンの体積を与える常微分方程式、および室内静圧を求める代数式をゾーン方程式と呼ぶ。これらは (B.1) 式～(B.6) 式で与えられる。

1) 上部層の温度 T^s

$$\begin{aligned} \rho_s V_s \frac{dT^s}{dt} = & \frac{1}{C_p} (\Delta H m_b^s + q_{\text{net}}^s) + m_o' (T^a - T^s) + k^m m_o (T_p - T^a) \\ & + (1 - k^{1s}) M_1^s (T_1 - T^s) + M_1'^a (T^a - T^s) + k^{1s} M_1^a (T_1 - T^a) \quad (\text{B.1}) \\ & + \sum_j \left\{ (1 - k^{SS}) SS_{ji} (T_j^s - T^s) + SA'_{ji} (T^a - T^s) + k^{SA} SA_{ji} (T_j^s - T^a) \right. \\ & \left. + (1 - k^{AS}) AS_{ji} (T_j^a - T^s) + AA'_{ji} (T^a - T^s) + k^{AA} AA_{ji} (T_j^a - T^a) \right\} \end{aligned}$$

2) 下部層の温度 T^a

$$\begin{aligned} \rho_a V_a \frac{dT^a}{dt} = & \frac{1}{C_p} (\Delta H m_b^a + q_{\text{net}}^a) + (1 - k^m) m_o (T_p - T^a) \\ & + M_1^s (T^s - T^a) + k^{1s} M_1^s (T_1 - T^s) + (1 - k^{1a}) M_1^a (T_1 - T^a) \quad (\text{B.2}) \\ & + \sum_j \left\{ SS'_{ji} (T^s - T^a) + k^{SS} SS_{ji} (T_j^s - T^s) + (1 - k^{SA}) SA_{ji} (T_j^s - T^a) \right. \\ & \left. + AS'_{ji} (T^s - T^a) + k^{AS} AS_{ji} (T_j^a - T^s) + (1 - k^{AA}) AA_{ji} (T_j^a - T^a) \right\} \end{aligned}$$

3) 上部層の化学種 l の濃度 Y_l^s

$$\begin{aligned}
\rho_s V_s \frac{d}{dt} Y_l^s &= Y_l m_b^s + m_0' (Y_l^a - Y_l^s) + k^m m_0 (Y_{lp} - Y_l^a) \\
&+ (1 - k^{1s}) M_1^s (Y_{l1} - Y_l^s) + M_1^a (Y_l^a - Y_l^s) + k^{1a} M_1^a (Y_{l1} - Y_l^a) \quad (\text{B.3}) \\
&+ \sum_j \left\{ (1 - k^{SS}) SS_{ji} (Y_l^a; - Y_l^s) + SA_{ji}' (Y_l^s - Y_l^a) + k^{SA} SA_{ji} (Y_l^a; - Y_l^a) \right. \\
&\left. + (1 - k^{AS}) AS_{ji} (Y_l^a; - Y_l^s) + AA_{ji}' (Y_l^a - Y_l^s) + k^{AA} AA_{ji} (Y_l^a; - Y_l^a) \right\}
\end{aligned}$$

4) 下部層の化学種 l の濃度 Y_l^a

$$\begin{aligned}
\rho_a V_a \frac{d}{dt} Y_l^a &= Y_l m_b^a + (1 - k^m) m_0 (Y_{lp} - Y_l^a) \\
&+ M_1^s (Y_l^s - Y_l^a) + k^{1s} M_1^s (Y_{l1} - Y_l^s) + k^{1a} M_1^a (Y_{l1} - Y_l^a) \quad (\text{B.4}) \\
&+ \sum_j \left\{ SS_{ji}' (Y_l^s - Y_l^a) + k^{SS} SS_{ji} (Y_l^s; - Y_l^s) + (1 - k^{SA}) SA_{ji} (Y_l^s; - Y_l^a) \right. \\
&\left. + AS_{ji}' (Y_l^s - Y_l^a) + k^{AS} AS_{ji} (Y_l^a; - Y_l^s) + (1 - k^{AA}) AA_{ji} (Y_l^a; - Y_l^a) \right\}
\end{aligned}$$

5) 上部層の体積 V_s

$$\begin{aligned}
\rho_s T^s \frac{dV_s}{dt} &= \frac{1}{C_p} (\Delta H m_b^s + q_{\text{net}}^s) + k^m m_0 T_p + (m_0' - k^m m_0) T^a \\
&+ (1 - k^{1s}) M_1^s T_1 - (M_1^s - k^{1s} M_1^s) T^s + k^{1a} M_1^a T_1 + (M_1^a - k^{1a} M_1^a) T^a - T^s M_2^s \\
&+ \sum_j \left\{ (1 - k^{SS}) SS_{ji} T^s; - (SS_{ji}' - k^{SS} SS_{ji}) T^s + k^{SA} SA_{ji} T^s; \right. \quad (\text{B.5}) \\
&+ -(SA_{ji}' - k^{SA} SA_{ji}) T^a (1 - k^{AS}) AS_{ji} T^a; - (AS_{ji}' - k^{AS} AS_{ji}) T^s + k^{AA} AA_{ji} T^a; \\
&\left. + (AA_{ji}' - k^{AA} AA_{ji}) T^a - (SS_{ij} + SA_{ij}) T^s \right\}
\end{aligned}$$

6) 室内静圧 P

$$\begin{aligned}
\Delta H (m_b^s + m_b^a) + q_{\text{net}}^s + q_{\text{net}}^a + C_p [T_p m_0 + T_1 (M_1^s + M_1^a) - T^s M_2^s - T^a M_2^a \\
+ \sum_j \{ T^s; (SS_{ji} + SA_{ji}) + T^a; (AS_{ji} + AA_{ji}) - T^s (SS_{ji} + SA_{ji}) \\
- T^a (AS_{ji} + AA_{ji}) \}] = 0 \quad (\text{B.6})
\end{aligned}$$

記号

SS	:	上部層から上部層への開口部流量	[kg/s]
SA	:	上部層から下部層への開口部流量	[kg/s]
AS	:	下部層から上部層への開口部流量	[kg/s]
AA	:	下部層から下部層への開口部流量	[kg/s]
SS'	:	SS を源とする開口ジェットプルームにより下部層へ侵入する流量	[kg/s]
SA'	:	SA を源とする開口ジェットプルームにより下部層へ侵入する流量	[kg/s]
AS'	:	AS を源とする開口ジェットプルームにより下部層へ侵入する流量	[kg/s]
AA'	:	AA を源とする開口ジェットプルームにより下部層へ侵入する流量	[kg/s]
k^{SS}	:	SS の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合	
k^{SA}	:	SA の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合	
k^{AS}	:	AS の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合	
k^{AA}	:	AA の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合	
k^{ls}	:	M_1^s の持つ熱量・化学種量のうちでプルームを通して下部層へ侵入するものの割合	
k^{lo}	:	M_1^s の持つ熱量・化学種量のうちでプルームを通して上部層へ侵入するものの割合	
C_p	:	気体の定圧比熱	[kW/kg/K]
ΔH	:	ガス化燃料の燃焼発熱量	[kJ/kg]
M_1^a	:	機械換気による層への給気量	[kg/s]
M_1^s	:	機械換気による層からの排気量	[kg/s]
M_1^{sa}	:	上部層への機械給気 M_1^s を源とするプルームにより下部層へ侵入する流量	[kg/s]
M_1^{so}	:	下部層への機械給気 M_1^s を源とするプルームにより上部層へ侵入する流量	[kg/s]
m_b	:	ガス化燃料の燃焼速度	[kg/s]
m_0	:	火源の可燃物のガス化(重量減少)速度	[kg/s]
m_0'	:	火源 m_0 を源とする火災プルームにより上層部へ侵入する流量	[kg/s]
P	:	圧力	[Pa]
q_{net}	:	輻射, 対流熱伝達により層が受ける正味熱量	[kW]
T	:	層の温度	[K]
T_1	:	機械換気の給気温度	[K]
T_p	:	可燃物のガス化温度	[K]
V	:	層の体積	[m ³]
Y_l	:	層内の化学種 l の濃度	[kg/kg]
Y_{lp}	:	可燃物中の化学種 l の濃度	[kg/kg]
Y_{l1}	:	機械換気給気ガス中の化学種 l の濃度	[kg/kg]
ρ	:	層の密度	[kg/m ³]
γ_l	:	ガス化燃料の単位燃焼に伴う化学種 l の発生量	[kg/kg]

添字

a	:	下部層を表す
s	:	上部層を表す
i	:	任意の建物内空間を表す(混同の恐れのないときは省略)
ij	:	i 室から j 室への流れを示す
j	:	空間 i と連絡する任意の空間を示す

B.3 煙流動性状予測計算プログラムの構成

図 B.2 に二層ゾーンモデル計算プログラムの構成を示す。

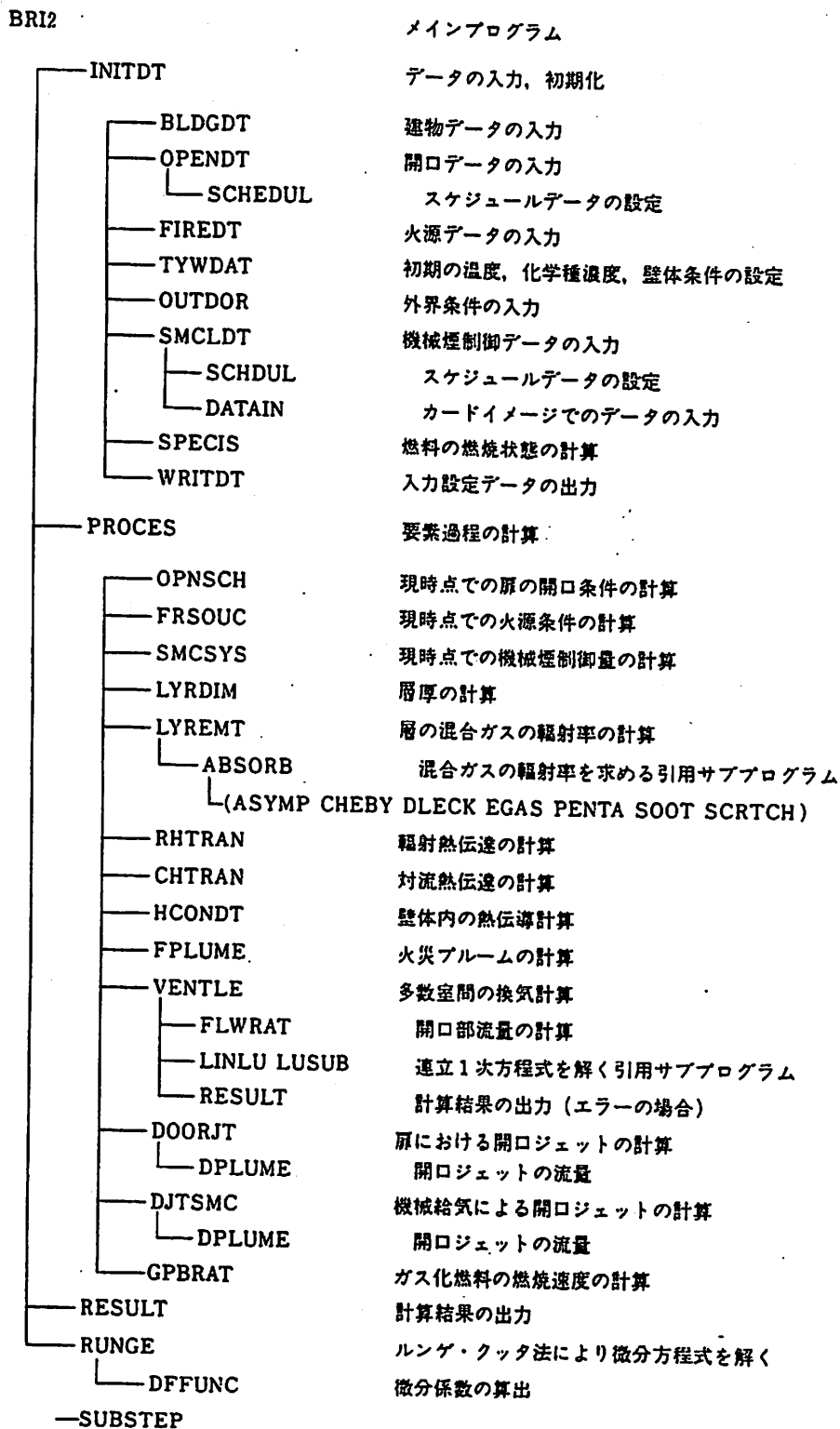


図 B.2: 計算プログラムの構成

B.4 計算例

以下に二層ゾーンモデルプログラムによる入力データの例を示す。

```

SAMPLE BUILDING
1988.01.31.
01
SAMPLE CALCULATION
0.0      240.      1.0      60.
  3
4.0      4.0      4.0
  4
1F (FIRE ROOM)      11.0      2.7      1  25  11  1
0.0      20.0      20.0      0.0
2F      20.0      20.0      2.7      1  25  11  1
0.0      20.0      20.0      0.0
3F      30.0      2.7      1  25  11  1
0.0      20.0      20.0      0.0
HALL      10.0      18.0      1  25  11  3
0.0      20.0      20.0      0.0
13.5     20.0      15.0      0.0
15.0     20.0      7.0      0.0
  1      410.0      2.0      0.0
  2      410.0      2.0      0.0
  3      410.0      2.0      0.0
  4      56.0      2.0      0.0
  4      56.0      15.5     14.0
  4      62.0      12.0     10.0
  0
  2
  1      3.
0.0      90.0      120.0
0.0      0.5      1.0
  2
0.0      100.0
0.0      1.0
  4      5  2  1
  4      6  1  2
  0
  1
  3
0.0      30.0      90.0
0.0      200.0     2000.0
0.0      0.4      4.0
0.0      0.0      0.0
  1
  1      1
22.0     50.
  0
  1
22.0     50.
  2
0.0      10.0      0.33
0.0      0.0
  1      0
  1
  1      3
0.0      125.     130.
0.0      0.5      1.0
  0
  1
12.7     2.5     2.0     1
    
```

図 B.3: 入力データ例

参考・引用文献

- [1] 井清武弘ほか. 地下空間における保全対策. 火災, 40(4), 1990.
- [2] 矢代嘉郎. 地下空間における防災計画の開発課題. 火災, 40(4), 1990.
- [3] 朴哲也. 建築物の出火率と防災設備の故障率に関する統計的研究. PhD thesis, 名古屋大学, 1991.
- [4] 掛川秀史. 建築物の火災リスクに関する研究. Master's thesis, 名古屋大学, 1990.
- [5] 山崎公義ほか. 建築物の地下階における出火危険の統計的考察. In 日本火災学会研究発表会概要集, pages 179-182, 5 1991.
- [6] 辻本誠ほか. 建築物の地下階における出火危険(その1). In 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pages 1079-1080, 9 1991.
- [7] 山崎公義ほか. 建築物の地下階における出火危険(その2). In 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pages 1081-1082, 9 1991.
- [8] 山崎公義ほか. 建築物の地下空間での火災危険に関する一考察. In 日本建築学会東海支部研究報告集, pages 321-324, 2 1991.
- [9] 東京消防庁. 第41回東京消防庁統計書. 1988.
- [10] 朴哲也ほか. データベースを利用した非常用照明設備の故障率と出火率の解析. Technical Report 418, 日本建築学会構造系論文報告集, 1990.
- [11] 社団法人 地域問題研究所. 名古屋市地下街等防災対策(名古屋駅前地区)実態調査. 3 1991.
- [12] 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. 1 1990.

謝辞

この論文を作成するにあたり、終始一貫して御指導戴いた名古屋大学建築学科辻本誠助教授に感謝いたします。また、数々の適切な助言をして頂いた同助手朴 哲也氏・同講師河野 守氏、ゼミ等でお世話になりました同助手山羽 基氏をはじめとする第6講座の諸氏、および愛知工業大学講師建部 謙治氏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(財)日本建築設備安全センター・自治省消防庁・および東京消防庁の関係諸氏、資料を提供していただいた名古屋市地下街等防災対策検討委員会の関係者の方々に感謝申し上げます。

最後に論文をまとめるにあたって、多くの援助・協力・激励をしていただいた同学生長谷部 弥君をはじめとする防災安全工学講座の諸氏に感謝します。

2/19,1992

論文題目	地下空間における火災危険度評価に関する研究
提出者氏名	山崎 公義

論文受領日 *	平成 年 月 日
指導教官 *	
審査委員 *	
審査結果 *	審査の結果 と判定する。 平成 年 月 日

注) 論文提出者は*印欄には記入しないこと。

【論文要旨】

1 はじめに

一体として認識されている地下空間は、実は多くの場合、地下街・ビル地下階・地下鉄駅などの異質な空間の集合体である。建設時期・監督官庁の違いからそれぞれの空間には要求される火災に対する防災性能が異なっていることが主な原因で、地下空間における総合的な火災危険度の評価と改善方策の検討が行われていると言いはる。またそのような火災危険度評価の基礎となる地下空間の火災に対する特性も明らかにはなっていない。

このような複雑な地下空間の代表といえるものに名古屋駅前地区が挙げられ、合計42の管理区画から成り立っている。1990年度には名古屋市地下街等防災対策検討委員会から名古屋駅前地区地下空間の防災性能評価の開発に関する報告書[1]が出されたが、この報告書でも上述のような異質な空間の集合体としての配慮については扱われていない。

本論文では地下空間の火災危険度評価としてまず、地下空間での火災危険の特性について述べた後、上記の問題点を改善した新しい評価法を提案し、改善による効果のシミュレーションを行った。さらにこの評価の精度を上げるための二層ゾーンモデルを用いた手法についても検討した。

2 地下空間の火災危険の特性

2.1 出火率の推定

建物データベースと火災データベースを用いて建物床面積1m²あたりの出火率の推定を行う際に、双方のデータベースには地下の規模に関する記述が存在しない。そこで建築物の地下階・地上階とも同一平面・面積を有すると仮定して(1)式のように地下階・地上階の規模を推定する。

$$\left\{ \begin{aligned} \text{地下階の延床面積 [m}^2\text{]} &= \text{総延床面積 [m}^2\text{]} \times \frac{\text{地下階数}}{\text{建物の全階数}} \\ \text{地上階の延床面積 [m}^2\text{]} &= \text{総延床面積 [m}^2\text{]} \times \frac{\text{地上階数}}{\text{建物の全階数}} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

これから火災データベースと併せて地下階・地上階の出火率は(2)式のように推定される。

$$\text{出火率 [回/m}^2 \cdot \text{年]} = \frac{\text{1年間の地上 [或いは地下] 階での出火件数 [回/年]}}{\text{地上 [或いは地下] 階の延床面積の合計 [m}^2\text{]}} \quad (2)$$

推定された出火率を、地下空間によく存在すると考えられる物販店舗について図1に、飲食店について図2に示す。これから建物の用途・規模に応じて出火率にかなりの違いがあることが分かる。

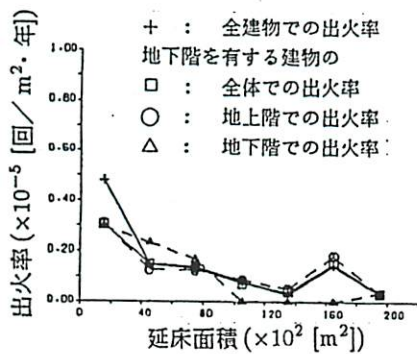


図1: 物販店舗での出火率

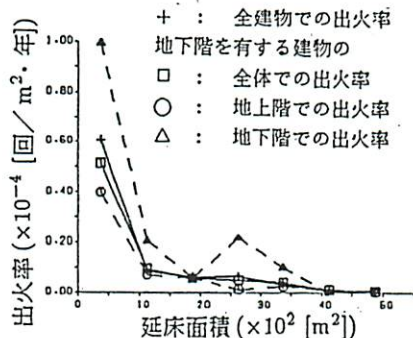


図2: 飲食店での出火率

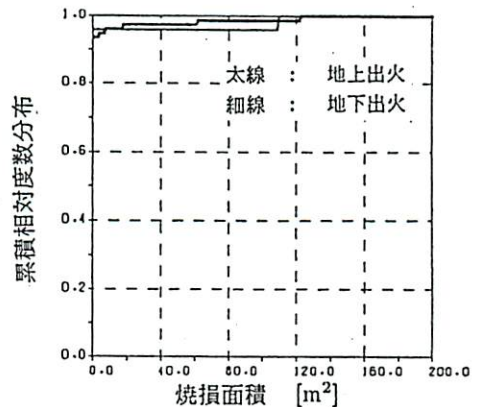


図3: 事務所での焼損面積分布

2.2 焼損面積分布

火災データベースから、焼損面積について1m²ごとに累積相対度数分布を求めた。ここでは事務所についての結果を図3に示す。

図では小火(統計上焼損面積0として扱われている)ですむ割合が地上火災と地下火災で差が生じているが、これは地下階出火のサンプル数が少ないことに起因し、 χ^2 検定の結果小火ですむ割合と焼損面積1m²以上になる割合との間では地上階・地下階で有意差が認められない。

3 名古屋駅前地区地下空間における危険度評価

ある空間の火災に対する危険度は以下の2つの側面から構成される。

- 1) 火災が発生した空間が煙による汚染を受ける可能性
- 2) 煙に汚染された場合のその空間からの避難容易性

文献[1]の評価法は「物理環境」「出火危険」「店舗内危険」「通路内危険」「避難安全性」の5つの評価項目から構成されている。これらを上記の考え方に基づいて2つに分類する。煙汚染の評価に対応する項目としては「物理環境」「出火危険」「店舗内危険」「通路内危険」の4項目を採用し、同様に避難安全性に対応する項目としては「避難安全性」の項目を採用する。以下本論文では煙汚染の評価をRisk A、避難安全の評価をRisk Bとする。Risk Aの算出のためには、管理区画間の接続部の実態を把握する必要性が生じたため、接続部の実態調査を行った。

3.1 開口部の実態調査

1991年6月10日(月)～14日(金)に名古屋駅前地区地下空間内の管理区画間の接続部をすべて調査した。方法ならびに項目は管理区画の接続部において開口の大きさを実測し、開口部の性能・作動方法・開口時間等を管理者に対して現場でヒアリング調査した。開口部の高さおよび幅についての分布状況を図4に示す。幅についてはかなりのバラツキが見られるが、高さについては分布幅が小さいことが分かる。

3.2 煙による汚染の評価値(Risk A)の計算方法

Risk Aは、管理区画(i)の出火の際の自身の煙汚染の評価値(Risk A_i)と出火した他の管理区画からの煙汚染の評価値(Risk A_{j→i})から求められる。前述した「物理

環境」「出火危険」「店舗内危険」「通路内危険」の4つの合計をRisk A_iとして、実態調査で明らかになった開口の作動方法から開放確率を求め、後述の式に従って求めた値をRisk A_{j→i}とする。以下開放確率の計算法と隣接区画への影響の計算法について述べる。

3.2.1 開放確率の計算

開口部の閉鎖確率は作動方法により与えられるので、管理区画間の閉鎖確率をP_iとすれば、管理区画(i)と管理区画(j)の間の開放確率Pは閉鎖確率の余事象として与えられる。ただし開口部の閉鎖および開放という事象は互いに排反であるとする。

ここで管理区画(i)と管理区画(j)の接続部に2枚以上のシャッター・扉が横並びで取り付けられているときは、1つでも開口が空いているとその開口部を通じて煙が拡散するので、少なくとも1枚シャッター・扉が開く確率を開放確率とする。また、シャッター・扉が二重に並んでいるときは1枚でもシャッター・扉が閉まればその開口部は閉鎖されるので、それぞれのシャッター・扉の開放確率の積がその開口の開放確率となる。

3.2.2 隣接区画への影響の計算

管理区画(i)の出火による煙が他の管理区画を汚染する可能性を示す評価値を、開口部の開放確率により決まると考えて、Risk A_iに管理区画(i)が持つ開口部の平均開放確率を掛けて求められた値を、Risk A_iのうち周りの区画へ分配される評価値(Risk A_{io})として(3)式のように定義する。

$$Risk A_{io} = Risk A_i \times \frac{\sum_j P(i,j)}{\text{区画 } i \text{ の隣接区画 } j \text{ の総数}} \quad (3)$$

(3)式で求められた値に、規準化された開放確率(管理区画(i)に存在する区画開口部すべての開放確率の和で、管理区画(i)と管理区画(j)の開口の開放確率を割算した値)を掛けると、その開口部を通じて分配される評価値(Risk A_{i→j})が以下の(4)式のように計算できる。

$$Risk A_{i→j} = Risk A_{io} \times \frac{P(i,j)}{\sum_j P(i,j)} \quad (4)$$

3.3 避難安全性(Risk B)の評価法

Risk Bは、煙に汚染された場合にその空間からの避難の容易さを示す評価値である。文献[1]の評価の避難安全性の項目をRisk Bと定義する。また、避難安全性を評価する項目のうち大きな要素である直通階段について、空間の形態によって定まる2項(直通階段数、直通階段の階段幅の合計に対する地下街/地下階(B1部分)の総床面積の比)について各管理区画の値をグラフ中にプロットし検討した。ビル地下階についての結果を図5に示す。

この図から一般的に考えられている「一定の床面積(収容人数)に応じて階段幅なり、階段数が増加して、ほぼ幅と数については比例の関係が成立する」ことはなく、階段数は多いが1つ1つの幅は狭いというものから、階段数は少ないが幅は十分にとられているというようなものまで多数存在していることが読み取れ、結果として3.4

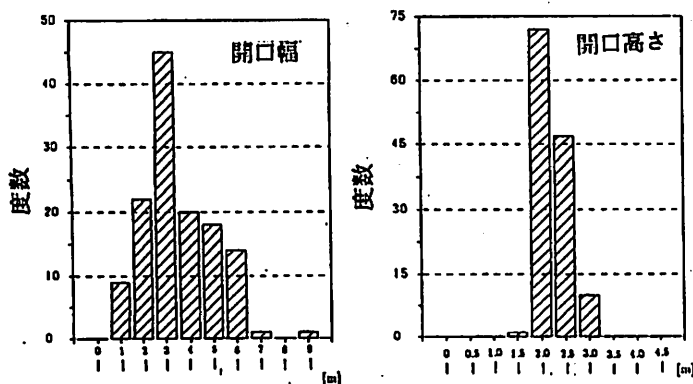


図4: 開口幅および高さの分布

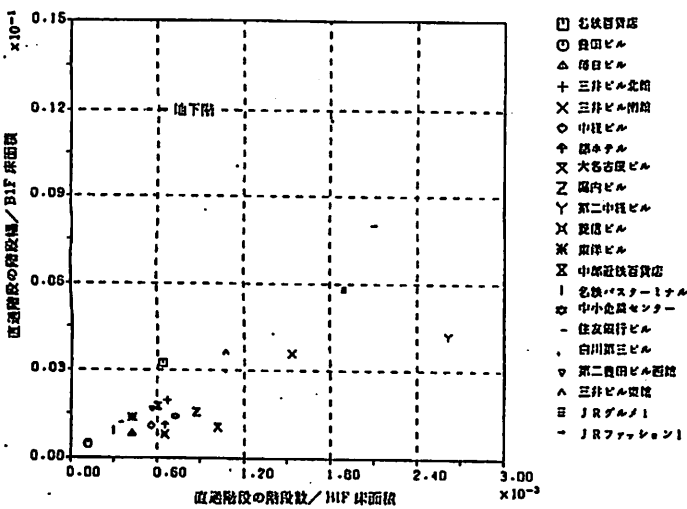


図5: 階段数・階段幅についての分布

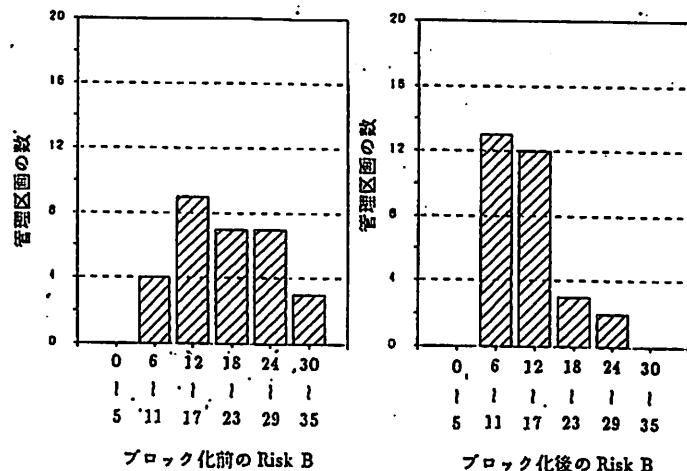


図7: Risk B についての分布

で述べる「ブロック化」のような避難対策が必要となると判断される。

3.4 シミュレーションによる各種対策の改善効果

3.4.1 有効な区画の形成

Risk A は煙汚染についての評価値なので、煙伝播を減らすことができるような対策をとれば Risk A は減少すると考えられる。そこで、すべての管理区画間のシャッター・扉を、閉鎖信頼性の高い煙感知器連動方式に変更する改善策を採用した場合を想定して Risk A を再計算し、改善前との比較を行った。結果を図6に示す。

3.4.2 ブロック化に基づく避難計画

Risk B では管理区画内の直通階段の数が大きな要素となる。しかし現実には階段数や階段幅を増やすことは不可能なので、階段が増加することと同等の対策をとればよい。その方法の手段が「ブロック化」である。ブロック化とは、「隣接する複数の管理区画をまとめることをいう。ブロック内で隣接区画との開口に適切な処置をとった管理区画では、隣接区画への開口の数だけ外気直通階段の数を増加させ、その開口幅の分だけ外気直通階段の階段幅を増加させることができるとみなす。すなわち隣接管理区画内にはいけば安全な階段室に入ったのと同等とみなす」ことを言う。この定義に従って考えられたブ

ロック化案に従って Risk B を再計算し、改善前との比較を行った。結果を図7に示す。

4 二層ゾーンモデル [2] を用いた評価法

前節での火災危険度評価のうち煙汚染に関係するものは、実際の地下空間の形状(天井高さ・外気直通階段の開口の存在)を考慮にいれず、開口部の作動方法による開放確率のみで決定されている。この値は正確な煙伝播の状況を表現しているとはいえない。

本節では、二層ゾーンモデルを用いて実際に外気に直接開放された階段の開口部が近接する区画開口部の煙伝播確率を算定する。

4.1 区画開口部を介しての煙伝播確率

4.1.1 考え方

ある管理区画 (i) において火災が発生したときの隣接区画への煙の広がり方を、各開口部での煙伝播確率として以下のように計算する。

- それぞれの区画開口部には作動方法による閉鎖確率が与えられている。(火災が発生した場合は、開口部は閉鎖・開放のどちらかの状態をとり、かつ独立に作動すると仮定する。) ある区画 (i) に隣接する区画 (1つとは限らない) との区画開口部の数の合計を k 個とすれば、開放・閉鎖についての組み合わせパターンは 2^k 個になる。その組み合わせの一つ一つに対して確率 $P_r(i, j, m)$ ($j = 1, 2, \dots, k$; $m = 1, 2, \dots, 2^k$) が計算される。
- 開口部のとるパターンに対して、二層ゾーンモデルを用いてある火源状態での各開口部を通過する流動状態を計算させる。
- それぞれの開口部 (j) からのあるパターン m での煙の流出量は $V(i, j, m)$ ($j = 1, 2, \dots, k$) と求められる。これにパターン m をとる確率 $P_r(i, j, m)$ を掛けて m について和をとると、 j 番目の開口部での煙流出量の期待値 $\bar{V}(i, j)$ が求められる。
- すべての開口部について煙流出量の期待値の和をとると、これは火災で発生したすべての煙の量と考え

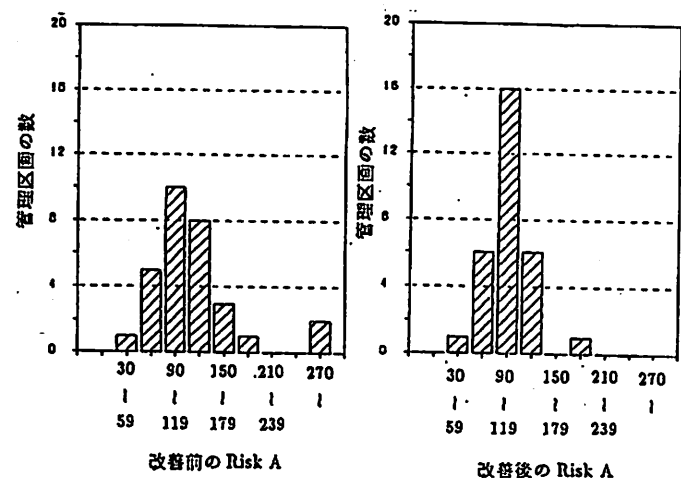


図6: Risk A についての分布

られる。この値と3)での $\bar{V}(i,j)$ との比をとると、その開口部を通じて煙に汚染される可能性を示す指標 $\alpha_{i \rightarrow j}$ (煙伝播確率)を(5)式のように求めることができる。

$$\alpha_{i \rightarrow j} = \frac{\sum_{\ell=1}^{2^k} \{V(i,j,\ell) \times P_r(i,j,\ell)\}}{\sum_{j=1}^k \sum_{\ell=1}^{2^k} \{V(i,j,\ell) \times P_r(i,j,\ell)\}} \quad (5)$$

4.1.2 モデルによる検討

今回は図8に示すようなモデルを用いて、開口部の煙伝播確率に天井の高低差が与える影響を検討する。このモデルの選択理由は複数の区画開口部に階段開口が近接するため、煙流動の様子が作動方法のみによる開放確率とは大きく異なると考えられるからである。ただし、条件として以下のものを設定する。

- 1) 火源は1MW,3MW,5MWの3通りとする。
- 2) 開口部の大きさは、モデルとした地域の開口の大きさをそのまま用いる。
- 3) 開口部が閉鎖する場合は火災発生と同時にする。

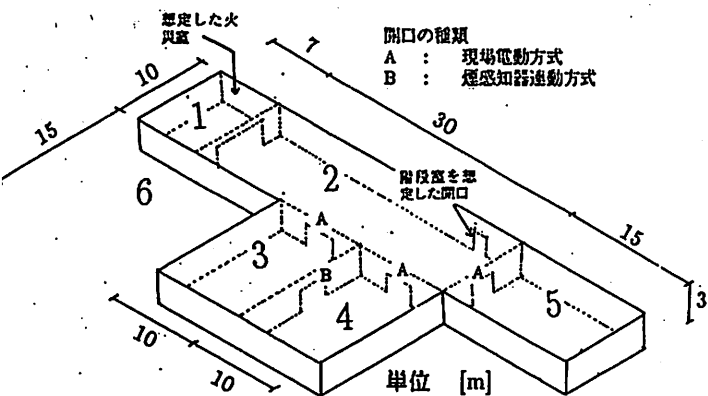


図8: シミュレーションモデル

4.1.3 結果と考察

上記のモデルにおいて、各開口部の流量変化の期待値が計算されるがそのうち2-3,2-4,2-5間の開口について10[sec.]ごとの変化の様子を図9に示す。まずここでは示されていないが、3-4の開口はどの火源状態においても60[sec.]では煙が流出しないことが確認される。また他の開口部では3MWでの値が流量変化が現れてくる時刻以降ではどの火源状態よりも大きいことが分かる。これは火源の拡大に対してこのモデルでは開口部流量が線形の関係として考えられないことを示す。

また図9で示した開口部では作動方法がすべて同じ(現場電動方式)であるから、前節での開放確率の値が等しくなる。つまり開口部での流量変化も等しくなると想像されるが、火災区画からの避難時間として60[sec.]を採用すると、実際には各開口部の流量の期待値は異なることが読み取れ、結果として天井の高低差が煙流動に影響を与えることが分かる。

また定常状態と考えられる600[sec.]での各開口での煙伝播確率を計算すると、階段への開口(2-6)の確率がどの

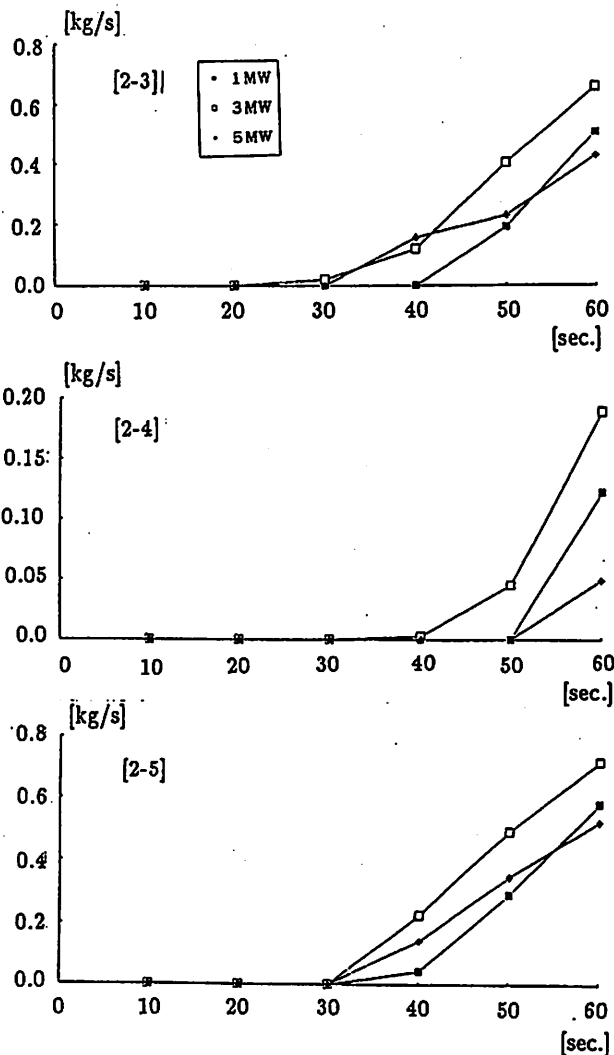


図9: 各開口部での流量変化

火源でも約0.3であり、その他の開口への煙伝播確率への影響は考えられた程ではない。これは階段の開口部の高さが他の開口部の高さよりも低いためであり、別の条件で検討すれば異なる結果が生ずることが想像される。危険度評価への応用としては、例えば階段開口へ0.5以上煙が流出することが確認されれば、その付近の区画開口部の開放確率を下げることにすることなどが考えられる。

5 まとめ

本論文では地下空間の火災危険度評価について名古屋駅前地区を例にとり検討し、二層ゾーンモデルを用いた評価についても検討した。その結果精度のよい危険度評価を行うには実際の地下空間の形状について考慮する必要があることが示された。

今後は地下空間を構成する店舗の詳細な調査などを行って、より精密な評価法を確立して増加して行くであろう地下空間での火災危険度評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 社団法人 地域問題研究所: 名古屋市地下街等防災対策(名古屋駅前地区)実態調査. 1991年3月
- [2] 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年1月