

緊急時人間行動に関する迷路実験とモデル化の検討

東京大学大学院 横山 秀史
 東京大学生産技術研究所 山崎 文雄
 東京大学生産技術研究所 片山 恒雄

An Experiment and Modelling on Human Behavior During Evacuation Using a Maze

Hidefumi YOKOYAMA*, Fumio YAMAZAKI** and Tsuneo KATAYAMA***

*Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, University of Tokyo, Tokyo

**Associate Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo

***Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo

ABSTRACT

An experiment was carried out using the facility of Ikebukuro Life Safety Hall to estimate the human behavior during emergency evacuation and to get basic data for modelling the human behavior. The facility consists of many doors and movable walls. Sensors are also equipped to know the location of the person in the maze. Two cases of experiments with different initial conditions were performed with 40 examinees, 19 men and 21 women. At the same time, a questionnaire was given to the examinees. From the experiment and the questionnaire, following conclusions were obtained: (1) the behavior seemed to be categorized to three patterns, (2) the behavior of the examinees were affected much by the brightness and the presence of walls and doors, (3) most examinees felt restless during the experiment. Based on the result of the experiment, basic idea to model the human behavior during evacuation was investigated.

KEYWORDS: human behavior, evacuation experiment, maze, simulation model

1. はじめに

都市における土地利用の高度化が進むにつれ、地震や火災などに対して安全性を確保することがますます重要になってきている。近年では、災害時の安全性を議論する際には、構造物の安全性とともに、それを使用する人間の問題を含めて検討する必要があることが認識されるようになってきた。このように、緊急時における人間行動の特性を理解することは、防災を考える上で従来にも増して重要になりつつある。また、災害時の人間行動と年齢・性別・職業・性格などの事前を知ることでできる人間の諸特性の関係をモデル化できれば、防災計画の立案や防災教育などを行う上で非常に有用であると考えられる。

緊急時の人間行動を調べる方法の一つとして、被験者実験を行う方法が考えられる。この種の実験的研究には、広域避難を対象としたものと、建物のような限定された領域からの避難を対象としたものがある。このうち、建物や地下街のような限定領域からの避難実

験に関しては、実験設備の問題や、人体実験の要素が強くなる危険をともなうことも考えられるため、限定された条件下で実験が行われている。特に80年代になると、わが国の主要都市には地域住民の防災意識の向上と防災活動教育を行うための拠点として地域防災センターが建設され、さらにコンピュータなどの情報処理機器の発達により模擬実験を可能とする環境も整ってきた。北後¹⁾は、パソコンとスライドプロジェクターを連結した視覚的な模擬装置を用いて、建物内での経路選択の実験を行っている[1]。また、神戸市の市民防災センターに設置された耐煙訓練室を用いて、煙の中における避難行動実験を行い、煙の中での行動の特徴、視界条件と避難経路選択、歩行速度との関係などを整理している[2]。渡部²⁾は、大きさが27m×27m、通路幅1mの格子状の迷路を作成し、ここで子供を含む23名に対する被験者実験を行うことにより、主に歩行速度、歩行経路選択、歩行経路の学習特性などを調べている[3][4]。このほかにも、岡崎・松下による民間の巨大迷

路を用いた歩行実験[5]、井谷らによる地下街における日常動線の調査[6]なども行われている。

避難者のモデルに関しては、群衆を考えた研究と個人を対象とした研究がある。このうち、群衆モデルは、人の動きを群衆流という形で流体として扱うモデルである。群衆の流動状況の研究に基づき、通路や出入口、階段などにおける流出係数を求めたうえで避難の所要時間の算定などを行うもので、最も古くから使われている（文献[7]～[10]など）。この種のモデルでは多数の人間を群衆流としてモデル化しているため、避難者全体の傾向をつかむことが容易である反面、人間の心理状態の変化による避難行動の変化をきめ細かく取り込むことがやや困難である。特に、建物内や地下空間などでの避難経路の選択は心理状態によって大きく影響されると考えられるが、群衆モデルではこの点を充分に取り込むことは困難である。

他方、個々の人間をモデル化した研究では、人間を意志のない粒子としてモデル化した研究と、状況認知、判断などの要素を含めてモデル化した研究がある。特に近年はコンピュータの性能向上もあり、周囲の状況もたらす心理状態の変化と、それにとまう行動の変化を取り入れたきめ細かい避難シミュレーションが行われている。位相による心理状態を考慮したモデル[11]、仲谷・荒屋による避難行動の情報処理モデル[12]、海老原・大槻らによる地震時人間行動シミュレーション[13]など、人間が避難時に行う認知、判断を記号処理言語やオブジェクト指向言語を用いてモデル化したものや、それに基づいたコンピュータシミュレーションがある。

本研究では、緊急時の人間行動に関する情報を収集するために、迷路を使用して実験を行い、避難行動モデルの基礎的データとするための検討を行った。従来の研究のうち、特に北後による研究は、市民防災センターの煙訓練用施設を使用して避難行動実験を行うなど、本研究と多くの共通点がある。しかしこの研究では、主として照明の明るさなどの物理的要因が煙の中を避難する時の経路選択および歩行速度におよぼす影響を調べているのに対し、本研究では避難者の心理状態や平常時の個人特性と緊急時の行動の関係について基礎的なデータを収集すること

に重点をおいた。

2. 迷路を用いた避難実験

2.1 実験に使用した迷路

迷路を用いた緊急時人間行動に関する実験は、東京消防庁池袋都民防災教育センターの煙体験コーナーの施設を使用して行った。同コーナーは、煙の中での避難行動を体験し、火災時の煙の性質や正しい避難姿勢などを教育するためのもので、煙体験用の迷路を中心とした施設から構成されている。この迷路は、内部の照明や煙の流量などを迷路入口のコントロールパネルで調整できるほか、迷路内での被験者の位置を感知するマット状のセンサー、被験者の姿勢を感知するセンサー、迷路内の音声を収録するマイクなどにより、内部の状況を迷路の外から監視する機能をもつ。

迷路の内部は、多くの可動式の壁とドアによって仕切られており、いくつかのドアは鍵がかけられて開かないようになっている。また、ドアの中には窓のついたものがあり、外部からの明かりもれがある。その他、迷路の内部には一ヶ所「非常口」の表示灯があり、その付近はやや明るくなっている。迷路内の通路部分の幅は約1m、迷路の長さは最短経路で約25mである。迷路の形状と機能をFig.1に示す。

実験は、1990年2月28日、3月24日、10月20日、10月27日の4回に分けて、男性19人、女性21人の計40人の被験者に対して行った。被験者の男女比はほぼ等しいが、特に40代、50代の被験者を集めるのは難しく、年

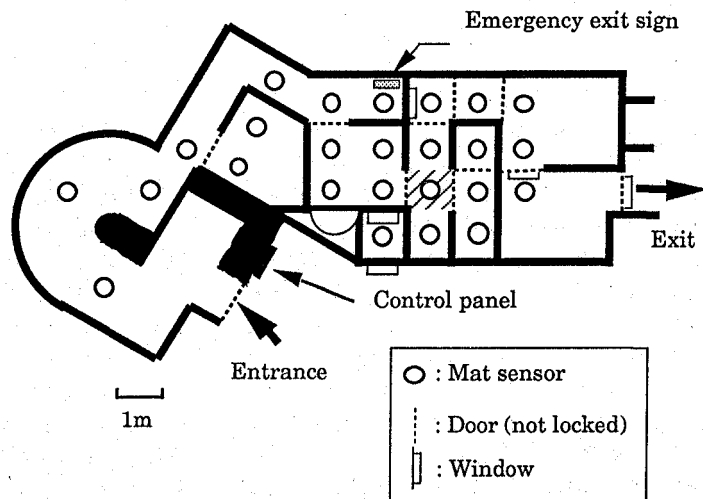


Fig.1 Plan of the Maze

年齢構成では20代の被験者がやや多く、50代の被験者は少ない。被験者の職業構成は、男性被験者の大部分と、20代、30代の女性被験者の大部分が会社員、40代以上の女性被験者は主婦が中心である。被験者への刺激要因としては、(1)迷路内の照明の状態、(2)迷路内の煙の濃度、(3)迷路内への外からの明かりもれの有無の3つをとり、これらの要因を変えて被験者1人について2ケースの実験を行った。実験の手順は、まず被験者を別室に集合させてから、一人ずつ呼び出し、迷路の外から入口と出口の場所を示した後、「この実験が避難に関するものであること」「内部が迷路状になっていること」「できるだけ早く迷路を脱出すること」の3点を伝えてから迷路に入れた。

実験ケース1では、最初に迷路内を完全に明るくしておき、煙は全く無い状態にしておいた。また、窓はふさがず、外からの明かりもれがある。実験ケース2では、最初に迷路内を薄暗くしておき、煙を少量入れた。また、この実験ケースでは窓をふさいで、外からの明かりもれがない状態にし、被験者が明かりもれの有無によってどのような影響を受けるかを調べた。いずれの実験ケースでも、被験者が迷路中央の部屋に到達したときに照明を消し、迷路内部を完全に暗くした。

実験時には、迷路からの脱出に要した時間を測定するとともに、迷路の入口付近にある位置センサーのモニターパネルの前にビデオカメラを設置し、迷路内での被験者の位置に加えて、姿勢感知用センサーや迷路内の音声も合わせて収録した。

迷路内での行動やその理由、心理状態などを調べるため、被験者が迷路から脱出した直後にアンケートに回答させた。また、被験者の行動と性格の関係を調べるため、一般に広く使用されている性格検査を被験者に対して行った。

2. 2 実験の結果

2. 2. 1 脱出時間について

被験者全体の平均脱出時間は、実験ケース1、実験ケース2とも約170秒で、ほぼ同じであった。しかし、男女別にみると、実験ケース1では男性の平均脱出時間のほうが女性の平均脱出時間よりも約45秒短かったのに対し、実験ケース2では女性の平均脱出時間のほうが約26秒短い。

脱出時間と性別の関係をみるため、実験ケース1の脱出時間について、男女別の頻度分布および累積頻度曲線をFig.2に示す。この場合、男性では50～150秒と200～250秒の2つの山があるのに対し、

女性では150～250秒に集まっており、女性の方が個人差が小さい。累積頻度曲線をみると、男性のほうが女性よりも脱出時間が短いほうへ寄っており、実験ケース1では明らかに男性のほうが早く迷路を脱出していることがわかる。実験ケース2について同様な検討を行ったところ、女性の方がやや個人差が小さいが、男女とも実験ケース1と比較してばらつきが大きい。また、累積頻度曲線も、150秒あたりまでは男女ともほぼ同じ傾向で、実験ケース1と比較して実験ケース2では性別による脱出時間の違いは小さかった。

一度迷路に入ったことによる学習効果をみるため、実験ケース1と実験ケース2の脱出時間の変化を調べたところ、-30秒から+30秒の範囲に最も多く、実験ケース1と実験ケース2で脱出時間に大きな差のない被験者が最も多かった。また、実験ケース1より実験ケース2のほうが早かった被験者と遅かった被験者はほぼ同数であった。脱出時間の差は、-90秒から+90秒の範囲では男女とも同数であるが、90秒以上早くなった被験者はほとんどが女性で、逆に90秒以上遅くなった被験者はほとんどが男性である。実験ケース1では男性のほう

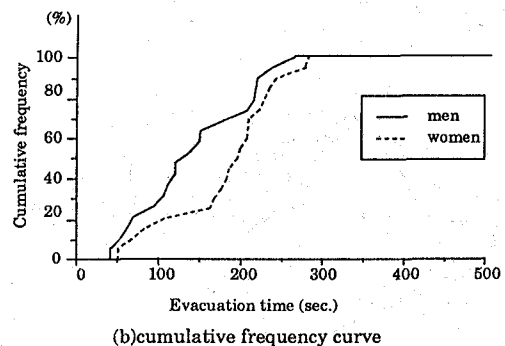
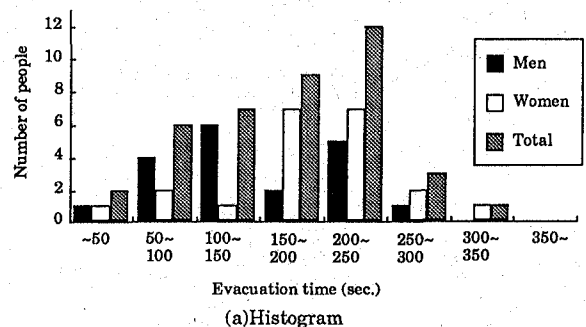


Fig.2 Comparison of evacuation time between men and women(Case 1)

が平均的に早かったのに対し、実験ケース2では女性のほうが早いのは、これらの、極端に早くなった人と極端に遅くなった人が影響したためとわかった。

2. 2. 2 動線について

被験者が迷路に入ってから、迷路中央の網掛で示した部屋(Fig.3)に達するまでの間は、照明は点灯したままであり、迷路の内部は実験ケース1では明るい状態、実験ケース2では薄暗い状態である。この間の被験者の行動は、迷路内における自分の位置をある程度把握したうえで開くドアを次々に試し、行き止まりであれば引き返す行動をとっており、個人差は小さかった。それに対し、照明を消し迷路内を完全に暗くした後では、被験者による行動パターンの違いがめだつた。照明が消えた後の迷路内での被験者の行動はFig.3に示す3つのパターンに大別できた。分類の基準はおもに、経路探索が体系的かどうか、方向感覚をある程度保持しているか完全に失っているか、の2点である。

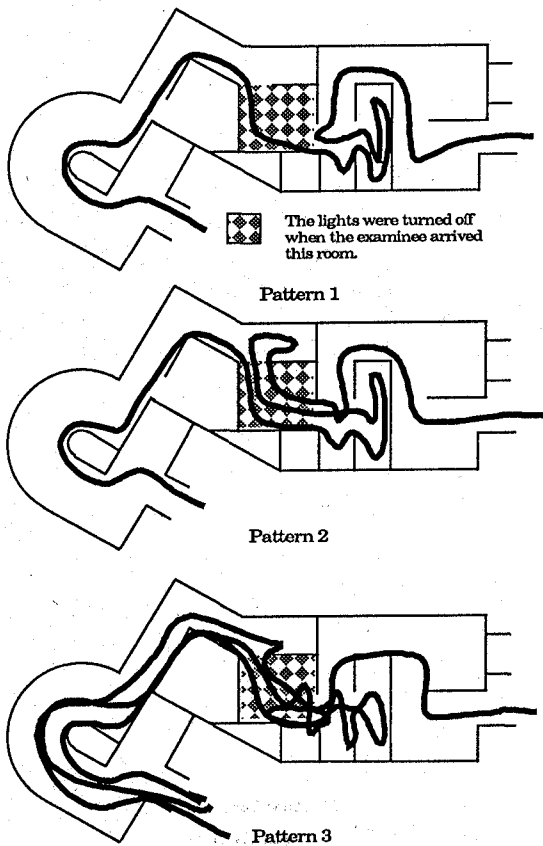


Fig.3 Typical patterns observed during the experiment

3つの行動パターンのうち、行動パターン1は、同じ場所を何度も往復するなどの無駄な動きが全くなく、体系的な経路探索によって迷路を脱出したパターンである。迷路から確実に脱出する方法として、右手(または左手)を壁から離さないようにして入口から壁伝いに探索していく方法があり、これらの被験者は、この方法によって脱出したものと思われる。問題は、壁伝いの経路探索が意図的にとられたのかどうかである。次に、行動パターン2は、体系的な探索行動はとっていないものの、照明を再点灯した後はほとんど迷わずに出口まで達していることからわかるように、方向感覚を完全には失っていないと思われるパターンである。行動パターン3は、全ての実験ケースを通じて最も多くみられたものであり、探索行動に系統性がみられないほか、無駄な動きが非常に多く、方向感覚を完全に失っていた。このタイプの被験者の中には、入口に戻ってきってしまう例もみられた。入口に戻ってきた被験者は、実験ケース1の場合、40人中11人であり、これらの被験者のいずれもが出口に達したものと考えていた。

実験ケース2でも、実験ケース1と同様な行動パターンの分類ができるが、特徴的な行動としては、出口の手前にある部屋の所まで達していながら引き返す行動がみられた。これは、実験ケース2では出口付近の窓をふさいで明かりもれをなくし、照明も消した状態に保ったため、1回目と同じ場所であっても被験者が全く異なる印象を持ったためであった。

また、Fig.1に網掛で示した部分における経路選択行動に着目すると、今回の実験で迷路内が完全に暗くなっている時に十字路口部分に到達した被験者のうち十字路口を直進した者は約44%、右折した者は約33%、左折したものは約22%で、直進した被験者が最も多かった。一方、実験条件等が異なるため単純な比較は困難であるが、北後が神戸市の市民防災センターの耐煙訓練室を使用して行った避難行動実験[2]の場合、暗闇状態では直進が約20%、右折が約50%、左折が約25%であり、右折した被験者が最も多い。

このような違いが生じた原因としては、被験者の個人差のほか、通路幅やドアの有無などの、実験施設の違いによる影響が考えられる。今回の実験で使用した迷路は、通路の幅が約1mとやや狭いうえ、十字路の手前と奥の2ヶ所にドアがあり、被験者が手を伸ばせば前方のドアに触れることができる。そのため、ドアに誘導されるような形となり、直進する被験者が多くなったのに対し、北後の使用した通路では幅が広い

えにドアなどがいないため、壁伝いに進む傾向が強く表れたものと考えられる。このように、暗闇の中を手探りしながら歩行する場合の経路選択は、周囲の状況によって強く影響されるものと考えられる。

3. 被験者に対するアンケート調査および性格検査

3.1 アンケート調査および性格検査の概要

アンケート調査は、各実験ケースの終了直後に行った。1990年2月28日、3月24日、10月20日、10月27日の4回の実験のうち、先に実施した2回（2月28日と3月24日）と、後で実施した2回（10月20日、10月27日）の実験の際に行ったアンケートがそれぞれ一組となっており、両者の間では質問項目や回答の選択肢などに一部違いがある。アンケート調査の項目は、迷路内の状態を変化させたとき（照明を消す、照明を再点灯するなど）にとった行動とその理由、行動する際に目標としたもの（明かり、ドア、壁など）、避難に対する煙の影響、さまざまな状況におかれたときの「焦り」の度合などである。

アンケート調査と同時に、被験者に対して、一般に広く用いられている性格検査を実施した。性格検査は、人間の平常時の特性と緊急時の行動との関連を調べる目的で行ったもので、人事管理などの目的に広く用いられているY-G性格検査を使用した。Y-G性格検査からは全部で12の性格尺度に関する情報が得られる。また、個々の性格尺度の評価とともに、12尺度の情報を総合した全人格的な判定を行うことができるようになってきている。

3.2 アンケート調査の結果

3.2.1 照明が消えた直後の行動について

Fig.4は、10月20日と10月27日の実験ケース1の終了直後に、全部で28人の被験者に対して行ったアンケート調査の結果の一部を示したもので、質問内容は照明が消えた直後にとった行動と、その理由である。この図より、照明が消えた直後の行動としては、前進と答えた被験者が約80%であり、大部分の被験者は照明が消えても前進しようとしている。また、その理由としては、手近なドアや壁を捜すためという回答が多

く、照明が消えて迷路内部が暗くなった直後には、明かりよりも、手で触れるものを捜して前進しようとする傾向が強いことがわかった。

3.2.2 焦りについて

被験者の迷路内での心理状態を調査し、避難行動モデルの基礎的データとするため、焦りに関する項目を重点的に調べた。実験ケース1の実験時にさまざまな場面で被験者が感じた焦りの程度と被験者の性別の関係をFig.5に示す。

まず、被験者全員についてみると、各質問項目とも大部分の被験者が「かなり焦った」から「少し焦った」と回答している。このように、今回の実験の際にかなりの被験者が焦りを感じて行動しており、実験の結果は実際の緊急時の行動特性をある程度反映しているものと考えられる。

また、性別と焦りの関係をみると、全体的には男女ともほぼ同じ傾向であるが、女性のほうが男性よりも焦りを感じる方にやや強く反応している。特に、開くと思っていたドアが開かなかったときに、女性被験者は大部分が焦りを感じていたのに対し、男性被験者の場合、ほとんど焦らなかった被験者がかなり多いなど、性別により焦り方に違いがみられた。

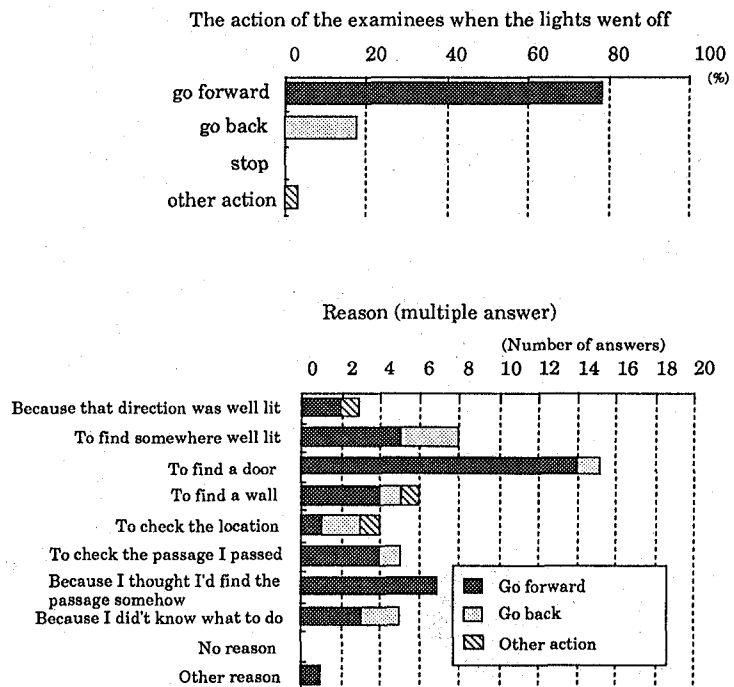


Fig.4 The action and its reason when the lights went off

3.3 性格検査の結果

Y-G性格検査によって得られた12の性格尺度のうち、各性格尺度の内容や、性格尺度相互の関連などを考慮し、情緒面の安定度を表すC尺度、活動意欲や積極性を表すAg尺度、活動性や決断力を表すR尺度の3つの尺度を用いて、実験時に被験者がとった行動との関連について数量化理論第3類を用いた解析を行った。

特性変数としては、年齢・性別・職業・上記の3つの性格尺度の計6個の個人特性を採用し、年齢は20代・30代・40代以上の3カテゴリ、職業は技術系・事務系・主婦の3カテゴリに分類した。また、行動パターン1,2の被験者が行動パターン3の被験者と比べ少ないため、行動パターン1と行動パターン2の被験者を1グループとした。実験ケース1について解析した結果を、各個人特性項目のカテゴリウエイトの分布をFig.6に、各被験者のサンプルスコアの分布をFig.7に示す。まずFig.6より、同一の個人特性項目に属するカテゴリが分散して分布していることから、6個の個人特性項目全てが被験者の

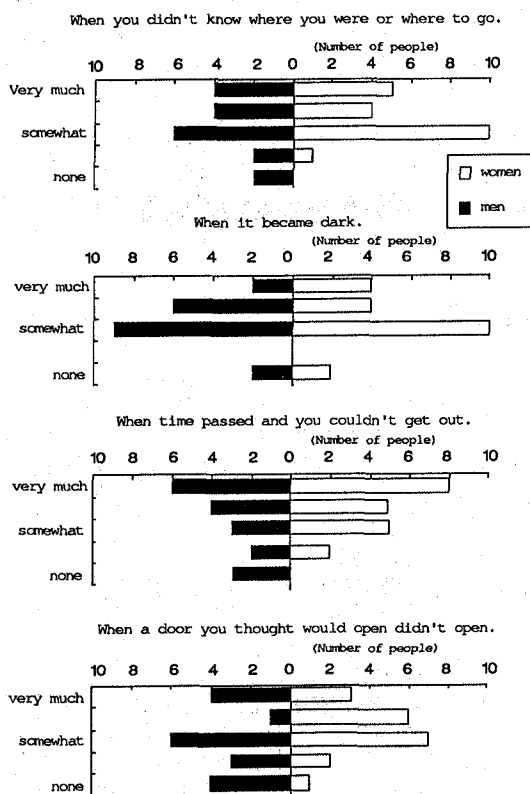


Fig.5 The degree of restlessness in various situations

分類に寄与していることがわかる。また、Fig.7より各被験者の分布をみると、ばらつきは大きいものの、行動パターン1,2をとった被験者と行動パターン3をとった被験者がある程度離れてまとまっており、解析に使用した6個の個人特性項目によって実験ケース1での行動パターンをある程度分離することができた。実験ケース2での行動パターンについても同様の解析を行っているが、ばらつきが大きく、今回の解析ではうまく分離できなかった。

4. 迷路実験に基づく避難行動モデル

4.1 避難行動モデルの基本構成

避難行動モデルの基本要素としては、避難する人間のモデル、行動する空間のモデル、避難時の状況のモデルの3つが必要であると考えられる。本研究では、人

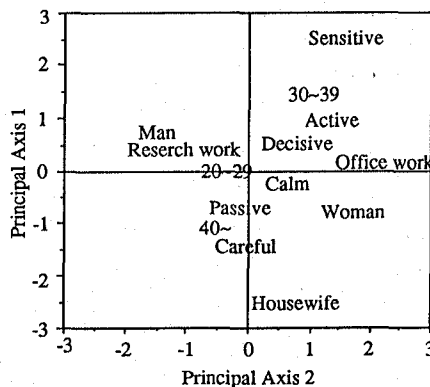


Fig.6 Scatter graph of category weight

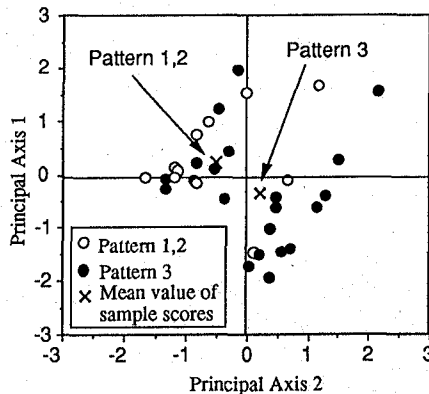


Fig.7 Scatter graph of sample score

間モデルとしては、各個人の性格特性や心理状態の時間的変化を取り入れるため、個々の人間が周囲の状況を認識し、進行方向を決定するモデルとし、まず一人で避難する場合のモデルを作成することにした。また、空間モデルは、ノードを結合したネットワーク構造とし、人間は四方向（東西南北）にのみ動くものとした。

4. 2 空間のモデル化

空間モデルを構成するにあたっては、ノード間の距離を適切に設定する必要がある。実験やアンケート調査結果を考慮すると、暗闇での経路探索を行う場合には、大体1mから1.5mに1個程度のノードが必要であると考えられる。各ノードの持つ基本的な情報は、(1)ノード番号、(2)ノードの状態（明るい暗い、誘導灯などがあるか、など）、(3)ノードの周囲の状態（ドア、壁、何もない、など）、(4)結合しているノードの番号である。

4. 3 人間のモデル化

人間モデルとしては、与えられた状況下での見直し

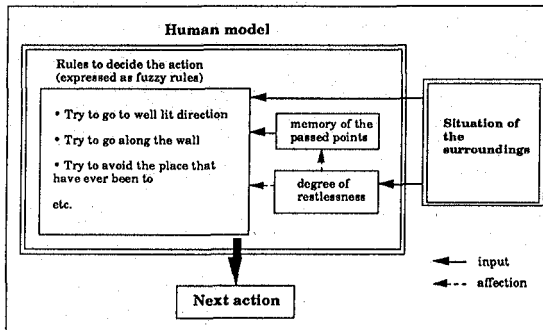


Fig.8 Basic concept of the human behavior model

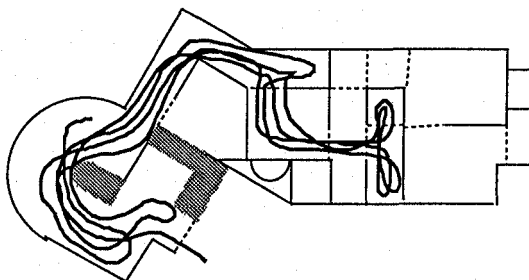


Fig.9 Example of the result of the simulation model

範囲内から得られる情報と自分の記憶を基にして経路選択を行うモデルを考えた。まず、通過してきた経路の記憶は、適当な大きさを持ったリストに通過したノードの番号を記録していき、リストの大きさを越えた場合には古いものから消去していく形で表現した。

経路選択は次のような方法で行うこととした。まず、一般的に人がとりやすいと考えられる行動（暗闇の中では壁伝いに進もうとする、明るい場所があればそちらへ進もうとする、前に通った場所はなるべく避ける、など）を、基本的な行動規則として列挙する。次に、実験時に観察された行動や、性格検査の解析結果を考慮して、それぞれの行動規則が個人の経路選択に及ぼす重みを、性別・年齢・性格などの個人特性に応じて定め、各個人ごとのファジィ推論規則を構築する。例えば、行動パターン3の被験者は同じ場所を何回も通るなど、自分の通過してきた場所である否かを確認せずに行動する傾向が強いのにに対し、行動パターン1の被験者は無駄な動きをほとんどしておらず、周囲をある程度確認しながら行動しているなど、経路選択時の判断に個人差がみられる。このような個人差を定量的に表現することは困難であるので、ファジィ推論によってある程度定性的に表現する。また、避難に対する焦りの影響は、同じ場所を何度も往復するなど、経路選択の一貫性が失われる点が大きいと考えられる。そこで、焦りの度合を表す指標をモデルに導入し、時間の経過などに応じて変えていくとともに、記憶できる点の数やファジィ規則中のメンバーシップ関数の形状を焦りの度合によって変化させることで、焦りの影響を表現することとした。

以上のようにして決定したファジィ推論規則に基づいて、周囲の状況を入力としたファジィ推論を行い、各方向ごとに「進みやすさ」を求め、最も進みやすい方向へ進むこととした。Fig.8に、人間モデルの基本構成を示す。

4. 4 モデルの検討例

Fig.9に、シミュレーション結果の例を示す。ここに示したモデルでは、直進を基本とした簡単な規則によって経路選択を行っている。また、焦りの影響などは考慮していない。このように簡略化したモデルであり、時間の経過にともなう人間行動の変化などは再現できていないが、入口に戻ってくる行動など、実験時に観察された行動の一部をある程度再現することができた。

5. まとめ

緊急時の人間行動に関する基礎的データを集めるため、迷路を使用した実験と、被験者に対するアンケート調査を行い、その結果を検討した。まず、迷路内での被験者の行動パターンを、ある程度体系的な経路探索により脱出した行動パターン1、体系的な経路探索は行っていないが、方向感覚は失っていない行動パターン2、経路の選択に一貫性がない上に方向感覚も失っていた行動パターン3の3つに大別できた。また、明るいと暗闇の中では、同じ場所であっても全く異なる印象を受ける場合があり、これが避難行動に影響する可能性があること、暗闇の中での経路探索には、通路幅の違いやドアの有無などの、周囲の条件のわずかな違いでも大きく影響する可能性があることを確認した。

次に、迷路実験の結果に基づいた避難行動モデルについて、基本的構成を検討した。また、簡略化した行動規則に基づくモデルを作成し、これによって実験時に観察された特徴的な行動の一部をある程度再現することができた。

今後は、行動規則を検討し一般化するとともに、複数の人間が避難する場合についても検討していきたいと考えている。

謝辞

実験に施設を使わせていただいた、東京消防庁池袋都民防災教育センター（細川顕司センター長）の各位と、実験に参加していただいた被験者の皆様方に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 北後明彦, 避難経路選択に関する実験的研究—スライド提示による一対比較データの分析を通じて—, 日本建築学会論文報告集, No.339(1984), p.84.
- [2] 北後明彦, 煙の中における人間の避難行動実験, 日本建築学会計画系論文報告集, 第353号(1985), p.32.
- [3] 渡部勇市, 迷路における人間の避難行動実験 第1報 歩行経路の記憶, 日本建築学会論文報告集, 第322号(1982), p.157.
- [4] 渡部勇市, 迷路における人間の避難行動実験 第2報 歩行経路の学習, 日本建築学会論文報告集, 第340号(1984), p.169.
- [5] 岡崎甚幸, 松下 聡, 迷路歩行実験とシミュレーションモデルによる再現, 日本建築学会大会学術講演梗概集E, No.5331(1990), p.661.
- [6] 井谷文昭, 室崎益輝, 大西一嘉, 地下街における要避難人員の日常動線に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第325号(1986), p.377.
- [7] 戸川喜久二, 避難群集流の計算について, 建築雑誌, No.4(1954), p.15.
- [8] 岡田光正, 吉田勝行, 柏原士朗, 辻 正矩, 横田隆司, 三次元メッシュによる避難シミュレーションモデルの高層建築物への適用性 その1, 日本建築学会近畿支部学術講演梗概集, No.5399(1983), p.1775.
- [9] 岡田光正, 吉田勝行, 柏原士朗, 辻 正矩, 横田隆司, 三次元メッシュによる避難シミュレーションモデルの高層建築物への適用性 その2, 日本建築学会近畿支部学術講演梗概集, No.5399(1983), p.1777.
- [10] 加藤啓介, 古瀬 敏, 田中哮義, 香川正弘, 高橋 清, 避難モデルの基本的な考え方とシミュレーション結果—火災時避難予測パイロットモデルの開発に関する研究その2—, 日本建築学会大会学術講演梗概集E, No.5368(1986), p.729.
- [11] 位寄和久, 避難行動モデルに関する研究—火災状況の認識と心理状態を考慮したモデルの提案—, 日本建築学会論文報告集, 第325号(1983), p.125.
- [12] 仲谷善雄, 荒屋真二, ESCAPE-II: 情報処理的アプローチを用いた避難行動シミュレーション・モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.26 No.4(1985), p.609.
- [13] 海老原 学, 大槻 明, 風間真奈歩, オブジェクト指向言語を用いた地震時人間行動シミュレーション, 第3回人工知能学会全国大会講演梗概集, (1989), p.617.