

ESCAPE-II: 情報处理的アプローチを用いた 避難行動シミュレーション・モデル†

仲谷善雄†† 荒屋真二†††

人間の避難行動を研究するとき、計算機シミュレーションでは、通常観察可能な行動などを中心にモデルを作成しており、人間の内部での情報処理過程のモデル化は不十分である。仲谷・荒屋の提案した避難行動シミュレーション・モデル (ESCAPE-I) は、認知科学の分野で発達した情報处理的アプローチを適用したもので、ビルなどの火災場面からの脱出を扱う。ESCAPE-I は認知・行動の理解を促進するためのツールとして有用であったが、空間や時間を扱っていないなどの不十分点が存在する。本論文では、個人の空間知識や物理的時間を考慮し、より細かな避難行動解析を可能にした ESCAPE-II について述べる。本モデルは、定性的内容を扱うため Prolog で書かれているが、定量的な火災シミュレータとの連結も可能である。また、避難の実例の再現と ESCAPE-I との比較を通じて、モデルの内的整合性および説明力を示す。

1. ま え が き

人間の避難行動研究では、災害の緊急性、状況の極限性のため、実験や調査によっては必要なデータを得ることが困難な場合が多い。計算機シミュレーションは、このような不十分点を補うものであり、これまでに数多く開発されてきた^{1),2)}。

避難行動を扱った従来のシミュレーション・モデルの多くは、観察可能な事象を中心にモデル化されており、人間の内部で行われる情報処理過程のモデル化は不十分である。しかし、観察可能な事象の記述からだけでは、行動の生起要因の確定が困難であるなどの問題点が存在する。認知科学の分野で発達した情報处理的アプローチは、特定分野における人間の情報処理過程に関するモデルを計算機上に実現するものである³⁾。

仲谷・荒屋は、情報处理的アプローチを導入した避難行動のシミュレーション・モデルとして、ESCAPE-I を提案した⁴⁾。このモデルは、火災場面における個人の情報処理過程をモデル化したもので、定性的な内容をおもに扱うため、言語として Prolog を用いている。モデルの基本的な動作は、一連の、状況の定義・目標の設定・目標への接近で、災害場面からの脱出が成功するまでこのサイクルが繰り返される。火災状況に関する情報は、状況定義の際に端末から入力され、種々の知識に基づいて認知・行動が行われる。

ESCAPE-I は、いくつかの避難事例の再現に成功したが、課題点も指摘されている。それらは、1) 空間知識の扱い、2) 時間の導入、3) 火災状況に関するシミュレーションとの連結、4) 他者との相互作用のより積極的な考慮、などである。

本論文では、これら課題点のうち1)~3)に関して考慮した ESCAPE-II について述べる。広域空間の認知は、全体としての一貫性を要求されない、複数の地域に関する知識に基づいて行われると考えられる⁵⁾。このような知識はルートに関する知識としての性格を合わせもつ。ESCAPE-II が問題にする小空間についても同様の認知が行われると考えられる。本モデルは、空間をブロック (区画) の集合として扱い、上記の空間知識の性格を実現している。時間は、避難者が認知する心理的時間と避難者から独立した物理的時間からとらえられる⁶⁾。前者は認知・行動の変化によって間接的に扱えると考えられるので、本モデルでは物理的時間のみを陽に扱う。各認知・行動に要する時間があらかじめ設定され、実行された認知・行動に相応する時間の和により物理的時間が表現される。空間と時間を考慮することにより、たとえば空間をメッシュに分割して扱うような火災状況シミュレーションとの連結が可能となった。さらに煙濃度や水や新鮮な空気の効果を考慮することにより、認知・行動の記述もより詳細かつ豊富になり、より細かな分析が可能となった。しかし、避難行動に関する知識には未知の部分が多いため、本モデルは完成されたものではない。本モデルは、これを用いて知識の整理・補充を図ってゆくためのツールとして位置づけられるものである。

以下の章では、まず避難行動のモデルと ESCAPE-

† ESCAPE-II: Simulation Model of Escaping Behavior by Information Processing Approach by YOSHIO NAKATANI (Central Research Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.) and SHINJI ARAYA (Fukuoka Institute of Technology).

†† 三菱電機(株)中央研究所
††† 福岡工業大学通信工学科

II のアーキテクチャについて述べ、その後避難事例の再現を行って、ESCAPE-I との比較を行う。

2. 避難行動のモデル

2.1 知識の構造

避難行動を、避難者の有する知識と、個人特性からとらえる。知識のうち、認知・行動手続に関する知識と、認知・行動手続の選択・実行時に参照される避難場面や避難者の現在状態などに関する知識を区別する。前者を手続的知識と呼び、後者を宣言的知識と呼ぶ。両知識とも、人間一般に共通する一般知識と避難者に特有である個人知識に分類可能と考えられる。

2.2 手続的知識

避難行動は、情報入手、状況定義、目標設定、ルート決定という一連の手続的知識から成り立つ。

(1) 情報入手

情報入手時期として、目標設定前・目標への接近途中・目標到達後という内部情報処理の前後の3種類の情報探索期を考える。それぞれを情報1・情報2・情報3と呼ぶ。

情報1では、まず初期情報を受け付ける。本モデルでは空間をブロックの集合としてとらえ、目標までのルートの移動はブロック単位に行う。1ブロック進むごとに1ブロック先の状態を情報2として受け付ける。情報2の内容が障害であるとそのブロック名と障害内容を記憶し、情報1に戻る。避難状況における障害への対応は、他者依存型の対応であると考えられるので、この情報1では救助あるいはリーダーシップに関する情報を受け付ける。目標への接近中に障害がなければ、目標に到達する。目標到達後に情報3を受け付ける。情報3の内容が障害であると情報1に戻り、情報2の場合に準じる。

(2) 状況定義

状況定義は、情報を判断する段階である。手続的知識は情報を対象知識(2.3節参照)という宣言的知識と比較し、情報と同一のメンバをもつ対象知識名を状況定義とする。

状況定義が障害であれば、その内容と位置を記憶する。現在位置が出口で障害が煙の場合には、最も高い濃度の煙のみ障害と見なすが、これ以外の煙濃度の場合も煙濃度と位置を記憶する。障害がなければ移動目標へ到達する。水や新鮮な空気を得られる場所に到達すれば、体力が回復し、煙中で滞在できる時間が一定期間延びる。

上記の他に、状況定義には避難者の状態に関する定義を含む。現在の目標に関する知識などは情報処理過程で適時得られ、宣言的知識として記憶される。

(3) 目標設定

状況定義の後目標を設定する。目標には大まかな目標である概念目標(たとえば出口)とより具体的な移動目標(たとえば中央階段)がある。

目標設定方法には、避難者以外から目標が提示される場合と、避難者が目標を設定する場合がある。

前者の場合、情報1を救助あるいはリーダーシップと判断すると、救助あるいはリーダーシップを概念目標とし、具体的な内容を移動目標とする。それ以外の場合の対応は個人知識に基づく。

後者の場合は、状況定義に基づき概念目標を設定し、概念目標に関する対象知識に基づき移動目標を設定する。ある概念目標の下で初めて移動目標を設定する場合、概念目標に対応する対象知識のメンバから最も熟知度の高いものを選ぶ。同一熟知度のメンバが複数ある場合は、メンバの位置する場所に関する記憶に基づき、煙濃度の最も薄いものを移動目標とする。煙濃度が同じであれば、最も近いものを移動目標とする。同一距離のメンバが複数ある場合は、最初に想起したものを移動目標とする。一度概念目標が変わり再び元の概念目標に戻る場合は、初めての場合に準じる。ただし、水を得た後再び出口という概念目標に戻る場合は、先に出口という概念目標の下で設定した最新の移動目標を再び目標とする。移動目標を設定した後、移動目標までのルートを決める。

移動目標への接近中あるいは到達後に煙や器具の使用不能などの障害を認知した場合には、まず救助・リーダーシップを探索し、なければ、

- 1) 現在の移動目標に固執、
- 2) 同一概念目標下で移動目標を変更、
- 3) 周囲に出口を探索、
- 4) 周囲に煙のない場所を探索、

のなかから避難者の現在状態に基づき個人知識が指定する。避難行動においては習慣化した認知・行動特性が出現すると考えられるので、認知・行動の選択には確率要素を考慮していない。1)の場合には、同一ルートに固執する場合とルートを変える場合がある。ルートを変更する場合の方法は、後述の(4)ルート決定で述べる。2)の場合には前述の移動目標設定の方法による。3)の場合には、周囲に出口があれば移動目標とし、なければ、離れた地点に出口を探索するか、

1), 2), 4)のうちから対応を決める。4)の場合は3)の手続に準じる。

なお、現在位置が水の得られる場所である場合、煙に対する現在の移動目標への固執という対応を、より濃い煙濃度に対しても一定期間適用する。

(4) ルート決定

ルート決定は目標設定直後、およびルート進行中に何らかの障害がありルートを変更する場合に行う。ルートに関する宣言的知識を参照し、既知のルートがひとつの場合はそのルートをたどるが、複数ある場合は最短ルートをとる。

ルートを変更する場合、まず現在ブロックから移動目標までのルートを探し、なければ現在ルートの次に想起するルートを新たなルートとする。そのとき、現在ルートと新ルートの共通ブロックまで戻り、共通ブロックから新ルートを進行することになる。戻る途中で障害があった場合の対応は、前述の目標設定における障害への対応1)~4)から個人知識が指定する。

2.3 宣言的知識

宣言的知識のうち、状況定義や目標設定で使用されるものは、火災や救助などの対象に関する具体例(対象メンバ)のリストであると考えられ、対象知識と呼ぶ。ルート決定時に使用される宣言的知識は、ルート群に関する知識であると考えられ、空間知識と呼ぶ。宣言的知識にはこの他に、状況定義の結果として得られ、状況が変化するまで保持される知識がある。

対象知識には、火災、出口、新鮮な空気のある場所、水のある場所、障害、救助、リーダシップなどが考えられる。対象メンバには、出口の場合、エレベータや中央階段などが考えられる。

空間は複数のブロック群として認知されるものと考えられ、ブロック構成要素や他のブロックまでのルートに関する知識として空間知識をとらえる。

状況定義の結果得られる知識には、たとえば概念目標、移動目標、移動目標までのルート群、現在ルート、現在位置、各ブロックでの煙などの障害や救助などの有無に関する知識がある。

2.4 個人特性

個人特性は、避難者の生物的な諸特性で、避難行動を実現させる。個人特性には、煙中で滞在できる時間(耐久時間)、各種情報処理に要する時間、各ブロック間・ブロック内の移動に要する時間などが考えられる。情報処理時間では情報入力、状況定義、目標設定、障害による対応のもたつきに要する時間などがあ

る。また、耐久時間は水や新鮮な空気を得ることにより延長される。煙濃度が変化した場合の煙中滞在時間は、各煙濃度での滞在時間の関数であると考えられる。

3. ESCAPE-II のアーキテクチャ

上記のような知識を有機的に利用するために、本モデルを以下のような構成とした。

ESCAPE-II を人間と外界の二つの部分に分類する。人間の知識には、個人内で比較的变化しない知識と時間の経過に伴い内容が変化する知識がある。前者を長期記憶、後者を短期記憶として考慮した。知識とは別に、行動の記述のために個人特性を考慮した。時間や外界のデータは、データベースに設定する。長期記憶、短期記憶、外界との相互作用を行う部分をインタプリタとした。ESCAPE-II 全体の管理を行う部分を制御部とした。なお、火災シミュレータとの連結も可能であるが、今回は行わなかった。

ESCAPE-II の構成を図1に示す。

3.1 長期記憶

長期記憶には、前述の手続的知識、対象知識および空間知識を含む。これらは以下のような表現形式をもつ。

(1) 手続的知識(PK)

PK をプロダクション・ルール形式で表現する。

$$A_1 \sim A_2, \dots, A_n, !, B_1, \dots, B_m. \quad (1)$$

(1)はPKの一般表現形式である。条件部分 $A_1 \sim A_n$ と手続部分 $B_1 \sim B_m$ から成り、'!'により区別する。条件部分と手続部分は少なくともひとつの条件あるい

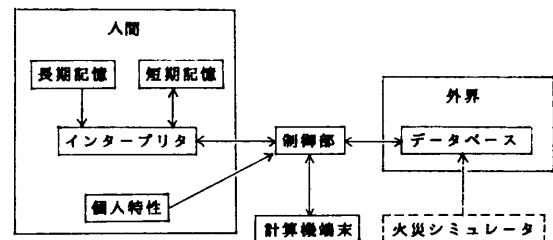


図1 ESCAPE-II の構成

Fig. 1 Structure of ESCAPE-II.

```
exam-next-nil (Goal, Object, List):-
  next-nil (List, Object),!,
  set-object-next-nil (Goal).
exam-next-nil (Goal, Object, List):-
  !, compare-next-members (List, Goal, Object).
```

図2 手続的知識例

Fig. 2 An example of procedural knowledge.

```

object-k (対象名,
  場面特定,
  [対象メンバ知識]).
対象メンバ知識:
[[対象メンバ(1), 特徴(1), 熟知度(1)],
 :
 :
 [対象メンバ(n), 特徴(n), 熟知度(n)]]
(a) 対象知識の表現形式

object-k (room,
  default,
  [[kitchen, [water, fresh air], 2],
  [office, [outdoor, fresh air], 1]]).
(b) 対象知識例

```

図 3 対象知識

Fig. 3 Conceptual knowledge.

は手続からなる。条件部分が満足されると手続部分が実行される。

図 2 は PK 例である。同一概念目標の下で移動目標を設定する場合、先行する移動目標以外に移動目標候補を知らなければ個人知識に基づく対応をとり (set-object-next-nil), 知っていれば移動目標の決定を試みる (compare-next-members) という内容である。

(2) 対象知識 (OK)

OK を図 3 (a) のように表現する。対象名は当該 OK を統合する名前である。場面特定は、対象が特定場面に固有の知識であればその場面名 (自分の部屋に固有の知識であれば、'my room') が入り、場面に特定でなく一般的なものであれば、'default' が入る。対象メンバ知識は対象メンバに関する知識であり、対象メンバとその特徴および熟知度から成る。特徴は対象メンバに対する避難に関連した期待内容を表す。熟知度は 1 から 3 までの数値で表し、数が大きいほど熟知度が高い。対象メンバ知識の配列は対象メンバの熟知度の順とした。同一熟知度の対象メンバが複数ある場合には、移動目標決定時に想起順となるように配列した。図 3 (b) は OK の例で、一般的に部屋として、台所や事務室が考えられることを示す。

非利用時に対象知識がどのような形式で保持されているかは不明であるが、利用等には構造化されていると考えられる⁷⁾。また、個人知識と一般知識を区別するのは対象メンバ知識のレベルであると考えられる。そこで、本モデルでは、個人知識の交換を容易にするために一群の対象メンバ知識を保持し、シミュレーション開始直前に OK として構造化する。

(3) 空間知識 (SK)

SK は、図 4 (a) のように、ブロック名、ブロックメンバ、ブロック関係知識から構成する。ブロック名

```

spatial-k (ブロック名,
  [ブロック・メンバ],
  [ブロック関係知識]).
ブロック関係知識:
[[ブロック(1), 距離(1), ルート知識(1)],
 :
 :
 [ブロック(n), 距離(n), ルート知識(n)]]
(a) 空間知識の表現形式

```

```

spatial-k (block 1,
  [elevator, cloak, lavatory, b-stairs],
  [[block 2, 1, [ ]],
  [block 6, 2, {block 2}],
  [block 3, 2, {block 2}],
  [block 7, 2, {block 2}],
  [block 5, 5, [{block 2, block 7},
  (block 2, block 6)]]],
  [block 4, 6, [{block 2, block 7, block 5},
  (block 2, block 6, block 5)]]]).
(b) 空間知識例 (ブロック 1)

```

図 4 空間知識

Fig. 4 Spatial knowledge.

は当該ブロックに任意につけた名前である。ブロックメンバはブロック内に位置する事物 (OK における対象メンバに相当) から成り、移動目標の位置の検索に用いる。配列順は任意である。ブロック関係知識は、当該ブロックと他のブロックの関係を、距離と両者間のルート知識により表現する。距離は近さの順序を示す数値により表現する。ルート知識は、目標ブロックに至るルート群から成る。ルート群でのルートの配列順序は距離の近い順序および想起されやすい順序である。図 4 (b) はブロック 1 の例である。

人間の空間知識は、誤った知識を含む場合があると思われるが、本モデルでは、物理的な空間知識の部分集合として表現しており、誤った知識は許していない。また、SK では個人知識のみ考慮した。これは、SK が当該空間に固有の知識から構成され、個人の経験に左右される部分が多いと考えられるからである。

3.2 短期記憶

短期記憶には、状況定義の結果得られる知識を一定期間保持する。PK は必要に応じて短期記憶の内容を参照し、条件部分の一部あるいは手続部分のデータとして使用する。短期記憶の知識表現形式は、知識内容によって異なる。図 5 は、移動目標および他に出口を知らないという状況定義およびブロック 3 での障害に

```

移動目標: object (exit, elevator, block 1, 3).
他の出口を知らない: not-know-another-exit.
障害の記憶: obstruction (block 3, smoke (2)).

```

図 5 短期記憶例

Fig. 5 Examples of short term memory.

situation (block 1, smoke (3)).
 situation (block 2, smoke (2)).
 situation (block 3, smoke (3)).
 situation (block 4, smoke (0)).
 situation (block 5, smoke (1)).
 situation (block 6, smoke (1)).
 situation (block 7, smoke (1)).
 situation (escape-chute, broken).
 (a) 火災場面情報

data (20, block 1, smoke (3)).
 data (15, block 5, smoke (1)).
 data (10, block 6, smoke (1)).
 data (10, block 7, smoke (1)).
 (b) シミュレーション・データ例

図 6 火災に関する情報
 Fig. 6 Information about fire.

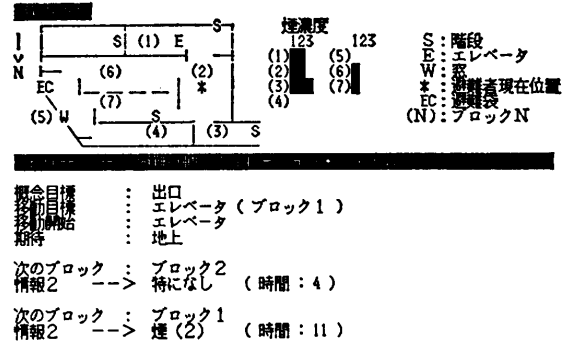


図 7 計算機端末への出力例
 Fig. 7 Example of terminal display.

関する状況定義の表現形式を示している。

3.3 インタプリタ

インタプリタは、知識の発火と短期記憶の書き換えを実行する。

知識の発火や書き換えは、おもに Prolog 自身が有するパターン・マッチング機能や assert, retract などのコマンドにより行う。たとえば、同一概念目標下で移動目標を変更する場合は、

retract (object (G,-,-,-)). (2)

により概念目標Gに関する移動目標知識を消去し、

asserta (object (G, O, B, F)). (3)

をプログラムの先頭に付加する。Oは新たな移動目標、Bはその位置するブロック、Fは熟知度を表す。

3.4 データベース

データベースは、物理的な空間データ、火災場面データ、水や新鮮な空気を得た場合の滞在時間の短縮時間および同短縮期間を扱う。また、煙中滞在時間の記録も行う。

物理的な空間データは、外界の状態を表現するもので、SK と同表現形式とした。

火災場面データは、特定時間における火災場面の進展あるいは脱出シュートなどの器具の状況を経過時間・ブロックごとに煙濃度や使用可能性などで表現した。同一ブロック内の煙濃度は、均一とした。図 6 (a)は火災認知 30 秒後の火災場面データである。左からブロックあるいは移動目標、情報内容を示す。smoke(3)は濃度3の煙 (数値が大きいかほど高濃度) を表現する。

3.5 制御部

制御部は、時間の計算、火災場面データの変更、入出力制御、目標到達の判断、避難行動の成功・失敗の

評価などを行う。

経過時間の計算は、個人特性であらかじめ設定された各種時間を、障害などの条件を考慮して、認知・行動の区切りごとに加算してゆく。この計算中は認知・行動は停止する。煙中滞在時間の計算は、煙のあるブロックに入った時点から計算を始め、煙のないブロックに到達すると0に戻す。また水や新鮮な空気のある場所に移動した場合の滞在時間の一定期間短縮や個人特性内の耐久時間の同一期間延長も行う。

火災場面データの変更は、図 6 (b)のようなシミュレーション・データに基づき、経過時間計算直後に行う。この図の内容は、左から経過時間、ブロックあるいは移動目標、情報内容である。

2.2 節の(1)で述べた、情報 1, 2, 3 は基本的には計算機端末から入力してもデータベース内にあらかじめ設定していてもよいが、本モデルでは、初期情報以外の情報 1 のみ計算機端末からの入力とし、他は火災場面データの参照という形式をとった。これは、火災場面データに整合性をもたせるためにはあらかじめ設定しておくほうがよいと思われたためと、情報 1 を端末入力とすることで状況はある程度自由に变化させたいためである。入力は英語で行う。出力は、計算機端末を上下に分割し、上に火災場面と避難者の位置および煙濃度を表示し、下をスクロール・モードとして概念目標や移動目標などを表示した。出力はすべて日本語表示である。実際の計算機端末の画面表示例を図 7 に示す。

目標到達の判断は、移動目標の位置するブロックへの到達により移動目標への到達と見なす。また、同一ブロック内の他の移動目標への移動は自由とした。

避難行動の成功・失敗の評価は、

- 1) 煙中滞在時間が耐久時間を越える、

- 2) 情報1に端末から time up を入力する,
場合に失敗とし,
- 1) 出口到達後情報3で障害がない,
 - 2) 出口に到達後障害にも係わらず一定回数出口に固執した,
 - 3) 情報1に端末から success を入力する,

表1 ESCAPE-II によるシミュレーション例
Table 1 Example of simulation by ESCAPE-II.

| | |
|------------------------|--------------------------|
| * 初期位置 | :: シート |
| * 初期ブロック | :: ブロック 6 |
| 情報1 | ---> 白煙 (ブロック 3, 時間 0 秒) |
| 状況定義 | :: 火災 |
| 概念目標 | :: 出口 |
| 移動目標 | :: エレベータ (ブロック 1) |
| 次のブロック | :: ブロック 2 |
| 情報2 | ---> とくになし (時間: 4 秒) |
| 次のブロック | :: ブロック 1 |
| 情報2 | ---> 煙(2) (時間: 11 秒) |
| 《現在ブロックより煙濃度が濃くないため移動》 | |
| 移動目標到達 | :: エレベータ |
| 現在位置 | :: ブロック 1 |
| 情報3 | ---> 煙(3) (時間: 24 秒) |
| 状況定義 | :: 障害1 |
| 情報1 | ---> とくになし (時間: 30 秒) |
| 概念目標 | :: 出口 |
| 移動目標 | :: 階段B (ブロック 1) |
| 移動目標到達 | :: 階段B |
| 現在位置 | :: ブロック 1 |
| 情報3 | ---> 煙(3) (時間: 39 秒) |
| 状況定義 | :: 障害1 |
| 情報1 | ---> とくになし (時間: 45 秒) |
| 概念目標 | :: 出口 |
| 《出口に関する知識なし》 | |
| 情報1 | ---> とくになし (時間: 51 秒) |
| 《ブロック1に水の得られる場所を探索》 | |
| 概念目標 | :: 水の得られる場所 |
| 移動目標 | :: 洗面所 (ブロック 1) |
| 移動目標到達 | :: 洗面所 |
| 現在位置 | :: ブロック 1 |
| 《水の得られる場所への到達による体力の回復》 | |
| 情報3 | ---> 煙(3) (時間: 60 秒) |
| 状況定義 | :: 障害1 |
| 情報1 | ---> とくになし (時間: 66 秒) |
| 《先行する移動目標に再び向かう》 | |
| 概念目標 | :: 出口 |
| 移動目標 | :: 階段B (ブロック 1) |
| 情報3 | ---> 煙(3) (時間: 75 秒) |
| | |
| 《階段 B に固執》 | |
| 移動目標 | :: 階段B (ブロック 1) |
| 情報3 | ---> 煙(3) (時間: 90 秒) |
| | |
| 移動目標到達 | :: 階段B |
| 現在位置 | :: ブロック 1 |
| 情報3 | ---> 成功 (時間: 121 秒) |
| *** 避難に成功しました! *** | |

場合に成功とした。失敗の場合の1)では情報1に, 成功の場合の2), 3)では情報3に, 自動的に time up あるいは success を入力する。

4. シミュレーション

以上のようなモデルを用いて, 具体的な避難行動の再現を試みた。避難事例は 1972 年5月の大阪千日前デパートビル火災⁹⁾におけるもので, 個人知識はパーソン・トリップから仮定した。また, 各パラメータは以下のようなほぼ妥当と思われる数値に設定した。

(火災場面) 文献8)に基づいて設定。

(煙濃度) 0, 1, 2, 3, の4段階。

(避難成功に要する移動目標固執回数) 煙濃度1で1回, 2で2回, 3で3回固執すれば煙を突破できることにした。

(煙中での耐久時間) 通常は煙濃度1で10分, 2で3分, 3で45秒煙中に滞在できる。

(水・新鮮な空気による煙中滞在時間変更) 煙濃度1で0秒, 2で10秒, 3で20秒に再設定される。ただし, 実際の滞在時間がこれより短い場合は0とした。

(耐久時間の延長期間) 煙濃度1で3分20秒, 2で2分, 3で10秒の間は, 水の効果が持続する。新鮮な空気の場合は, 濃度1で2分, 2で1分, 3で10秒効果が持続する。

(認知・行動に要する時間) 個人差・煙濃度・距離を考慮して設定した。特定の認知・行動に要する時間は, 同一個人・煙濃度であれば一定とした。

避難事例のなかから, ブロック1にあるB階段に固執し, そこから避難に成功した女性の行動を再現する。避難者は, まずエレベータに向かうが, 煙のため断念し, 次にしばしば用いるB階段からの避難を試みる。煙のため避難困難であったが, トイレでタオルを水に濡らし口にあてることで, B階段からの避難に成功した。表1はシミュレーションにより再現された避難行動をまとめたものである。'障害1'は移動目標に固有でない障害である。情報1のうち'とくになし'は, 本来は端末からの'no'という英語入力である。破線は同一移動目標固執のため認知・行動の繰り返しを省略した部分である。表には現れないが, 水を得た後B階段には3回固執し, データベースの設定に従って避難に成功している。紙面の都合上省略したが, 同様のシミュレーションを現在4例行っており, モデルの内的整合性を確かめている。異なる避難者のシミュ

表 2 ESCAPE-I によるシミュレーション例
Table 2 Example of simulation by ESCAPE-I.

| | | |
|--------------------|-------|----------|
| 情報 1 | ---> | 白煙 |
| 状況定義 | :: | 火災 |
| 概念目標 | :: | 出口 |
| 移動目標 | :: | エレベータ |
| 情報 2 | ---:: | とくになし |
| 移動目標到達 | :: | エレベータ |
| 情報 3 | ---> | 煙 |
| 状況定義 | :: | 障害 1 |
| 情報 1 | ---> | とくになし |
| 概念目標 | :: | 出口 |
| 移動目標 | :: | 階段 B |
| 移動目標到達 | :: | 階段 B |
| 情報 3 | ---> | 熱い |
| 状況定義 | :: | 障害 1 |
| 情報 1 | ---> | とくになし |
| 概念目標 | :: | 水の得られる場所 |
| 移動目標 | :: | 洗面所 |
| 移動目標到達 | :: | 洗面所 |
| 情報 3 | ---> | 煙 |
| 概念目標 | :: | 出口 |
| 移動目標 | :: | 階段 B |
| 情報 3 | ---> | 煙 |
| | | |
| 《階段 B に固執》 | | |
| 移動目標 | :: | 階段 B |
| 情報 3 | ---> | 煙 |
| | | |
| 移動目標到達 | :: | 階段 B |
| 情報 3 | ---> | とくになし |
| *** 避難に成功しました! *** | | |

レーションは、個人知識と個人特性を変化させることで実現した。なお、本モデルは DEC-10 Prolog (エジンバラ大学版) を使用しており⁹⁾、DEC 2060 上でシミュレーションを行った。また、表 1 のシミュレーションに用いた一般知識は 200、個人知識は 54 (手続的知識 36、対象知識 10、空間知識 8) で、プログラム全体の大きさは 19,480 ワードである。ESCAPE-II ではこの程度の数および抽象度の知識により一応妥当と思われるシミュレーション結果を得ている。より細かな認知・行動特性については今後の心理学などの成果を待つ必要がある。新たな知識の追加は、知識をプロダクション・ルール形式で表現しているため、従来のシミュレーション・モデルに比べて容易に行えるものと思われる。計算時間は対話的使用ではまったく問題がない。また、時間的により長いシミュレーションを行う場合には火災場面データを変更することで、空間的により広い火災場面でのシミュレーションは空間知識と火災場面データを変更することで容易に行える。

表 2 は、表 1 と同じ避難例に関する ESCAPE-I によるシミュレーション結果をまとめたものである。たとえば、水を求める場合、表 2 では水を得られる場所と現在位置との関係を考慮していない。したがって、難れた場所であっても水の得られる場所を移動目標とする可能性がある。しかし、現実には、そのような余裕はないと思われる。表 1 では、現在ブロックに水の得られる場所があるかどうかを調べるという方略を明示している。また、時間経過の表示や移動の表現などの点において、表 1 のほうが優れていることがわかる。

5. あとがき

空間や時間を考慮した避難行動シミュレーション・モデル ESCAPE-II について述べた。本モデルは火災状況シミュレータとの結合も可能である。本モデルを用いて具体的な火災場面における避難事例のシミュレーションを試みた結果、満足すべきものであった。ESCAPE-I に比べ認知・行動の説明力が増したことにより、より細かな避難行動の分析が可能になったことが確認された。今後、知識追加機能や表示・説明機能をよりフレンドリーなものにしてゆきたい。現時点では認知・行動に関する十分な知識がない状態であるが、これらを改善し、本論文に述べたようなアプローチを進めることにより、知識を体系化してゆくことが可能であると思われる。

謝辞 最後に、日頃よりご教示いただいている三菱電機(株)中央研究所の上村勝彦博士、武田捷一博士に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 仁木直人: 避難行動モデルとコンピュータ・シミュレーション, 被災状況における避難行動の予測と制御に関する研究, 自然災害科学総合研究班, pp. 125-175 (1984).
- 2) 田村信介, 堀端康善, 角 忠夫: ビル火災時の避難誘導シミュレータの試作 (効用理論に基づく群集挙動解析と圧縮性混合流体モデルによる煙流動解析), 電気学会論文誌 C 分冊, Vol. 103, No. 3, pp. 67-74 (1983).
- 3) 安西祐一郎他: LISP で学ぶ認知心理学 (1) 学習, 東京大学出版会, 東京 (1981).
- 4) 仲谷善雄, 荒屋真二: 情報処理的アプローチによる避難行動シミュレーション, 計測自動制御学会論文集, Vol. 20, No. 3, pp. 223-240 (1984).
- 5) Kuipers, B.: Modeling Spatial Knowledge, *Cognitive Science*, Vol. 2, No. 2, pp. 129-154

- (1978).
- 6) 松田文子：時間知覚，新版心理学辞典，pp. 292-295，平凡社，東京（1981）。
- 7) Norman, D. A. : *Memory and Attention*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York (1976)
(富田他（訳）：記憶の科学，紀伊国屋書店，東京（1982））。
- 8) 安倍北夫：パニックの心理，講談社，東京（1974）。
- 9) Pereira, L. M. et al. : *User's Guide to DEC-system-10 Prolog*, Univ. of Edinburgh, Edinburgh (1978).

(昭和59年7月5日受付)

(昭和59年12月20日採録)
