

認知地図の計算機モデル

中西 博 中村 孝 豊田 順一

(大阪大学産業科学研究所)

認知地図 (Cognitive-Map) とは、主体が空間の中で移動し外界を探索するときの活動空間の認知的表象を言い、空間的移動をともし行動はこの枠組みの中でプランニングされる。

筆者らは、認知地図のモデル化にあたり「スキーマ」という概念を導入し、これまで画像イメージとしてとらえられてきた認知地図を記号レベルでモデル化することを提案している。

本報告では、認知地図の概念モデルの詳細と、その計算機シミュレーションのための計算機モデルについて述べる。

Computational Model of Cognitive-Map

Hiroshi NAKANISHI, Takashi NAKAMURA and Jun'ichi TOYODA

OSAKA University

The Institute of Scientific and Industrial Research

8-1, Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567 JAPAN

Cognitive representation of space where people move and search objects is called Cognitive-Map. People plan their own spatial movement by using Cognitive-Map.

In this paper, we present an approach to detailed conceptual model of Cognitive-Map and S³(Schema Simulation System). In the field of Cognitive Science, Cognitive-Map is considered as a picturesque image with which experiences and happenings are associated. Because of many problems of image understanding, it is considered to be very difficult to simulate cognition of space with a computer. To avoid these difficulties, we introduce the concept of "Schema" which represents a symbolized model of Cognitive-Map. "Schema" is a active object which contains data and procedures, such as "Actor" proposed by Hewitt. By using this conceptual model, a movable robot can construct a flexible map.

1. はじめに

認知地図 (Cognitive-Map) とは、主体が空間の中で移動し外界を探索するときの活動空間の認知的表象を言い、空間的移動をともなう行動はこの枠組みの中でプランニングされる。

従来、認知科学の分野では、認知地図は経験や出来事に対応した画像イメージであるとするのが一般的であった。それゆえ計算機上で人間の空間認知のシミュレーションを行うのは、画像理解の問題が関わってくるので、非常に困難であるとされてきた。

筆者らは認知地図を、地図を構成する個々の要素 (街路地図ならば、道路や建物など) がそれぞれ独立に機能し、全体としてひとつの情報処理機構を成すものであるととらえることにより、記号としての認知地図の議論が可能であることを示した。そして「スキーマ」という概念を導入し、それを用いて計算機シミュレーションを目的とした認知地図の概念モデルを提案した。²⁾

本報告では、まず認知地図とは何かについて説明し、次に記号レベルでの認知地図の概念モデルについて述べる。さらにその概念モデルを計算機上にインプリメントした認知地図の計算機モデルについて述べ、最後に認知地図モデルの応用についても述べる。

2. 認知地図

認知地図とは、もともとゲシュタルト心理学の用語で、人間の空間認知をあらわす枠組みとして E.C.Tolman (1948) が最初に用いた。それ以来、認知地図とは何かという問題について、Evans や Byrne など多くの人がそれぞれの立場で様々な学説を発表している。しかしながら、そのどれもが概念論で終始しており、計算機上でのシミュレーションが可能な認知地図のモデル構築を試みた例はない。

2.1 主観的地図

認知地図は、環境を心に描いた絵のようなものであり、生活行動によって無意識的に形成される主観的な地図である。たとえば、15世紀の大航海時代にヨーロッパ人が描いたジパングの地図は、実際の日本列島に比べ非常に歪曲されている。当時のヨーロッパでは日本に関する情報がほとんど入ってこなかったため、認知地図の形成には彼らの主観が大きく影響した。それゆえ、その認知地図を用いて描かれたジパングの地図は、実際と大

きく食い違ったものとなったのである。

また認知地図は、単に行動によって形成されるだけでなく、次の行動のプランニングにも無意識的に使用される。

2.2 記号としての認知地図

自分の部屋を想起する場面を考える。部屋全体を想起している間は、机の上ののっているペンなどの小物類や、本箱の中に入っている本の題名までは見えない。次にペンを取るという動作を想起するため机に注意を向けると、その瞬間、視点が机の上に移動し、目的のペンを見つけることができる。しかし、もはやこの時には部屋全体は見えなくなっている。

一般に、人間が想起する「イメージ」は細部が不完全である。そして細部に注目すると、注目した細部が新しい全体となり、その細部はやはりぼやけている。このように、人間は全体と細部を同時に認識するのは困難である。

そこで、以下のような仮定を行う。

- ・「イメージ」の細部が不完全であるのは、「イメージ」が写真のような画像イメージそのものではないことを表す。
- ・つまり、人間は自らの意識の表層に画像イメージとして「イメージ」を構成することができると感じているが、実はその「イメージ」は記号で表現可能な非常に抽象化されたものである。
- ・個々の記号は「イメージ素」とでもいうべきものであり、それらが脳の視覚野に働きかけ、結果として人間は「イメージ」を画像イメージのように感じる。

本報告では、このような仮定に基づき、記号としての認知地図の概念モデルを構築する。

2.3 ネットワーク地図とベクトル地図

ベクトル地図とは、地図の要素同士の関係を方向と距離を用いて表したものであり、グラフ用紙にプロットすることによりあらわすことができる図形としての地図である。図形は、座標を用いてあらわすことができるので、記号での表現が可能である。

一方、ネットワーク地図とは、地図を構成する要素間の関係を記述した一種の意味ネットワークである。

本報告では、認知地図をネットワーク地図とし

てとらえる。

3. 認知地図の概念モデル

認知地図の概念モデルの基本的な枠組を、スキーマと呼ぶことにする。以下、スキーマの概念を述べ、その後、スキーマの働きであるゲシュタルト（まとまりの認知）とパースペクティブ（多義性）について述べる。

3.1 スキーマ

スキーマとは、手続きを合わせ持つデータ構造である。1つのスキーマは、原則として地図の構成要素（道路や建物、地域、鉄道など）の1つに対応する。もし構成要素が固有名詞（名称）を持てば、それをスキーマの名前とする。

また、構成要素間の関係も構成要素と同様にスキーマで表現する。この場合のスキーマを「関係スキーマ」と呼ぶ。（図1）

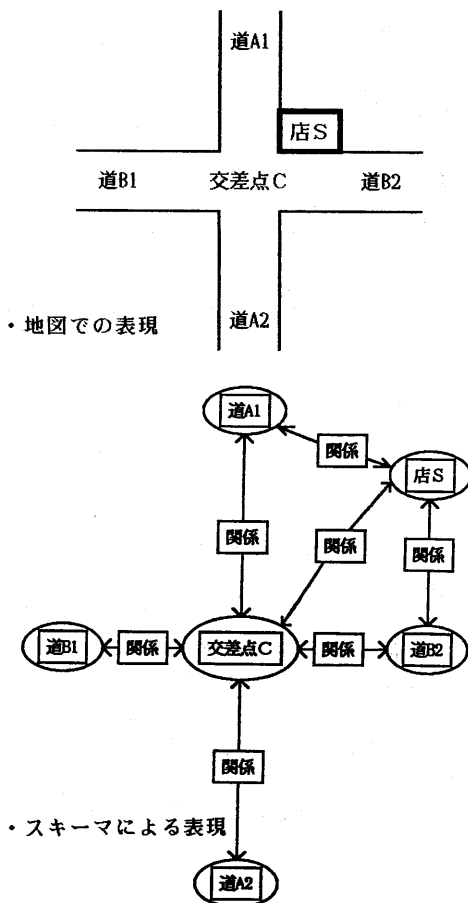


図1 地図での表現とスキーマによる表現

3.1.1 スキーマの包含関係

町をあらわすスキーマは、その町を構成する道路や建物をあらわすスキーマを包含する。ところで、峠が県境となっている山を考えてみる。この山をあらわすスキーマは、両方の県に含まれる。

（図2） このように、スキーマの集合は構造を形成するが、それは階層構造ではなく、ベン図のように包含関係であらわされる構造である。この構造を包含構造と呼ぶ。

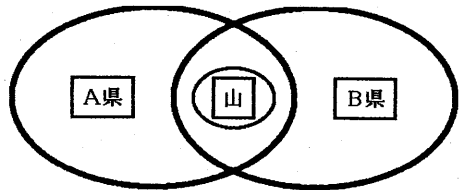


図2 スキーマの包含関係

3.1.2 認知地図スキーマ

道路、道路の連なりとしての経路、建物、建物の集まり、それらの間の関係、そしてこれらの集まりとしての都市や地域などは全てスキーマである。また、認知地図全体も1つのスキーマとしてあらわされる。これを「認知地図スキーマ」とよぶ。「認知地図スキーマ」は認知地図の基本的な枠組みであり、地図の構成要素を表すスキーマが何もない認知地図の初期状態においては、この「認知地図スキーマ」だけが存在する。（図3）

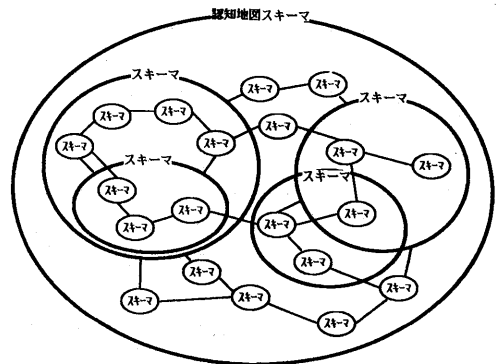


図3 認知地図

3.1.3 スキーマの属性

スキーマの持つデータを、スキーマの属性と呼ぶ。地図の構成要素の住所や種類などの様々な情報、また「関係スキーマ」があらわす関係（どういふふうに接しているかなど）がスキーマの属性となる。

たとえば、ある「書店」をあらわすスキーマの属性としては「建物、店、書店」などが考えられる。

3. 1. 4 スキーマの手続き

スキーマが基本的に持つ手続きは、以下の4つである。

- 1) 自分以外のスキーマの属性の参照
- 2) 自分および他のスキーマの属性の更新
- 3) 自分および他のスキーマの手続きの更新
- 4) 新しいスキーマの追加

これらの手続き以外にも、個々のスキーマはそれぞれ独自の手続きをあわせ持つ。全てのスキーマは、手続き 1) を常に実行している。1) 以外の手続きには、それが起動される条件として属性パターンが対応している。手続き 1) により参照した他のスキーマの属性と、自分の持つ手続きの起動条件が一致すれば、その手続きは起動される。一致する起動条件を持つスキーマが複数存在すれば、それらのスキーマの手続きは並列に実行される。

このように多数のスキーマの持つ属性の組合せにより、あるスキーマが手続きを起動し、その手続きによりスキーマの追加、更新が行われ、それにより新たな属性の組合せが出現するというサイクルにより処理が進む。

スキーマの動作は、メッセージパッシングで処理が進むアクターモデルやオブジェクト指向モデルとよく似ている。しかし、このスキーマモデルは手続きの起動方法が全く異なる。アクターモデルやオブジェクト指向モデルは、メッセージの送り手がメッセージの受け手に手続きの起動を要請する。それに対し、スキーマモデルにはメッセージが存在しない。スキーマの手続きは、他のスキーマにより起動されるのではなく、まわりの状況（他のスキーマの属性の組合せ）が自分を必要とする（属性パターンと一致する）と、スキーマは自分で必要な手続きを起動する。

3. 1. 5 意図スキーマ

認知地図への入力データにあたるのが「意図スキーマ」である。「意図スキーマ」は、ただ1つの手続きを持つ。その手続きを「意図スキーマ」の「意図」とよぶ。「意図」には以下の2つがある。

- ・スキーマの追加
- ・認知地図に対する検索要求

また、通常「意図スキーマ」は「意図」の対象となるスキーマを包含する。

次に、認知地図への新しいスキーマの追加を例に、スキーマの動作を説明する。この場合、スキーマの追加という「意図」と新しいスキーマC、および、それと関係のあるスキーマAを包含した「意図スキーマ」を認知地図に与えればよい。すると、以下の順にスキーマが動作する。（図4）

- 1) 認知地図中のスキーマAを包含するスキーマBが、「意図スキーマ」に反応する。
- 2) 認知地図中のスキーマAが、「意図スキーマ」のスキーマAに反応する。
- 3) 認知地図中のスキーマAは、スキーマBに包含されるようにスキーマCを追加する。

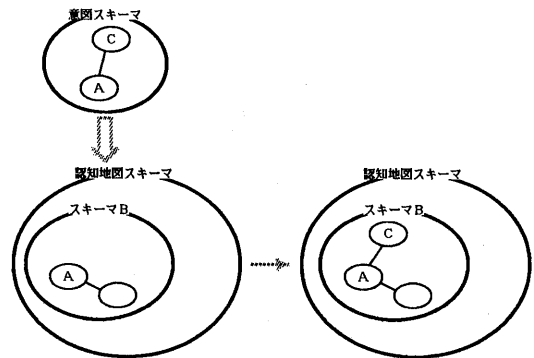


図4 スキーマの追加

3. 2 ゲシュタルト

ゲシュタルトとは、「まとまり」を意味する言葉である。ここでは、地域としての道路や建物のまとまりをあらわすスキーマの包含構造をいう。つまりスキーマの包含構造は、学習における群化の概念に相当する。認知地図において、「まとまり」すなわちスキーマの包含構造が形成される場合として、以下の2つが考えられる。

まず1つは、地図などを見て地理的なまとまりを認識する場合である。たとえば、新宿付近の地図を見た場合、新宿駅の西側にある高層ビル群を1つのまとまりと認識する事ができる。これは、「ビルのスキーマを包含するような新しいスキーマを追加する」という「意図」を持った「意図スキーマ」を認知地図に与える事で説明できる。

もう1つは、経験的にまとまりを認識する場合である。例えば、秋葉原の電器屋街は地図上でははっきりせず、実際にそこに行ってみなければ電器屋街として認識するのは困難である。これを説明するためには、「意図スキーマ」が認知地図に与えられるのではなく、認知地図を外から眺め、認知地図中のスキーマにまとまりが生じてくると、それらをまとめあげようと働きかけるスキーマ、すなわち、ゲシュタルトを担うスキーマが存在すると考える必要がある。このスキーマを「ゲシュタルトスキーマ」とよぶ。「ゲシュタルトスキーマ」は「認知地図スキーマ」の外側に存在する。たとえば、この「ゲシュタルトスキーマ」は、秋葉原駅の近傍で電器屋のスキーマの密度が高くなると、それらを包含するような電器屋街のスキーマを認知地図に追加する。(図5)

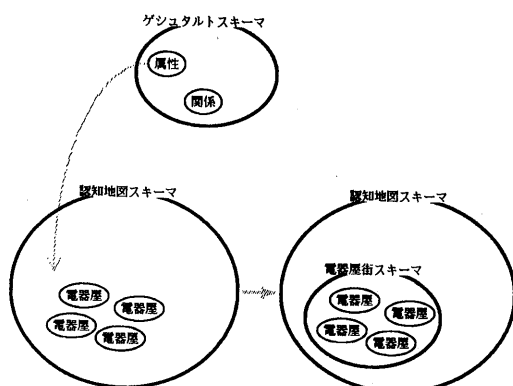


図5 ゲシュタルトスキーマの働き

3.3 パースペクティブ

道や建物など現実に存在する物同士の間には、一般に複数の関係が考えられる。たとえば、国道という関係を持つ道の連なりが、同時にその一部が大学への通学路という関係を持ち、また毎日焼芋屋が通る道であるという関係をもあわせ持つ場

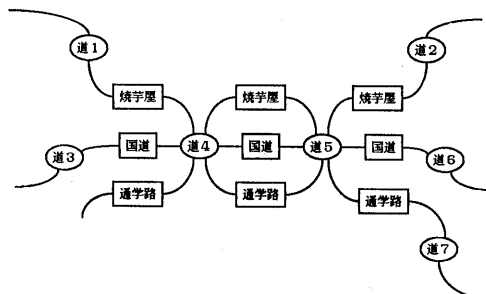


図6 パースペクティブ

合が考えられる。(図6) この場合 道4 と 道5 をあらわすスキーマは、認知地図の検索の際、キーとする「関係スキーマ」を、国道としても通学路としても焼芋屋としても検索される。このような同一スキーマの多義性を、パースペクティブとよぶ。

3.4 あいまい性

包含構造と「関係スキーマ」とを用いて、あいまい性をあらわす事ができる。ここで言うあいまい性とは、

- ・複数考えられるうちのどれか1つが正しい。
- ・あるスキーマが実際に存在するかどうか分からない。

の2つをさす。

店Sは 道A1 と 道B1 にはさまれた交差点の角にあるか、道A1 と 道B2 にはさまれた交差点の角にあるかどうかである、という場合のスキーマの関係を以下に示す。(図7)

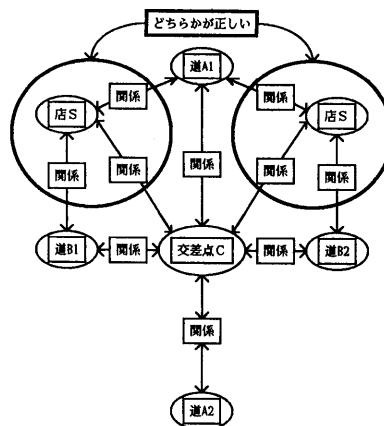


図7 店Sの位置

次に、店Sが存在するかどうか分からないという場合のスキーマの関係を以下に示す。(図8)

4. 認知地図の計算機モデル

ここでは、3. で述べた認知地図の概念モデルの計算機シミュレーションについて説明する。このシステムをS³ (Schema Simulation System) と呼ぶ。スキーマの仮想的並列実行をおこなうメカニズムは、タイムシェアリングシステムのプロセスの並列実行のメカニズムとほぼ同じである。

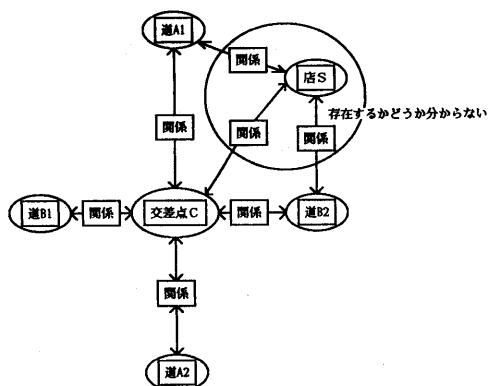


図8 店Sの存在

4.1 S³ の構成

図9に S³ の構成を示す。以下、図中の各部分について説明する。

4.1.1 スキーマ

スキーマは、スキーマ名と包含リスト、属性リストおよび手続きリストを持つ。包含リストは、そのスキーマが包含する他のスキーマへのポイントのリストである。属性リストは、そのスキーマが持つ属性へのポイントのリストである。手続きリストは、そのスキーマが持つ手続きへのポイントのリストである。

4.1.2 属性

属性リストは、全てのスキーマが持つ属性の集合和である。属性はシステムに固定されたものではなく、「意図スキーマ」を用いて新しい属性を

追加することが可能である。このように、S³ と外部とのインタラクションにより、S³ が扱える属性は事実上制限がない。

4.1.3 手続き

スキーマの持つ手続きは、基本命令の列により構成される。それぞれの基本命令は、インタプリタによって解釈される。インタプリタは、基本命令に応じてスキーマを操作する。

また、複数のスキーマ間での手続きの受け渡しや、「意図スキーマ」を用いた認知地図への新しい手続きの追加が可能である。

4.1.4 インタプリタ

インタプリタは、基本命令を解釈実行する。基本命令には、以下の6つがある。

- ・属性パターンに一致するスキーマの探索
- ・スキーマ管理テーブルへのスキーマの追加
- ・スキーマの包含リストの参照および更新
- ・スキーマの属性リストの参照および更新
- ・スキーマの手続きリストの参照および更新
- ・認知地図モニタ（後述）へのスキーマの出力

4.1.5 認知地図モニタ

認知地図モニタは、S³ と外部とのインタフェースの働きをする。認知地図モニタの機能は、以下の3つである。

- ・認知地図への「意図スキーマ」の入力
- ・認知地図から出力されるスキーマの表示

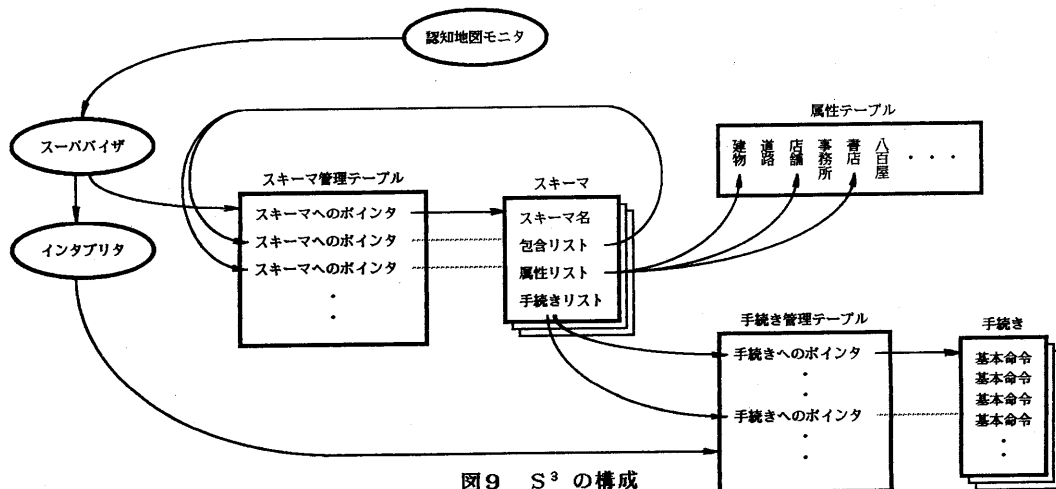


図9 S³ の構成

・認知地図のスナップショットの表示

認知地図のスナップショットの表示は、全てのスキーマのスキーマ名、包含リスト、属性リスト、手続きリストおよび現在実行中の手続きを表示する。この機能は、「意図スキーマ」の入力がかならずともスキーマの出力をもたらさないで、認知地図の動作確認のため必要である。

4. 1. 6 スーパーバイザ

スーパーバイザは、認知地図中の全てのスキーマを管理しているスキーマ管理テーブルをもとに、インタプリタにスキーマの手続きの実行を、わりあてる。

また、認知地図モニタからの「意図スキーマ」の入力を受けつけ、それをスキーマ管理テーブルに追加する。

4. 2 S^3 の動作

S^3 の動作は、認知地図モニタからの「意図スキーマ」の入力をきっかけとして始まる。「意図スキーマ」が入力されると、スーパーバイザはそれをスキーマ管理テーブルに登録する。

「意図スキーマ」の手続きの起動条件をみたす属性の組合せが、既に認知地図中に存在すれば、インタプリタはその手続きを実行する。

「意図スキーマ」の持つ属性が認知地図に加わったことにより、既存のスキーマの手続きの起動条件がみたされれば、インタプリタはその手続きを実行する。

一般に、手続きの実行により、スキーマの持つ属性は変化する。新たな属性の組合せが、あるスキーマの手続きの起動条件をみたせば、インタプリタはその手続きを実行する。このようにして、認知地図中に実行可能な手続きを持つスキーマがなくなるまで、インタプリタにより手続きの実行がくりかえされる。

5. 認知地図モデルの応用

機械工学の急速な進歩により、移動能力をそなえた自立型ロボット（以下、これを移動型ロボットと呼ぶ事にする）が実用になろうとしている。一般にロボットはマップと呼ばれる外界のモデルを持ち、その行動はこの枠組みの中でプランニングされる。

従来の設置型ロボットのマップは、自分の周囲やせいぜい自分が設置されている部屋の中だけで

あるので、あらかじめ予測可能であり固定することができた。したがって、ロボットがその内部に持つマップは、現実の世界をそのまま記憶領域上に写像したものでよい。（図10）この様に固定されたマップを、「閉じた世界」と呼ぶ事にする。

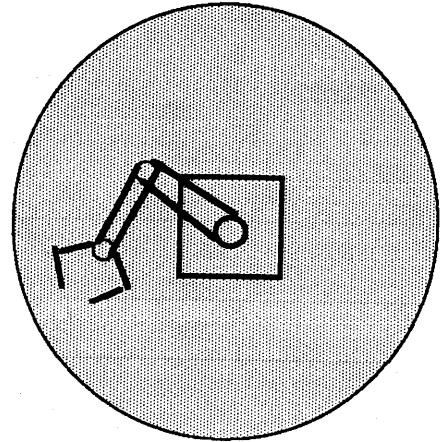


図10 設置型ロボットのマップ

それに対して、移動型ロボットのマップは「開いた世界」である。ロボットは外界からの情報を元に判断し移動するので、マップの全体をあらかじめ予測することは不可能である。また、このロボットが、離れた机の上ののっている靴の中の物を取り出す、という場面を考えてみる。まず、ロボットが机に向かって移動する時には「室内」という縮尺のマップが必要である。そして、机の上の靴をつかむ時には「机」レベルのマップが必要であり、靴の中身を取り出す際には「靴」のマップが必要である。（図11）

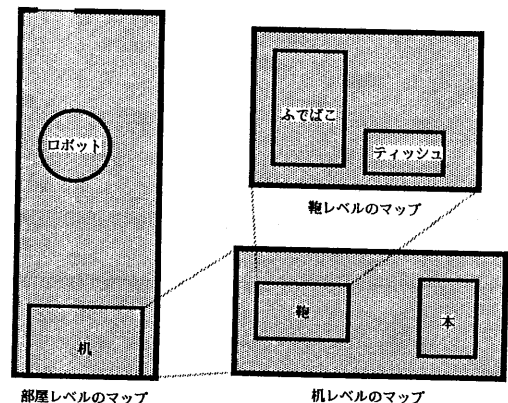


図11 移動型ロボットのマップ

この様に、移動型ロボットは様々なレベルのマップを持ち、かつそれらを統合して利用する必要がある。それぞれのマップの大きさは、認識する対象の増加と共に拡大する。また、ロボットが初めて室外に出た時には、さらに大きなレベルの「建物」という新たなマップが必要である。逆に靴の中に入っているふでばこを取り出し、続けて、ふでばこの中のえんぴつを取り出す時には、さらに小さな「ふでばこ」レベルのマップが必要である。したがって、移動型ロボットには自己のマップを形成する能力、つまり「開いた世界」の認識と、そこにおける学習メカニズムが備わっていないなければならない。

同様に、地図データベースにおいても、人間の思考に近い柔軟な検索を実現するためには、データ構造として固定したマップを持っていたとしても困難である。ここでも、やはり「開いた世界」を扱う事が可能であることが不可欠である。

本報告で述べた認知地図の概念モデルでは、スキーマというアクティブなデータ構造の概念を導入することにより、データ構造それ自身による情報の獲得とその体制化が可能である事を示した。したがって、このような「開いた世界」のモデルを十分に扱うことができる。

6. むすび

以上、記号レベルでの認知地図の概念モデル、および計算機シミュレーションのための認知地図の計算機モデルについて述べた。

今後は、S³ の計算機上へのインプリメントを完了し、その動きの評価を行う予定である。

謝辞

有益な御助言をいただいた大阪大学産業科学研究所上原邦昭助手に深謝します。

参考文献

- 1) 中西他：人間の空間認知モデルに基づく道案内システム—地理的イメージの生成—, 情報処理学会第32回全国大会, 1986.
- 2) 中西他：認知地図に対する計算機モデルの提案, 日本認知科学会第3会大会, 1986.
- 3) 西本武彦：認知心理学への招待, 認知心理学=2, サイエンス社, 1984.
- 4) Lynch：都市のイメージ, 岩波書店, 1968.
- 5) 平賀譲：間違いの科学, bit Vol.15, No.10, pp. 98-104.

6) Rumelhart: Analogical Process and Procedural Representations, CHIP Technical Report 81, 1979.

7) Neisser: 認知の構図, サイエンス社, 1985.

8) Rumelhart: 人間の情報処理, サイエンス社, 1979.

9) 玉野他: 認識と行動, 培風館, 1985.