

類似例を用いた図形のマンマシン系による教示†

安部 憲 広^{††} 西田 好 宏^{†††} 辻 三 郎^{††}

われわれ人間はさまざまな情報源を活用して物事を認識したり理解したりしている。人工知能システムも同様な情報を利用することなしに、より知的な行動をとることはできないだろう。そこでわれわれは利用できる情報源のうちからとくに知識の利用獲得にとって不可欠と考えられる言語と画像とを組み合わせさせたシステム作りを行ってきた。しかし現実的なサイズの人工知能システム作りを阻害するものとして、必要な情報の獲得—いまの場合は言語処理、画像処理に要求される知識の獲得—が容易でない点をあげることができる。従来これらは人手により作成されていた。それゆえ小規模システムにとどまらざるをえなかった。われわれ人間は既知の物を参考としつつ、未知の物を学習することにより成長してゆく。計算機にも同様な方法で物事が教示できれば、計算機内部での知識表現にとらわれることなく、容易に計算機に新しい知識を与えることができよう。このような観点から、2次元図形のモデルを、それに類似した例から作るシステムを試作した。類似例を用いたとしても、くい違ふ点はたくさんあり、計算機はそれを訴え、その訴えに基づいて人が教示を行うという形式でモデルの構築を行う。システムには不完全な点も多いが、システムの発展性など今後検討する価値ある問題点も指摘した。

1. ま え が き

われわれは文献1), 2) において言語・画像情報を用いたシステムについて報告した。そこではわれわれの日常的行為は単一の情報源ではなく、さまざまな資源を利用しているとの認識にたち、言語および画像情報の活用を提案した。現在の人工知能技術では、計算機の行いうる画像処理には、対象発見を容易にするための何らかの援助が必要である。われわれはこの点に言語情報が寄与できることを上記の文献で示した。

しかしこのシステムにとって、対象同定に用いる対象モデルをいかにして記述するかが問題として残された。現在の人工知能システムのもつ問題点の一つに、処理の基本となる知識の賦与に多大の労力を必要とする点があげられる。人は経験に伴い対象を次々と学習してゆくことができる。物体構造の学習に関してはWinston³⁾をはじめとする多くの研究が行われている。それらの多くは自律的学習を目的としている。しかしその能力は簡単な事例の学習にとどまっている。教示されることによる学習は自律的学習に比べて問題解決能力は劣るが、学習時に生じるさまざまな問題点が教師の助言によって解決できるという点で、実用的観点からは有望と考えることができる。

本研究では、対象同定に必要なモデルの作成を手本を参照することにより行う。したがって本研究では、あるクラスに属する対象の少なくとも1個はシステム設計者の手による詳細モデルが計算機内に記憶させられていることを前提とする。それを手本として、未知対象が同定できるように、教師の助言を用いて正しいモデルを作成する。既知物を手本とする教示を行うことにより、同種類の対象に対しては同種の構造記述が得られるという利点がある。既知物と独立に記述を与えると、教示者の構造のとらえ方に差異がある場合には、異なる構造化を生じる危険性が高い。そうすると類似した物同士を比較することが困難となる。もちろんシステムの提示する対応づけを教師が次々と否定し、システムと異なる観点から対応づけを教示すれば、その時点までに獲得された物体モデルの類似関係を危うくする事例を獲得する危険性がある。現在のシステムは、教師の類似概念に大きな差異はなく、教師は虚偽の手本を引用しないと前提のもとに成立していると考えてよいが、この前提は非現実的なものではない。

2. 教 示 系

図1に系の概略を示す。システムはマンマシン系であり、未知対象が出現すると対話が起動される。たとえば図2では OJIRO が出現するが、OJIRO が未知であるとしよう。OJIRO は図の右側の図形であるが、OJIRO の候補が図中の机や時計でないことは系にもとめさせる。もちろん教師が助言してもよい。この例の場合、手本として OBAQ を教えるので、もし図中

† Learning of Pictures Using Similar Examples in Man and Machine System by NORIHIRO ABE (Department of Control Engineering, Faculty of Engineering Science, Osaka University), YOSHIHIRO NISHIDA (Mitsubishi Electric Corporation) and SABURO TSUJII (Department of Control Engineering, Faculty of Engineering Science, Osaka University).

†† 大阪大学基礎工学部制御工学科

††† 三菱電機(株)

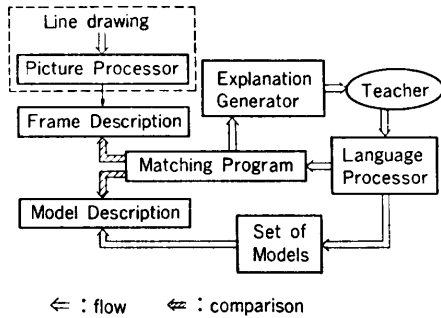


図1 システム全体図 (破線部は旧システム部)
Fig. 1 A System organization (A part enclosed by broken line denotes an old system).



図2 OJIRO と OBAQ のいる情景
Fig. 2 A scene including OJIRO and OBAQ.

に OBAQ と同形の図形があればそれを OJIRO の候補と誤る可能性がある (図2に描かれている OBAQ 自身を OJIRO の候補とすることはこの例では生じない。それは既出の対象から先に探すことが前提としているからである。文献1)を参照。しかし特殊な場合には OBAQ 自体を候補とする危険性はある)。このような場合は、教師の助言がなければシステムは誤ったモデルを作成してしまう^{*}。詳細は7章で述べる。正しい候補の選択ができると、手本の記述を対象の初期モデルと考え、モデルと対象との照合を試みる。照合に成功すると、対象のモデルが作成され、両者は類似関係で結合され以後の学習時に参照される。この類似関係の利用は後述する。もし照合時に一致しない部分が発見されかつ、それが類似関係を利用しても解決できない場合、システムは教師に質問する。この場合、システムは教師に、対象とモデルとの差異を具体的にわかりやすい形式で指摘できなければ、教師は未知対象と類似物との差異についてすべてを教示しなければならなくなる。教師とシステムの知識レベルには明らかな差異があるため、教師の指示がつねに正しい

^{*} このような場合、別の手本を教師が提示することが考えられるが、本システムは、教師の手本を正しいとの立場にたっているため、この方法は用いていない。しかしシステム自体に手本の候補を提示させることも含めてこの点は検討すべき重要問題の一つである。

と仮定しても、指示が不十分である可能性は非常に高い。したがって、システムがどこで照合に失敗しているかを明確に伝達する機能は本学習系にとり必須の要件である。

3. 類似の概念

人はXとYが類似しているというとき、どの点がどのように似ているかを経験的に知っている。したがってその他の部分での差異は類似関係成立を疎外する原因と考えず、そうした特徴を無視することができる。同様な能力を本学習系にも期待したいが、現時点ではこの点についてはほとんど何も考慮していない。十分に学習経験を積み、類似関係を整理することにより、類似関係成立の基本条件をもとめなければならないが、これは本研究の対象外とする。この点については Winston^{(4),(5)} が直喩を用いて類似関係を同定する実験を行っている。しかしこれは本学習系に直接応用することはできない。また彼の学習系は自律的学習系である点からも、本研究とは考え方がまったく異なっている。自律的学習では、学習に効果的と考えられる例を順次提示してゆくが、実際のマンマシン系でそのような設定が可能とはいえない。未知物は過去の学習経験と独立に出現するのが普通である。こうした点から、本学習系が学習を開始する時点での、類似概念に対する適切な設定を行うことが非常に重要となる。この点について、次の仮説をたてる。

未知図形Bが、手本図形Aに類似するとは、図形Aの部分集合を $\{p_{Ai}\}$ 、図形Bの部分集合を $\{q_{Bj}\}$ とし、 p_{Ai} 、 q_{Bj} を含む領域をそれぞれ $R_{p_{Ai}}$ 、 $R_{q_{Bj}}$ とするとき、

- (1) 教師がAとBとが類似していると宣言する。
- (2) $\exists i, j R_{p_{Ai}} \Leftrightarrow R_{q_{Bj}} \wedge p_{Ai} \Leftrightarrow q_{Bj}$
- (3) $\exists i, k p_{Ai} R_{p_{Ak}} \Rightarrow \exists j, l, p_{Ai} \Leftrightarrow q_{Bj} \wedge p_{Ak} \Leftrightarrow$

$q_{Bl} \wedge q_{Bj} R_{q_{Bl}}$ ただし \Leftrightarrow は対応関係を示す。

簡単にいえば、教師が手本を示したとき、手本と未知物体の両者の同じような場所に同じような物があるならば、二つの物は類似しているという仮定である。

しかし実際上の問題として、 p_{Ai} 、 q_{Bj} 、 $R_{p_{Ai}}$ 、 $R_{q_{Bj}}$ やその対応づけの設定が必要である。この点は本研究の照合法と密接な関係をもつため4, 6章で述べる。

もし $A=B$ ならば(2)、(3)は $\{p_{Ai}\} \{q_{Bj}\}$ のすべての要素に対して成立する。たとえば前述したように OJIRO の候補として OBAQ を選べば、モデルも OBAQ であるから、この場合になる。しかし正しく

OJIRO の候補を発見していれば、(2), (3)がいくつかの部分図形に対して成立するだけである。一致しない部分については、教師からの助言によって解決しなければならない。上記の類似の定義に従えば、(2), (3)の条件がごく一部の部分図形に対してのみ成立する図形同士も類似すると教師は宣言できる。家には戸や窓があるが、その位置的制限はあっても、あまり強い制限ではないし、個数の制限はさらに弱い。こうした場合は、未知物の定義の大部分は教師の助言により決定されることになる。

4. 表現の問題

われわれのもっている知識には周知のように、表が適しているものもあれば、グラフやリストそしてフレーム表現が適しているものもある。しかし類似している物が異なる表現形式により記述されていたり、クラスにより記述形式が異なるなら、照合過程は非常に

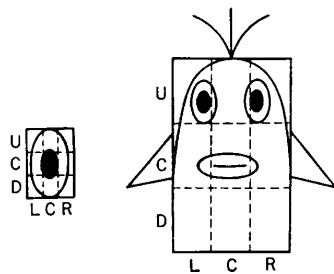


図3 図形に対する座標枠

Fig. 3 A coordinate frame for representing figures.

複雑になってしまう。また異なる記述形式ごとに、それを説明する手法も作成しなければならない。こうした点から対象の記述方法として、統一的表现法を用いることにした。そうすれば表現形式と説明に用いる言語表現との対応づけも容易になる。これは、次の副作用をも生みだすことになる。すなわち、システムの言語による応答と対象図形とを比較することにより、教師は図形のもつ構造がどのように言語で説明されるかというメカニズムを推測することが可能になる。その結果、教師はシステムにとってより理解しやすい形式で指示を与えることもできるようになる。

5. 対象記述法

モデルの記述法は基本的には文献1)と同一である。図3に OBAQ の概形が図示されているが、対象の主体にまず 3×3 の枠をはめ、部分図形が九つの枠のどこに含まれるかによって位置指定する。本システムでは、この枠の部分枠 (1×1, 2×2, 3×3) を3章の類似の定義で述べた R_{Ai} , R_{Bj} と定める。記述は主として部分図形間の包含関係に基づいて階層的に記述される。目は体を基準に、ひとみは目を基準として記述される。文献1)のモデルは対象同定のための照合のみを目的としていたが、本研究では類似部分図形の照合、図形記述からの言語表現生成もできなければならない。これらの点を考慮し、モデルの記述には、図4のようなフレーム表現を用いることとした。ただし、フレーム内のスロットに密着した手続きの利用は行っ

OJIRO		BOGLE		J-HAIR		HAIR
AKO	\$VAL	INSTANCE		AKO	\$VAL	INSTANCE
CLASS	\$VAL	J-BODY		CLASS	\$VAL	J-BODY
SUBPART	\$VAL	OBAQ 1		FIGURE	PART	COUT
IMAGE	\$VAL	MAN			RELATION	((C) U)
SEX	\$VAL	GIVEN			POSITION	BRANCH
REASON	\$VAL			SHAPE	\$VAL	((H1 NIL H2 NIL
				SUBBRANCH	\$VAL	H3 NIL)
J-BODY		BODY		COLOR	\$VAL	BLACK
AKO	\$VAL	INSTANCE		NUMBER	\$VAL	THREE
CLASS	\$VAL	OJIRO				
FIGURE	PART	IN		J-EYE		EYE
	RELATION	((**)) (**)		AKO	\$VAL	INSTANCE
	POSITION	REGION		CLASS	\$VAL	J-BODY
SHAPE	\$VAL	(J-MOUTH J-EYE		FIGURE	PART	J-BODY
SUBPART	\$VAL	J-HAIR J-HAND)			RELATION	IN
		WHITE			POSITION	((*) U)
COLOR	\$VAL			SHAPE	\$VAL	REGION
		MOUTH		SUBPART	\$VAL	(J-R-EYE J-L-EYE)
J-MOUTH		INSTANCE		COLOR	\$VAL	WHITE
AKO	\$VAL	J-BODY		NUMBER	\$VAL	TWO
CLASS	\$VAL	IN		CONCEPT	\$VAL	T
FIGURE	PART	((C) C)				
	RELATION	REGION				
	POSITION	J-LIP				
SHAPE	\$VAL	PINK				
SUBPART	\$VAL					
COLOR	\$VAL					

図4 フレーム表現

Fig. 4 Frame description.

ておらず、たんなる記述集合と考えてもよい。
 図4は「OJIRO は OBAQ に類似である」という教示によって、OBAQ フレームから複写された OJIRO フレームを示している(部分フレーム名は OJIRO 用に変更されている)。図中の IMAGE スロット等は後述する。POSITION スロット値については文献1)を参照されたい。

6. 照合方式

未知物体と候補モデルとの照合は基本的にはグラフ照合法⁶⁾と同一である。しかし図形領域全体を対象とする大局的照合法ではなく、5章で述べた九つの分割の部分集合に対する局所的照合が試みられる。局所照合が失敗すると照合領域を拡大して、照合領域内の図形間の関係を手がかりとする照合を試みる。

まず $S_z(CI^*)$ と $S_z(CO^*)$ を、モデルのある部分図形 z に関してそれぞれ CIN, COUT 関係で記述された部分図形の集合と定義する*。これをもとに $S_z(C)$, $S_z(C^*)$, $S_z(CIN)$, $S_z(COUT)$ を次式により定める。

$$S_z(C) = S_z(CI^*) \cup S_z(CO^*)$$

$$S_z(C^*) = S_z(CI^*) \cap S_z(CO^*)$$

$$S_z(CIN) = S_z(CI^*) - S_z(C^*)$$

$$S_z(COUT) = S_z(CO^*) - S_z(C^*)$$

$S_z(C)$ は z に対して CIN または COUT 関係をもつ物、 $S_z(C^*)$ は CIN, COUT の両者が許される物(たとえば z を体としたときの手など)、 $S_z(CIN)$ は CIN 関係にしかない物をさす。次に f を S から O (対象部分図形集合) への対応づけとする。その対応づけは、図5(a)を基準とする。とくに木構造は、連結する木構造をひとまとまりとして対応づける。(ii)と(iii)がその差異を示している。 S を順に $S_z(COUT)$, $S_z(CIN)$, $S_z(C^*)$, $S_z(IN)**$, $S_z(C)$ として、以下の手順を繰り返す。 z はモデルに記された部分図形とする。

$X \in S$ に対して、 X を含む領域を初期領域として、まず(1)を試みる。(1)が成立しなれば、 S の次の要素に対して順次(1)の成否を調べる。すべての S の要素を試みたら、(1)で解決済み要素を除いた物を S として設定し、(2)~(5)を試みる。すなわち2パス

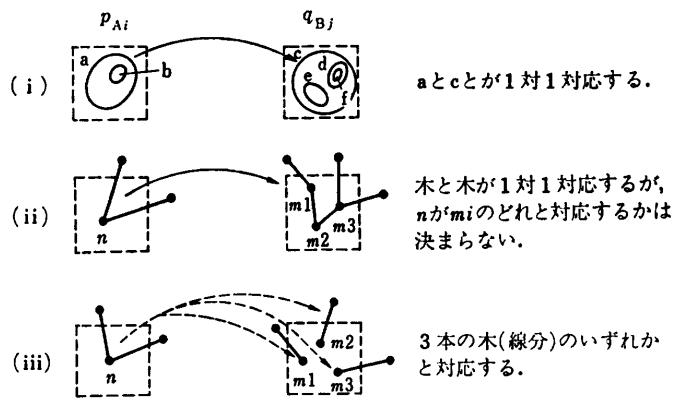


図5(a) 部分図形の対応づけ。破線枠は R_{Ai} , R_{Bj} を示している。
 Fig. 5(a) Finding correspondence between subpatterns.

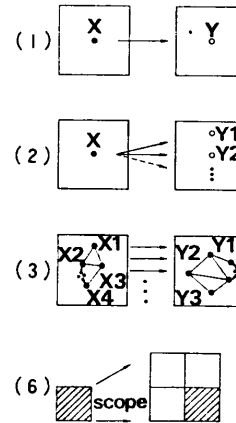


図5(b) 対応のとり方
 Fig. 5(b) A way to find correspondence.

で照合を行う。3章で記した類似の定義との関係は、 X が p_{Ai} であり、 p_{Bj} は(1)~(4)でもとまる Y であるということになる。かつ X は手本に記述された図形 z の部分である(図4のフレーム記述を例にとると、まず z がOJIROなら X はJ-BODYとなる。 z をJ-BODYとすると、 X は口、目、手、毛のいずれかの要素である)。

(1) X に1対1対応する $Y \in O$ が存在するとき: 教師がこの対応を不適當であると指摘しない限り、照合されたとする。照合を拒否されたら、 (X, Y) をNPL (Not Paired List) へ登録する。照合したなら (X, Y) をMATCHへ登録する。

(2) 対応する物が複数個あるとき(図5(b)参照): X のすべての属性と類似の属性をもつ Y_i が一つだけ見つかるなら、 X と Y_i とは照合されたとする(類似関係も利用する)。対応関係の否定、照合成功時の処理は(1)に同じである(以下の各場合でも同様と

* CIN (一部接して内部), COUT (一部接して外部)。詳細は文献1)参照。

** $S_z(IN)$ は、 z の内部に含まれる図形である。

する)。それ以外のときは(6)へ。

(3) 多対多の対応があるとき: X_i 間の関係と Y_i 間の関係, 各 X_i, Y_i の属性間に類似性があれば, 照合成功とする。対応づけでは, NPL, MATCH の記述を優先利用する。この結果 X に照合する物が決まらぬなら, (6)へ。

(4) 多対1の対応のあるとき ((2)の逆の場合): (2)と同じように X_i の中に属性が Y の属性と類似する物が唯一あるなら照合とする。そのほかは(2)と同じ。

(5) 対応する物なし: (6)へ。

(6) 探索域を拡大する: 探索域を含む近傍領域に対して(1)~(5)をくり返す(探索域拡大の詳細は紙面の都合上略すが, 図9,10の例を参考にされたい)。

上述のステップにおいて, たとえば探索域を拡大して部分図形を発見した場合には, 位置属性がモデルと異なっているため, システムはその点について文句をいうことになる。他の属性が異なっても同様である。

以上の全ステップを完了した後も, S や O に同定できない部分図形が残ることがある。それらについては教師が新たな部分図形の名称を教示し, 手本にない部分図形が欠けていることの正否を教示することにより解決する(類似関係の利用も考えられるが, 未検討である)。

7. 教示例

図2において, システムは OBAQ のモデルをもっているが, OJIRO のモデルはもっていないとする。OJIRO が OBAQ に類似していることを教示すると, システムは OBAQ のモデルを手本として, まず OJIRO の候補を捜す。前述したように既出物の同定から照合過程が開始されるので, OJIRO の候補として OBAQ を選ぶことはない。図中には時計, りんご, 机があるが, これらを候補とすることもない。それはモデルの記述の粗い記述レベル(体と手の関係のような上位階層部の記述)で照合に失敗するからである(図中の未知物のすべてに対して粗い照合を試みる間は, システムは何の苦情も述べない)。誤った候補を選んだときには, その後生じる不照合部分に対するシステムの訴えから, 誤りを教師が検出できる。前述した特殊な場合, すなわち対象を参照物体自体に選ぶと(OJIRO を探索して OBAQ を候補と決定したような場合), 照合は完全に成功し OJIRO モデルとし

て OBAQ と同一の記述が作られる。しかし後に示す対話例のように, 教師がシステムの構成したモデルを説明させたり, 参照例との差異を説明させれば, このような誤りは検出でき, 新たな候補に対して照合を試みればよい。

C: What is ojiro?
 T: OJIRO IS OBAQ'S BROTHER.
 C: Does ojiro resemble obaq?
 T: YES. BUT OJIRO HAS JUST ONE HAIR.
 C: A color of his body is not white. It is yellow. Is it true? (note that a color of OJIRO'S BODY is yellow) (a)
 T: YES.
 C: I have found his body. I have found his hair. I have found his left hand. I have found his right hand. (b)
 T: I think I could find his mouth, but it is different from his model.
 T: WHAT ARE YOU DOING?
 C: I have found a red branch to the left of his right hand as a candidate of his mouth. But it is different from his model. Do you need another explanation of the location of his mouth? (c)
 T: YES.
 C: Do you want an explanation in absolute coordinate?
 T: NO.
 C: It is to the right of his left hand in the image. Do you want another explanation in absolute coordinate?
 T: YES.
 C: It is in the center of the middle part of his body in the image.
 T: EXPLAIN THE DIFFERENCE BETWEEN THE MODEL AND OBJECT.
 C: On what part do you want an explanation?
 T: MOUTH.
 C: The mouth of the model is different from that of the model in the points of shape, subpart and color. Do you need more explanation?
 T: YES.
 C: The shape of the model is a pink region, and that of the object is a red branch. The mouth of the model has a lip, but that of the object has not subpart.
 T: OJIRO'S MOUTH IS A RED LINE.
 C: I have found his mouth. I think I could find his right eye, but it is different from his model.
 T: WHAT ARE YOU DOING?
 C: I have found a black region in the center of the middle part of his body as a candidate of his right eye. But it is different from his model.
 T: EXPLAIN OJIRO'S RIGHT EYE.
 C: Which do you mean the model or object?
 T: MODEL.
 C: It is a white region which is above his mouth in the model. Do you need another explanation of his mouth?
 T: NO.
 T: DOES IT HAVE SUBPARTS?
 C: Yes, his right eye has a pupil in the model.
 T: OJIRO'S RIGHT EYE IS A BLACK REGION.
 C: I have found his right eye. I have found his left eye. Finally, I have found ojiro.
 T: EXPLAIN OJIRO.
 C: He is a kind of bogle.
 T: EXPLAIN OJIRO'S STRUCTURE.
 C: Ojiro is a yellow region and his body has a hair, a mouth, eyes and hands.

図6 OBAQ を例として OJIRO のモデルを作成するための会話例

Fig. 6 A sample dialog for creating a model of OJIRO by using OBAQ as an example.

教示の実例を図6に示す。現システムでは教師が自由に自然言語を入力することはできず、質問方法はきわめて限定された形式だけが許されていることを、あらかじめことわっておく。

まず最初に OBAQ のフレームのコピーを OJIRO のフレームとする。もちろん部分構造名は OJIRO 用に変換する。このフレームを初期モデルとして、6章で示した照合法により、正確に照合しない点を逐一修正してゆく。図中(a)では、あらかじめ OBAQ に一致しない OJIRO の特徴を教師が与えている。これは STM に記述され、以下で行われる各部分図形の照合時に、その図形に関する記述が STM 内に記されているか否かが調べられ、使った記述は消去する。もし OBAQ に HAIR についての記述がまったくないならば、実際にはシステムは何も知ることができず(もしも、HAIR の一般的概念が形成されていれば話は別だが)、位置、形、色などの全属性に関する対話が必要となるが、この問題はここでは取り扱わない。

初期モデル作成時に、BOGLE フレームの子として OJIRO フレームを登録し、類似関係をもとめる準備をしておく。図7は OJIRO モデルの学習後の類似関係を示す類似ネットを示している。図中では、たとえば OJIRO の目と OBAQ の目はともに EYE フレ-

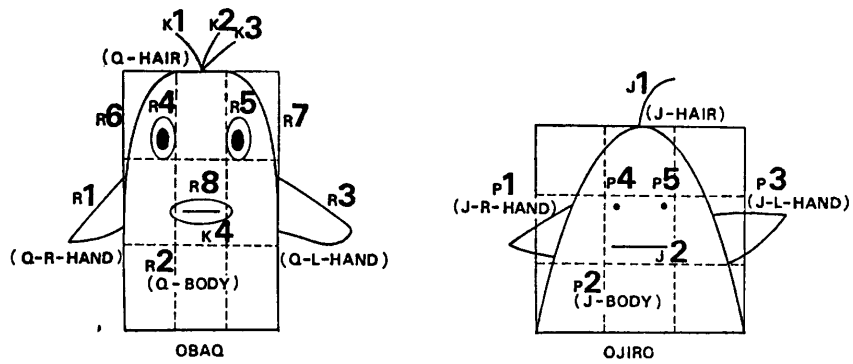


図8 3×3の枠で囲まれた OBAQ と OJIRO
Fig. 8 OBAQ and OJIRO enclosed by 3×3 frames.

ムの子となる (OJIRO と OBAQ の目が同一ならば ---リンクが付加される)。以上の準備の後、候補を探索する。現例ではただちに OJIRO の候補が発見される。しかし OJIRO の体が黄色であるため、(a)のような訴えを生じる。この時点で教師が、システムのみつけた候補が正しいか否かをただちに検証するのは現在のプログラミング環境ではかなりむずかしい。現システムは、文献1)のシステムと異なり、画像端末のない TSS システムで作成されている*ので、候補を図を用いて提示できない。そこで部分名等を引用しなければならないが、この時点では部分名をもつ図形部の照合はまったく行われていないため、ある程度照合の進むまで確認がとれない(実験例では、図8の R1 や P2 といった画像に対して与えた図形記述名を用いて図示されたのと同じ操作を不自然な形式で行い、候補選択誤りを防いでいる)。そこで教師は OJIRO と OBAQ の色の差異を述べなかったことに気づき、その旨を指示することにより記述が修正される。そして照合は部分要素へ移行する。

まず Sbody(COUT)=(J-HAIR, J-HAND) が試みられる。J-HAIR の記述が STM にあるので、J-HAIR に 1 対 1 対応する部分が発見され、その SUB-BRANCH スロット (部分木を表す) に (J1 NIL) を書き込む。次に J-HAND の照合が試みられるが、J-HAND は概念としての項目であることがスロット CONCEPT により記述されているため、照合は J-HAND の SUBPART である J-R(L)-HAND に対して行われる(図4には J-HAND フレームを示していないので、同様な性質のフレーム J-EYE を参照されたい)。J-R(L)-HAND に関して照合は完全に成功す

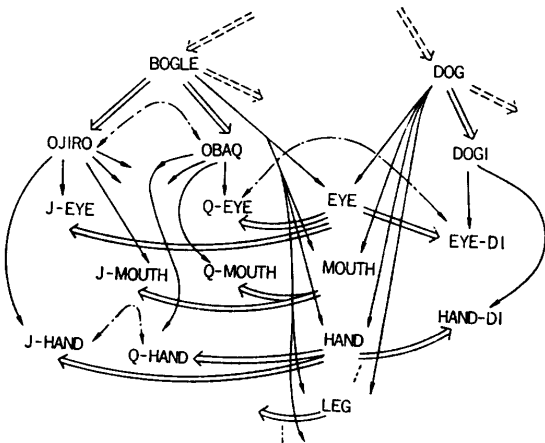


図7 類似ネット
Fig. 7 A similarity graph.

←: is-a link, ←: has-a link, ---: similar link

* 旧システムの画像出力を、ファイル化して現システムに与えている。

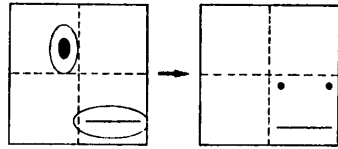


図9 J-R-EYE と J-MOUTH の対応物探索用の領域
Fig. 9 A scope for finding J-R-EYE and J-MOUTH.

るので(b)の報告が行われる。 $S_{BODY}(COUT)=\phi$ となったので次に $S_{BODY}(CIN)$, $S_{BODY}(C*)$ が調べられるが、これらは初めから空なので $S_{BODY}(IN)=(J-MOUTH, J-EYE)$ が試みられる。ここで一つ注意しておくことがある。本例では Q-HAND は Q-BODY と COUT 関係をもつとしか記されないが、手が体の内側に観測される (CIN 関係) なら、手は $S_{BODY}(C)$ を調べるまで照合対象にならない。手が体の内外のいずれでもよいなら、それは $S(C*)$ で調べられることになる。

現例では1対1対応が $S_{BODY}(IN)$ に対して発見できないので、第2のパスへ移る。J-MOUTH に対して図8からわかるように、P4, P5, J2 の三つが対応しかつ、それらの属性間で一致のとれる物は存在しない。そこで探索域を図9のように拡大する。その結果今度は J-R-EYE と J-MOUTH が P4, P5, J2 を対応候補とする2対3の対応を生じる(実は図9を、4対3の対応とみなすことも可能であるが、モデル記述によるトップダウン探索を行うので、ひとみや唇は照合対象とされず、2対3の対応とプログラムはみなす)。これらの相互位置関係の一致が成立する部分に対応するとみなされ、J-R-EYE \Leftrightarrow P4, J-MOUTH \Leftrightarrow J2 となる (\Leftrightarrow は対応を示す)。そして属性の一致が調べられ、一致しない部分を対話によって、解決する。例ではいずれの部分も一致せぬ属性を有しているのがそれが訴えられる。システムの状態を答えさせるため、教師は "What are you doing?" を入力するとその時点での照合結果が報告される。(c)がそれを示している。注意すべきは本システムでは教師にはきわめて限定された表現の入力しか許されず、たんなるコマンドに等しいレベルの自然語入力機能しかない点であり、この点は改良を要する。OJIRO の口は「線」であることを教示されると、J-MOUTH の SUBPART スロットを消去し、新たに SUBBRANCH スロットとその値 (J2 NIL) が記入される。他の属性はそのまま継承される。次に J-R-EYE について苦情が述べられる。上と同様な過程を経て、J-R-EYE と P4

との照合がとれれば、次に $S_{BODY}(IN)$ の次の要素、J-EYE が調べられるが、これも J-HAND と同様に CONCEPT なので、その実体 J-R(L)-HAND が調査対象となるが、J-R-HAND はすでに照合済みである。さらに J-L-HAND \Leftrightarrow P5 の照合不一致点は、J-R-HAND \Leftrightarrow P4 時の物と完全に同一なので、苦情を述べることなく照合がとられる(もし一部くい違いがあると、苦情、修正に関する会話が行われる)。

8. 説明文生成法

上例を見て、システムはつねに冗長な説明を繰り返すという印象があるかもしれない。現システムには教師の信念モデルが与えられていないので、教師にどれだけを訴えるべきかをシステムは推論できない。本研究では教師は対象に関する完璧な知識をもつと仮定し、システムは自身の問題点を指摘することに重点がある。しかし問題点が多岐にわたり、かつそれらに実は依存関係があるとき、それらを一度に指摘すると、現状の自然語入力機能の点で、教師が適切に助言できなくなる。さらに教師も訴えられた事柄をまったく理解できなくなり、結果として行うべき助言を落としたりする可能性がある。そこで、不一致点の苦情を、色、位置、構造等のカテゴリに関して述べた後、構造に関してはモデルの記述階層に応じて、しだいに詳述されるよう配慮した。またモデルは図3に示した座標系で示されるが、人にとっては相対関係が理解しよいので、既知部分構造を参照とする説明をまず行うようにした。もちろん例よりわかるように、座標系による説明も行われる。学習進行時に、学習程度を知るめやすに、システムが物事の差異をどの程度とらえているかがある。そこで差異の説明でも、差異をもつ属性のカテゴリを述べ、教師が詳説を希望する項目を入力すると、細かい差異が指摘されるようにした。しかし説明が冗長であるという欠点はある。改善策として教示時に陥った問題点に関する履歴を保存し、説明時に利用することが考えられるが、これは対話者のモデル作成も含めて今後の重要問題である。なお文生成は、文法からではなく空欄補充方式をプログラムで制御(時制、代名詞化等)する方法で行っている。

9. 他例への適用

ここでは、①上例と逆、すなわち OJIRO から OBAQ を知る方法と、②異なる家の学習が本方式で行われることを示すと同時に補足すべき機能を説明

する。

① この場合照合は Q-BODY \Leftrightarrow R2 から始まる。S_{body}(COUT)=(Q-HAIR, Q-HAND) なので、Q-HAIR の照合が試みられ、K1, K2, K3 が候補となる。しかし確実に対応がとれないので、PLIST=(Q-HAIR) となる。いまの場合は探索範囲の拡大も有効でなく、最終的に教師による指示を受ける以外に K1, K2, K3 からなるどの部分集合を照合対象とすべきか決定不能である。Q-HAND に関しては前例と同様問題はない。次に照合は S_{body}(IN) に移るが、Q-R-EYE, Q-L-EYE, Q-MOUTH が再び問題となる。P4, P5, J2 対 R8, K4 という3対2の対応があるため、探索範囲が図10のように拡大される。しかし実は P4, P5, J2 はすべて ((C) C) 部にあり、フレームの粗い位置記述だけでは、P4, P5, J2 の相対関係はもとまらない。つまり 3×3 の分割が粗すぎることになる(対象に応じて適切な n×m 分割を設定するのが望ましいが、これは困難な問題で未解決である)。この弱点を補足する最も単純な方法は、フレームのスロットに、原画ファイル名を印した IMAGE スロットを与えることである。そして IMAGE スロットからもとめられる原画およびその処理結果(文献1)参照)より、3×3 分割座標系では記述しえない関係を検索することにする。この機能によって図8の状況で、Q-R-EYE \Leftrightarrow R4, Q-MOUTH \Leftrightarrow R8 が得られる。よって Q-L-HAND \Leftrightarrow R6 は容易に決定される。

② 図11の家を例として考えよう。(A)のモデルがあり(B)を教示するとしよう。ROOF1 \Leftrightarrow R2, WALL1 \Leftrightarrow R1 がまず得られる。次に R6 \Leftrightarrow DOOR1 が CIN 関係より仮説とされる。しかし R6 は窓な

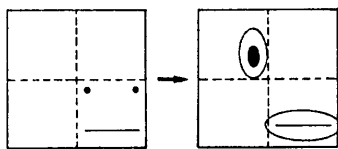


図10 Q-R-EYE と Q-MOUTH の対応物発見用の領域
Fig. 10 A scope for finding Q-R-EYE and Q-MOUTH.

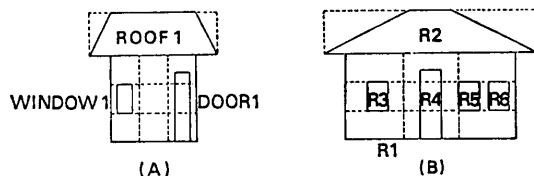


図11 二つの家
Fig. 11 Two houses.

ので教師はこの対応を否定するため、NPL=((DOOR1 R6)) が作られた後、探域範囲が拡大される。そこで次には R4 と R6 とが DOOR1 の候補となるが、NPL より R4 が DOOR1 と対応することになる。しかし実は位置に違いがあるため、それが教師へ質問される。教師の肯定を受けて初めて R4 が戸であることがわかる。そして戸の位置条件が付加される。戸は壁の左部だけでなく中央にあってもよいことが記録される(とはいっても、右部にあってもよいという記述は生成されない。現システムではこのような類推は行っていないが、興味深い問題である)。同様なことが窓についてもなされるが、R5, R6 はモデルには存在しなかった物として、教えられるまでシステムはそれらを窓と知ることはできない。教示によって、家には窓が三つまでであってもよく、その位置も右側だけでなく左側でもよいことが記録される。しかし窓や戸に対するより一般的な条件をもとめることはしない。図7と同じような類似ネットが作られるのみであり、一般の学習系⁶⁾でなされているような一般化はこれ以後の問題であって、ここでは取り扱っていない。

10. 類似ネットの利用

ここまでは、OBAQ または OJIRO のモデルを作るために、教師が OJIRO または OBAQ を手本として教えることにより教示を開始した。そして教示が終わると、OBAQ と OJIRO とは類似関係で結合されるが、OBAQ と OJIRO の目や口は必ずしも似てはなかった。一方手はきわめてよく似ていた。これらを類似ネットに記録しておくことは、他のモデルを教示する際、似た部分図形を検索・照合する際に役立つ。図7がこの類似ネットを示している。そこでいまある対象 X を教示するとしよう。X の目は OBAQ の目と同じで、口は OJIRO の口と同じだとする。そして教師が X は OJIRO に類似していると教示した場合を考えてみよう。X の目を OJIRO の目に照合しても照合が失敗することは明らかである。そこで次に OBAQ の目と照合を試みることは意味があると思われる。しかし OBAQ の目と OJIRO の目が照合しなかったという事実が、X の目と OBAQ の目の照合を試みることを価値があると示唆してくれることになる。このように全体として類似していると指示された対象の部分ごとに、類似関係に基づく同値類を作るとは、類似部分の検索と照合にとり有意である。もし X の手が OJIRO の手と照合しないなら、次に

OBAQの手と照合を試みることは無意味であり、OJIROの上位フレーム、BOGLEの他のインスタンスで、OBAQやOJIROの手と同値類にない例に対して照合すべきである。そうした例がないなら、類似物を引用せず会話によって問題点を解決する必要がある。現在のシステムではこうした事例は実際には取り扱っていない。しかしたぶん次のようにすればよいと考えられる。

まず、Xのどの部分が問題かを教師は知らなくてはならない。それが「手」とわかれば、「手」のインスタンスを、前述の方法で調べてみればよい。すなわちBOGLEの手でない他の手の例を引用すればよいことになる。しかしコンピュータがXのどの部分が不明かを、その名称を用いて訴えることがつねに可能とは限らない。この意味でもグラフィックディスプレイを伴った対話が必要である。

11. むすび

2次元図形同定のためのモデルを、類似例からもとめる試みについて報告した。「XとYとが類似している」という概念は複雑な意味を有しており、本稿はその特殊な一面に的を絞って考察したにすぎない。しかし多くの事例を個々にシステムに教示することは現実的でない。既知のモデルを会話系を介して、修正して獲得すべきである。

本研究の結果には改善すべき点が多いが、知識表現、モデル獲得に関する研究の刺激の一つとなれば幸いである。現システムは文中でも述べたように、不明な点の指示や教示を言語だけによって解決しようとする点に難点があり、図を併用することが望ましい。これは近々の内にLISPマシンのマウスを利用した対話システムに切り換えたいと考えている。

また本研究の対象は2次元図形であったが、数個の観測図形を指示することにより、3次元のモデルを構築し、構築例を類似例として他の3次元物体のモデルを教示する方向へと、本システムを発展することができる⁷⁾。現在この方向でも研究中であり、他の機会に

報告したいと考えている。

また本研究で作成した類似ネットを用いて、一般的な上位概念を、マンマシン系を介して作成することも興味深い。従来の研究は自律性を重視したため、一般化があまりに単純すぎるきらいがある。人間の概念形成はそれほど単純とは思えない。

本システムの考え方は1,2章で解説したように教師の類似概念基準に大差がないとの前提を基礎としているが、システムが類似図形の必要条件を満足する既知図形から、手本を教師に選択させることによって、教師の個人差を減少させることは非常に大切である。7章では粗い照合で明らかに異なる候補図形の選択を棄却したが、この方式を既知図形候補に適用しても、既知図形の集合が大きくなると、候補が多くなり結局教師の主観が手本決定の主因とならざるをえない。これは困難な解決すべき問題点の一つである。

参 考 文 献

- 1) 安部, 曾我, 辻: 言語・画像を利用した行動の解釈(1), (2), 情報処理学会論文誌, Vol. 23, No. 2, pp. 124-141 (1982).
- 2) Abe, N., Soga, I. and Tsuji, S.: A Plot Understanding System on Reference to Both Image and Language, 7th-IJCAI, pp. 77-84 (1981).
- 3) Winston, P. H.: Learning Structural Description from Examples, Ph. D. Th. MIT (1975).
- 4) Winston, P. H.: Learning by Creating and Justifying Transfer Frames, *Artif. Intell.*, Vol. 10, No. 2, pp. 147-172 (1978).
- 5) Winston, P. H.: Learning and Reasoning by Analogy, *CACM*, Vol. 23, No. 12, pp. 689-703 (1980).
- 6) Dietterich, T. G. and Michalski, R. S.: Inductive Learning of Structural Descriptions, *Artif. Intell.*, Vol. 16, No. 3, pp. 257-294 (1981).
- 7) 伊藤, 安部, 辻: 2D 図形と自然言語を用いた3Dモデルの生成, 情報処理, 知識工学と人工知能, 27-1 (1982).

(昭和58年9月5日受付)

(昭和59年3月6日採録)