

TM-1233

事例を用いた目的指向型類推

前田 茂

November, 1992

© 1992, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03)3456-3191 ~ 5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

事例を用いた目的指向型類推

前田 茂

(財) 新世代コンピュータ技術開発機構

東京都港区三田 1-4-28 三田国際ビル 21 階

あらまし

ここでは、類推とは、既知のドメイン(ベース)の知識を用いて未知のドメイン(ターゲット)に存在する問題を解決する推論であるとする。類推の問題点の一つは、個体間の類似性の検出およびその属性間のマッピングにある。

本論文では、問題解決の過程に必ず存在する目的を利用することで以上の問題を解決する方法を提案する。これは、ドメイン知識として過去の問題解決の過程を事例ルールと呼ばれるルール形式で記憶し、事例ルールの backward chaining によって新しい問題を解決するものである。事例ルールの右辺部を目的とみなすと、左辺部はマッピングされるべき属性を選択する視点と考えることができる。そこでは、一般的な属性は、概念階層を用いてマッピングを行い、マッピングできなかった特殊な属性は、照合結果の整合性を保つ範囲で類似と見なすことで推論を行う。

さらに、仮説的な類推の正当性を示す方法、および、視点による特殊な類似性の学習についても考察する。

和文キーワード 類推, 事例ベース, 類似照合

Goal Oriented Analogical Reasoning using Old Cases

Shigeru MAEDA

Institute for New Generation Computer Technology

Mita Kokusai Bldg. 21F, 1-4-28 Mita, Minato-Ku, Tokyo, Japan

Abstract

We think analogical reasoning is problem solving method that apply the knowledge of known domain (base) to the unknown domain (target). The important issues of analogical reasoning are to find out similarity between individuals in them and mapping between their attributes.

In this paper, we propose a analogical reasoning which solve above issues with the help of the goal of the new problem. This makes reason to solve the new problem by backward chaining of 'Case Rule's which represent problem solving steps in old cases as domain knowledge. When we think right hand side of Case Rule as goal, we also think left hand side of it as the viewpoint to select mapping attributes. First it uses hierarchy of concepts to map between usual attributes and then maps between unusual attributes keeping consistency of mapping.

We also propose the method to show the judgement of the hypothetical mapping and discuss how to learn unusual analogy with the viewpoint.

英文 key words Analogical Reasoning, Case-Base, Analogical Mapping

1 はじめに

るい-すい【類推】類似点に基づき他のことをおしはかること。二つの特殊的事例が本質的な点において一致することから、他の属性に関しても類似が存在すると推論すること。似たところをもととして他のことも同じだろうと考えること。類比推理。アナロジー。

るい-ひ【類比】(2)(analogy)関係の類似・同一性のあること。全く独立の事物の間の関係に完全な類似性のあること。論理学では類推に同じ。アナロジー。

類推に関連する項目を辞書[岩波91]で引いてみると、以上のような記述がある。ここで繁雑に現れる“類似”という単語を引いてみる。

るい-じ【類似】似かようこと。似ていること。

[Gentner 83]によれば、類推は、なじみの状況がベースの状況として参照され、その一側面が、なじみの薄いターゲットの状況にマッピングされるものとされている。これらの定義を見ると、類推の問題が明らかになってくる。それを次に述べる。

1. ベースドメインを決定する
2. ベースドメインからターゲットの類似の状況を検索する
3. ベースとターゲット間の属性のマッピングを行う
さらに本質的な問題として、
4. 何を持って“似ている”と判断するかという類似の定義。
があげられる。

ここでは、1. のベースドメインの選択問題は扱わないこととする。すなわち、ベースとなるドメインは固定し、中の知識はフラットなものとする。具体的には、今回は例題として法律の分野を扱うこととする。

2. の問題の解決には、過去の問題解決の過程に現れた目的を利用することで行う。ベースの知識は、過去の問題解決の過程を、左辺部にその状況、右辺部に解決された問題という形式で記述しておく。新しい問題が与えられると、その目的をインデックスとして過去の事例の右辺部を検索し、backward reasoningを行うことで新しい問題の解法を得る。これは、[Burstein 83]の手法と似ている。左辺部の照合は、概念階層を用いた属性間の照合と、部分照合により行われるので([前田91]参照)、知識が不完全な場合でも推論を行うことができる。

3. の属性間のマッピングは、まず、一般的なものは概念階層を用いて共通の上位概念を持つ場合に行う。次に、残りの属性については、照合結果の整合性が保たれる範囲で類似と見なすことで仮説的なマッピングを行う。つまり、同じベースの属性にマッピングされたターゲットの属性は、同一であるという条件を満たす場合のみ類似と考える。

したがって、4. は、上に述べた通り、概念階層上で共通上位概念を持つかどうか、および、それによりおおよその状況が照合された時点で、残りの属性に対しては照合結果の整合性が満たされるかどうかという基準により達成される。

最後に、事例ルールの左辺部に現れる個体のうち、仮説的なマッピングが行われたものに対して推論の正当性を示す手法について述べる。さらに、特殊な類似性を、そこで利用した目的によって規定された視点およびこの正当性と共に記憶しておくことで、次回からの類推を高速に行うことのできる学習手法についても述べる。

2 類推における目的

先に定義した通り、ここでの類推は、英語の Analogical Reasoning の意味とする。これは、推論に重点を置いた考えで、純粋なメタファーなどは除く。すなわち、類推には必ずそれを行うための目的が、陽であれ陰であれ存在すると考える。

たとえば、[Gentner 83]でも述べられている通り、「ジュリエットは太陽だ」と言った場合、ジュリエットと太陽の間にメタファーが存在するが、ここにも、「ジュリエットに好感を持たれるよう

にする”という目的があることが分かる。その目的のための条件として、過去に太陽を用いて成功したとすると、今回もベースとして太陽を選択することになる。

一方、我々にはここには別の目的が存在すると考えることもできる。すなわち、人間には、類似性が弱い/類似性がないと思われるものを類似だと示すことで、相手に対して驚き/感心/関心を示させることができる。したがって太陽の選択は、ジュリエットに好意を持たれるという目的に類似の目的として“関心を持たせる”、“感心させる”などが選ばれたとも解釈される。また、もう一方では、“ジュリエットに好感を持たれるようにする”という初期の目的のサブゴールとして、“関心を持たせる”などが選択されたとも考えられる。これは知識表現の問題であるが、我々の推論方式ではこの違いを吸収できる。

最後に、太陽の属性として、明るいとか、人を照らしてくれるとか、温かいとかポジティブな属性があるので、この類似は目的に沿っている。したがって、正当性も満足されることになる。

一般の問題解決の過程では、ゴールはサブゴールに分解されるので、backward reasoningによりサブゴールを証明する必要がある。その場合にも、以上の目的を利用した類推は繰り返し用いることができる。そして、最終的な推論結果が目的に合致し、推論結果に矛盾がなければ上に述べた通り、その推論の正当性が示されたことになる。

したがって、類推において問題解決の目的は、ベースの状況の選択、ベースとターゲットの属性間のマッピングにおいて重要な役割を演じていることが分かる。以下では、この性質を利用した柔軟で効率の良い類推の一手法について、刑法の問題を例にとり述べる。なお、知識表現などは我々の開発した法的推論システムHELIC-II[前田 91]にしたがっている。

3 過去の事例を用いた類推

ここで述べる類推を以下に定義する。

• 領域知識:

- 過去の問題解決の過程を表現した事例
ルール

- (一般的な)概念階層
- (一般的な)概念辞書

• 入力:

- 問題の目的
- 問題(固有)の状況

• 出力:

- 与えられた問題に対する問題解決過程
- ベース・ターゲットの個体および属性間のマッピング情報
- 正当性

以下では、例として次のようなものを考える。

• 問題:

- 状況:

公園に放されていた野犬の処置を依頼されていた保健所が十分な対応をする前に、野犬が公園で遊んでいた幼児に噛み付いて怪我をさせた。

- 目的:

保健所に賠償責任があることを示す。

• 事例:

- 状況:

市役所が浜辺に放置されていた不発弾の処理を依頼されていたにも関わらず、対処せずにいたので、子供のいたずらで爆発し、その子供に重症を負わせた。

- 解:

市役所には賠償責任がある。

領域知識の事例ルールとして、以下のよう、市役所には不発弾の処理を行う管理責任があるというルール(rule001)と、それにもかかわらず放置しておいて子供が怪我をしたので賠償責任があるというルール(rule002)があったとしよう。

```
rule001(  
  [爆発物(不発弾 1, □),  
    浜辺(浜辺 1, □),  
    放置状態(放置される 1,
```

```

[主体 = 不発弾 1/trivial, 場所 = 浜辺 1/trivial]]
-->
[管理責任 (管理責任 1, [主体 = 市役所 1, 客体 = 不発弾 1])].

rule002(
[爆発物 (不発弾 1, □),
市役所 (市役所 1, □),
自然人 (子供 1, □),
管理責任 (管理責任 1,
[主体 = 市役所 1, 客体 = 不発弾 1]),
依頼 (依頼 1,
[客体 = 市役所 1/trivial, 対象 = 処置 1/important]),
処置 (処置 1,
[客体 = 不発弾 1/trivial, 内容 = 回収 1/trivial]),
回収 (回収 1,
[主体 = 市役所 1/trivial, 客体 = 不発弾 1/trivial]),
放置 (放置する 1,
[主体 = 市役所 1/trivial, 客体 = 不発弾 1/important]),
いたずら (いたずら 1,
[主体 = 子供 1/trivial, 客体 = 不発弾 1/important]),
爆発 (爆発 1,
[主体 = 不発弾 1/important]),
因果関係 (因果関係 1,
[原因 = いたずら 1/trivial, 結果 = 爆発 1/trivial]),
負傷 (重症 1,
[主体 = 子供 1/trivial]),
因果関係 (因果関係 11,
[原因 = 爆発 1/important, 結果 = 重症 1/important])])
-->
[賠償責任 (賠償責任 1, [主体 = 市役所 1, 客体 = 子供 1])].

```

“-->”の上(左辺部)がその問題解決がなされた状況であり、下(右辺部)が解である。左辺部の要素は、以下のフレーム様の形式で記述する。

UpperConcept(Instance, [Slot=Value/Weight, ...])

Instance は、ある個体の識別名であり、Upper-Concept はその事例の状況での Instance のカテゴリを記述する。Slot, Value はその名の通り、属性、属性値の組であり、Weight は {Instance.Slot.Value} の三つ組がその事例ルールの解の生成にどれだけ重要性があるかを、Important, trivial で記述するものである。

概念階層は、一般的に考えられる概念間の階層関係を記述したものである(図1参照)。たとえば、野犬は犬であるというような、主に isa 関係を示すものである。これはある種の常識を記述したものともいえる。システムは最初のマッピングの手掛りとして、まずこの概念階層を用いて個体および属性間のマッピングを試みる。後

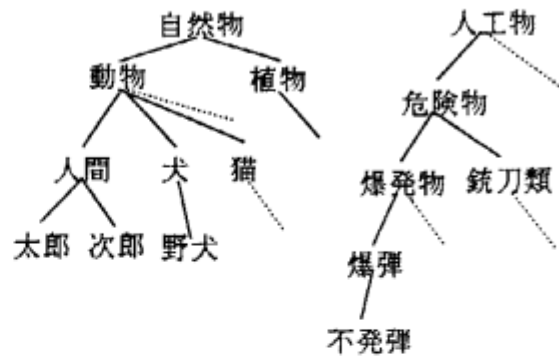


図1: 概念階層の例

ほど詳しく述べる左辺部の照合では、この概念階層上の概念間の距離を用いて類似性の判断の材料としている。

概念辞書は、概念の一般的な性質を記述する。こちらはいわゆる常識を記述するものと考えられる。以下に人間についての例を上げると、事例ルールの左辺部要素と同様な記述であることが分かる。概念辞書中の概念は、考えられるあらゆる属性が記述されているのが望ましい。なぜなら、事例の状況との照合を行う場合に、問題の状況の記述で欠落した部分があった場合、この常識的な記述を用いて属性を補い、マッピングを行おうとするからである。詳細は、4章で述べる。

動物(人間, [足の数=2, 手の数=2, ...]).

入力である目的は、問題に対して欲しい解である。この目的を与えることで、類推の視点を決定することができ、前述した問題を解決することができる。これは、もちろん、複数の目的を与えても良いが、このシステムでは、独立に得られたそれぞれの問題解決過程を出力するだけで、解の間の整合性などは検証しない。目的の記述形式は、事例ルールの左辺部の形式と同様である。保健所が怪我をした幼児に賠償責任があるということを示したい場合は以下のように記述する。

賠償責任(賠償責任 2, [主体 = 保健所 2, 客体 = 幼児 2]).

ターゲットの知識として問題の状況をフレーム形式で与える。これらのものは、ある程度問題固有のものだけについて記述すれば良く、足りない情報は概念辞書によって補われる。上であげた問題の状況は以下のように記述される。

野犬(野犬2, □).
 自然人(幼児2, □).
 公園(公園2, □).
 保健所(保健所2, □).
 放置状態(放置される2, [主体=野犬2, 場所=公園2]).
 依頼(依頼2, [客体=保健所2, 対象=処置2]).
 処置(処置2, [客体=野犬2, 内容=捕獲2]).
 捕獲(捕獲2, [主体=保健所2, 客体=野犬2]).
 放置(放置する2, [主体=保健所2, 客体=野犬2]).
 噛み付く(噛み付く2, [主体=野犬2, 幼児2]).
 因果関係(因果関係2, [原因=噛み付く2, 結果=怪我2]).
 負傷(怪我2, [主体=幼児2]).

以上の知識を用いて類推を行うステップを以下に示す。

1. 問題(ターゲット)のゴールを与える(e.g. 保健所に賠償責任がある)。

2. 事例(ベース)からゴールを検索する。

(a) ターゲットと同じゴールが存在したばあい、そのゴールの条件となる状況を得る。

(b) ターゲットと同じゴールが存在しない場合、類似のゴールを検索し、そのゴールの条件となる状況を得る。

3. ベースの状況に現れる各個体および属性について、概念階層を用いてターゲットとのマッピングを行う。このとき、ベースに対してターゲットに欠落した情報は、概念辞書を用いて補う。

4. マッピングが取れなかったターゲットの個体について、他のマッピングの整合性が取れる範囲で仮説的なマッピングを行う。

5. 3., 4. でマッピングが取れなかった個体は、サブゴールと仮定し、上のステップを繰り返す。最終的に整合性が満たされれば、そのマッピングをサポートする個体の集合が類推の正当性となる。

6. 類似度を計算し、ある閾値を越えている場合、推論の連鎖を問題解決過程とし、ベース・ターゲット間のマッピング情報、マッピングの正当性と共に出力する。この場合、閾値を越えているかどうかが重要であり、左辺部要素の全ての個体のマッピングが取れている必要はない。

7. 特殊な類似性をゴール、視点および正当性と共に学習する。

以下に上記の例を用いて推論のステップを説明する。

1. ゴールは以下の通り。

賠償責任(賠償責任2, [主体=保健所2, 客体=幼児2]).

2. ベースにも同じ上位概念“賠償責任”を持つ賠償責任1が右辺部にある事例ルールrule002があるので、これを選択し、管理責任1以下の左辺部の状況を得る。

```
rule002(  
  [管理責任(管理責任1,  
    [主体=市役所1, 客体=不発弾1]),  
  ...  
  -->  
    [賠償責任(賠償責任1, [主体=市役所1, 客体=子供1])]).
```

ここで、以下のような属性のマッピングは保存しておく。

ベース	ターゲット	上位概念
市役所1	保健所2	役所
子供1	幼児2	自然人

3. rule002の左辺部のマッピングを行う。概念階層を用いて以下のようなマッピングが得られたとする。ゴールに現れた市役所1と保健所2、および子供1と幼児2のマッピングは整合性が取れているので、成功する。

ベース	ターゲット	上位概念
依頼1	依頼2	依頼
処置1	処置2	処置
放置する1	放置する2	放置
因果関係11	因果関係2	因果関係
重傷1	怪我2	負傷

4. ここで、ベースの個体でマッピングが取れていないのは、以下のものである。

不発弾1, 管理責任1, 回収1, いたずら1, 爆発1, 因果関係1

このうち、システムは他の個体の属性に現れる“不発弾1”, “回収1”, “爆発1”を、そのマッピング情報を用いて概念階層なしに仮説的なマッピングを行い、マッピングの整合性がある場合には、成功したものとして獲得する。このマッピングを表に表すと以下のようなになる。

ベース	ターゲット
不発弾 1	野犬 2
回収 1	捕獲 2
爆発 1	噛み付く 2

これは、類似の状況では、その状況で同様の効果を及ぼすエージェントやオブジェクトは類似と見て良いだろうという仮定に立っている。たとえば、不発弾は、一般的に考えると野犬とは類似しないが、人に怪我を負わせるという状況では類似と考えることができる。具体的には、“不発弾 1”は、概念階層を用いたマッピングが成功した個体“処置 1”、“放置する 1”等の属性として現れるが、これはターゲットの“野犬 2”とマッピングすることで全体として整合性の取れたマッピングが得られる。

“いたずら 1”、“因果関係 1”はターゲットの状況マッピングが得られないが、ルール内での重要度が低いので、最終的にはこれらはマッピングしなくても、左辺部の類似度が閾値を越えれば、問題解決には影響しないだろうと判断され無視される。ここまでの状況を、図 2 で示す。

5. マッピングが取れなかった個体は以下のものである。

管理責任 (管理責任 1, [主体 = 市役所 1, 客体 = 不発弾 1]),

したがって、これをサブゴールと見なして上記と同様の処理を行う。すると、これに対応する事例ルール rule001 が検索される。ここでは、概念階層を用いて以下のマッピングが取れたとする。

ベース	ターゲット	上位概念
浜辺 1	公園 2	公共の場所
放置される 1	放置される 2	放置状態

ここで、マッピングされない個体がなくなったので処理を終了する。これまでの推論の連鎖中でマッピングの整合性は保たれたので、正当性としてマッピングに用いられた情報を提示する。たとえば、野犬 2 と不発弾 1 のマッピングに対して以下のようなものが得られる。先頭に “*”がついているものは、同様に仮説的なマッピングである。

Mapping: Case 不発弾 1 Problem 野犬 2

Justification: rule002:

Case Problem

放置される 1(主体)	放置される 2(主体)
処理 1(客体)	処置 2(客体)
*回収 1(客体)	捕獲 2(客体)
放置する 1(客体)	放置する 2(客体)
*爆発 1(主体)	噛み付く 2(主体)

6. 類似度は、マッピングされた個体の概念階層間の距離と事例ルールの左辺部要素に付加された重要度により計算される。サブゴールの類似度はそのゴールの類似度に反映される。最初のゴールを満たす事例ルールの類似度を計算し、以下のような問題解決過程を得る。

• rule001 より

放置された野犬にたいして、保健所は管理責任がある。

• rule002 より

保健所は公園の野犬に対して管理責任があり、これを捕獲する依頼を受けていたにも関わらず放置しておいたために、野犬が子供に噛み付いて怪我を負わせたので、子供に対して賠償責任がある。

• いずれも過去の判例に類似した判断がある。

このように、過去の問題解決過程を事例ルールとして表現し、最初に概念階層を用いたマッピングを行い、次にそのマッピング情報を用いて全体のマッピングの整合性を保つように仮説的なマッピングを行う。また、状況のマッピングには部分照合を用いる。これにより、ベースの知識が不完全な場合や、状況の照合が不完全な場合においても類推を行うことができる。

4 目的による視点の決定

ターゲットにマッピングに必要な知識、つまり、その個体の特定の属性の記述がなかった場合、従来の手法ではマッピングは行われぬ。そこで、我々は領域知識として概念辞書を用意することでこれを解決する。

類推においては、ベース・ターゲット間の属性のどれとどれをマッピングするかが問題になるが、目的を人力することと概念階層を利用することでこれは絞り込める。我々は、ターゲットの知識が不足した場合、常識的な概念辞書を用い

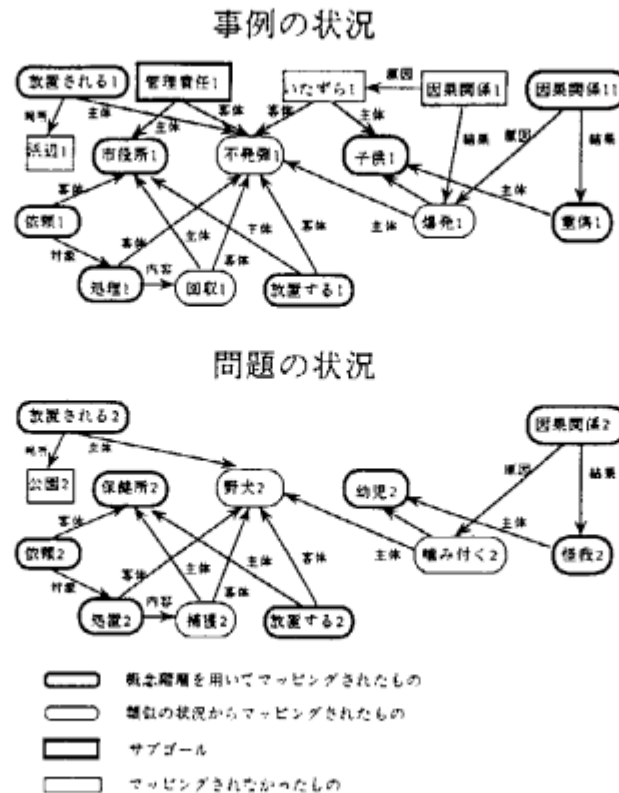


図2: 状況のマッピング

るが、その場合、類推に用いる属性の選択は、当然、目的によって異なる。しかし、目的が決定すると事例ルールにはそのための状況の記述が陽にあるので、マッピングに用いるターゲットの属性の選択は容易である。

ターゲット固有の知識が少ない場合、属性を多く持つことが期待される概念辞書を用いることが多くなるが、目的により概念の選択される属性(視点)を決められるので、記述された属性が多いほどさまざまな視点からの類推を効率を損なわずに行うことができる。

5 正当性の提示と類似性の学習

先に述べた通り、システムは概念階層を用いたマッピングが失敗しても、仮説的なマッピングを行い、事例ルールの連鎖全体においてその整合性が保たれている場合に正当性と共に出力する。この情報を目的と共に記憶し次回からの推論を効率化することができる。

しかし、これは仮説的なマッピングなので、別の推論連鎖が起こると正当ではなくなる可能性がある。この場合失敗からの学習を行う必要

もある。

6 関連する研究

この手法は、Purpose Directed Analogy [Kedar-Cabelli 87] のモデルの拡張および精緻化ともいえる。拡張としては、常識的な知識としての概念階層と概念辞書を導入し、類推の手掛りとして用いる点、および、ベース・ターゲットの状況間の照合に部分照合を導入した点であり、これにより柔軟な推論を行うことができる。これは、また、不完全な知識のもとでも推論が行えることを示しており、[Kedar-Cabelli 87] が示した類推手法の限界の一つへの解答といえる。

EBL [DeJong 86], FBG [Michell 86] との大きな相違点も、不完全な知識のもとでの推論にある。両者とも不完全な知識下では問題解決の過程を示せない。また、これらの多くは、Prolog like な言語で記述され実行されるので、知識表現およびマッピング方式が言語に依存したものになるという制限がある。つまり、知識表現は一階述語、マッピングはユニフィケーションを用いるので、部分照合を行うことが難しい。部分照合を行う

ことができないと、結局、知識表現がマッピングなどの処理方式に依存してしまう。

たとえば、「不発弾が浜辺に放置されていた」と「野犬が公園に放置されていた」とを記述する時、我々の手法だとこれらは一つずつの以下のような個体になるが、

放置状態(放置される1,[主体=不発弾,場所=浜辺])、

放置状態(放置される2,[主体=野犬,場所=公園])、

EBLなどだと後の処理を考えて、たとえば、以下のように記述する必要がある。

放置される1(主体(不発弾))、 放置される1(場所(浜辺))、

放置される2(主体(野犬))、 放置される2(場所(公園))、

なぜなら、場所などはユニファイしない可能性が高いからである。知識表現としては、処理のことを考える必要のない我々の手法がすぐれている。

Structure Mapping [Gentner 83] との大きな違いは、我々の手法では、関係だけではなく、個体の類似性についても考慮している点にある。Gentner の主張は、類似性は高次の関係のマッピングを用いて行われるというものであるが、我々はやはり個体間のマッピングも重要だと考える。

なぜなら、知識表現のレベルでは関係と個体を明確に区別するのは難しいからである。たとえば、先の子供に噛み付いた野犬の例で、野犬が危険であるという知識を表現する場合、野犬の属性として危険があるのか、危険なものの一種として野犬を定義するのかを決定するのはなかなか難しい。したがって、どちらで記述しても推論を行えるようにしなければならない。このため、我々は個体間のマッピングも重視する訳である。

7 おわりに

類推の一手法として、過去の問題解決の過程を事例ルールという形式で表し、その右辺部を目的と見なして backward reasoning で推論を行う方法を提案した。左辺部の照合は、概念階層を用いた照合をきっかけとし、照合の整合性を満たす仮説的なマッピングをも行う。さらに、状況のマッピングでは部分照合を許すので、知識が不完全な場合にも推論を行うことができる。

また、一般的な概念辞書を用いることで、わざわざユーザーが記述しなくても常識などを容

易に反映できる。この場合、目的が決定すると、ベースの状況は過去の事例の左辺部の記述に限定されるので、マッピングすべき属性の対応を決定する問題の解決も容易である。

最後に、類推の正当性ととも、一般的ではない類似性の学習についても述べた。

8 謝辞

この研究の機会を与えて頂いた淵所長および内田研究部長に感謝いたします。ICOT 新田元第7研究室長、および、HELIC-II のメンバーとしてさまざまな助言、励ましを頂いた大嶽、小野、JIPDEC 大崎各氏に感謝の意を表明します。

参考文献

- [岩波 91] 広辞苑第四版机上版、編者新村出、1991.
- [前田 91] 法的推論における並列推論、情処研報 Vol.91, No.62, 1991.
- [Gentner 83] Structure Mapping: A Theoretical Framework for Analogy, Cognitive Science 8.2, pp.155-170.
- [Burstein 83] A Model of Learning by Incremental Analogical Reasoning and Debugging, AAAI-83, pp.45-48.
- [Kedar-Cabelli 87] Toward a computational model of purpose-directed analogy, Analogica: Proceedings of the First Workshop on Analogical Reasoning, Morgan Kaufmann, pp.89-107.
- [DeJong 86] Explanation Based Learning: An Alternative View", Machine Learning 1, 2, pp.145-176.
- [Michell 86] Explanation Based Generalization: A unifying view", Machine Learning 1, 1, pp.47-80.