

TM-1158

類推の論理的構造

有馬 淳

February, 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

類推の論理的構造

Logical Structure of Analogy

PRELIMINARY REPORT

有馬 淳
Jun ARIMA

財) 新世代コンピュータ技術開発機構
I C O T

Abstract: This paper treats a general type of analogy which is described as follows: when two objects, B (called the *base*) and T (called the *target*), share a property S (called the *similarity*), it is conjectured that T satisfies another property P (called the *projected property*) which B satisfies as well. This type of analogy is analyzed formally, it is clarified that analogical reasoning is possible only if a certain form of rule, called the *analogy prime rule*, is a deductive theorem of a given theory. Also, this paper shows that, from the rule, together with two particular conjectures, an analogical conclusion is derived. A candidate is shown for a non-deductive inference system which can yield both conjectures.

1 はじめに

我々はある類推を説明する時、こう言うかも知れない。

・ B と T はともに S という性質を持っているので似ている。一方、 B は P という性質を満たすから T も P という性質を満たすと推測(類推)できる。

あるいはこれを少し形式的に次の推論スキーマを使って表すかもしれない。

$$\frac{S(B) \wedge P(B) \quad S(T)}{P(T)}$$

ここで T は ターゲット (*target*)、 B はベース (*base*) (またはソース (*source*)) と呼ばれる個体 (事物や状況等を表す) で、 S は 類似性 (*similarity*)、 P は 投射性 (*projected property*) と呼ぶ述語 (性質、関係などを表す) である。

しかしながら、上述のものはいずれも類推の説明としては不十分である。 T, B に対して任意の個体、 S, P に対して任意の性質 (述語) が許されているわけではなく、これら類推の基本要素 T, B, S, P はある類推特有の関連性を満たすものに限られている。

この関連性を解明することの重要性は [3, 2] で既に議論されているのでここでは繰り返さない。類推要素の T, B, S, P が満たしているはずのこの条件は、形式的には与えられた公理 A によってのみ性格づけられるから、もとの公理 A と T, B, S, P が満足する類推特有の論理的構造を明らかにするのがこの論文の主要目的である。

従来のはほとんどすべての研究は、関連性という相対的な関係を与えるよりはむしろ、各要素に個別の制限をアブゾリオリに与えて、独立にこれらの問題に答えていこうとしたように見える。類推に関与する性質を制限することで問題を回避しようとしたり、投射される性質と無関係に類似性を定義している [11, 4, 5]。

例えば、Gentner は高階の構造のみが類推に関与するとした。また、Winston のプログラムでは対応するフレーム内で、属性値が等しい属性の個数に依存した類似度を採用している。これらは投射性とは独立して先見的に類似性が決められることを意味する。しかし、個別的な手法では2つのものを与えた時点で、類似度、類似性が決まってしまう、文脈、解く問題に応じて類似性が変化することを説明することができない[3]。

この研究がこれまでのいかなる類推研究とも異なる大きな点は、類推のいかなる要素も要素間の関係もアプリアリに仮定せず、述語論理による類推の形式的な分析を行なうことにより、与えられた公理 A のもとで T, B, S, P が必然的に満たしている論理的关系を求める点にある。

類推研究では、

- 1) “あるターゲットに対し何をベースとするか”
- 2) “共通した性質のうちどの性質が類推に関与する性質(類似性)か”
- 3) “ある類似性に対してどのような性質が投射されるか”

が長い間本質的な問いであり続けている。これら類推要素間の関連性を明らかにすることはこれらの問いに答えることに他ならない。ここで得られた結果はこれらすべての問いに対する一つの一般的な解答になっており、形式的議論だけでどこまで類推が捕らえられるかを示す一例となるだろう。

まずはじめに、論理的分析によって類推が行なわれた時にはある種の規則が理論 A の定理としてなければならないことを示し、その規則とある2種の(一般的に非演繹的な)推論によって類推が行なわれていることを明らかにする。次に、この2種の推論を実現できる一つの有望な推論方式を示す。

2 論理的分析

2.1 準備

ここでは通常の一階言語、およびそれに対する2引数メタ述語、 I (証明可能性を表す)を使う。 n -引数述語 I' は一般に $\lambda x.Q$ で表される。ここで、 x は n 組の個体変数であり、 Q は、 x に含まれない変数は自由に現れない論理式である。また、 I が n 組の項である時、 $I'(t)$ は Q における x の要素のそれぞれの現れに対応する I の要素を同時に代入した結果を表すものとする。また、公理は閉じた論理式(すべての変数が束縛されている論理式)の集合で、文脈に応じて論理積または集合で表すものとする。

2.2 論理的分析導入

個体であればどんなものもベース、ターゲットになりえるから、類推は以下のように整理することができる。

- 1) 実例情報: “ある個体 (x' : ベースに対応) が S と P を満足している ($\exists x'. S(x') \wedge P(x')$). ”
- 2) 類似情報: “ある個体 (x : ターゲットに対応) が S を満足している ($S(x)$). ”
- 3) 類推結論: “その個体 (x) も P を満足する ($P(x)$). ”

類推は、(1)+(2) から、(3) を結論づける推論である。

“ある個体 (x' : ベースに対応) が S と P を満足している”という実例情報と、“ある個体 x が類似性 ($S(x)$) を満足する”という類似情報が A に加わると、“後者の個体が投射性を満足する ($P(x)$)”類推結論が類推によって導かれる。

類推は一般に演繹的でないので、

$$A, (\exists x'. S(x') \wedge P(x')), S(x) \not\vdash P(x) \quad (1)$$

である。上式は、ターゲットが投射性を持つことが演繹されるためには前提部にいくらかの知識が必要であることを示している。これを、一般に x に依存するものとして、 $J(x)$ と表すことにする。すなわち、

$$A, (\exists x'. S(x') \wedge P(x')), S(x), J(x) \vdash P(x). \quad (2)$$

従って、類推の本質は必ずしも明示的な投射性 P でなく知識 J を仮定することにあることになる。ここで、実例情報は A のもとで成り立つ ($A \vdash (\exists x'. S(x') \wedge P(x'))$) と仮定できるので¹、上式の前提部では除くことができる。次に、 $S(x), J(x)$ を右辺に移行する。 A は閉じているから、(述語計算によって) 結局、

$$A \vdash (\forall x. J(x) \wedge S(x) \supset P(x)) \quad (3)$$

が成立していることになる。これは、条件 $J(x)$ を満たすすべての個体に対して、 S を満足することから P を満足することを結論づけるルールが A の定理になっていることを示している。このルールを類推原子規則 (*analogy prime rule*) と呼び、 J が満たされると、($(\forall x. S(x) \supset P(x))$ により) 類似情報 (ある個体が類似性 S を満足すること) から、類推結論 (その個体が P を満足すること) は論理的帰結になるから、 J を類推正当化条件 (*analogy justification*)、($\forall x. S(x) \supset P(x)$) を類推規則 (*analogy grounded rule*) と呼ぶ。すなわち、 S を満足する個体 T (ie. $S(T)$) は類推正当化条件 ($J(T)$) を類推によって仮定されることで、類推原子規則から P を満足すること (ie. $P(T)$) が導かれるということになる。

ここで、議論を進める前にもう一度主要点を確認しておきたい。これまでの議論で明らかにされたのは:

“類推結果は、実例情報、類似情報を用いて、類推原子規則から導かれる”

ということである。もし、類推が非演繹的になるとすると、ターゲットが正当化条件を満足すること (ie. $J(T)$) を仮定するところが非演繹の原因である。以下ではこの J の構造を中心に分析し、原子規則の詳細化と類推の構造を明らかにして行く。抽象的な議論の前に幾つかの例題にあたっておくことは有意義である。次に本論文で扱う類推の例題を幾つか挙げる。

2.3 例題

[例題 1: 決定規則 ([3] より)] “Bob の車 (C_{Bob}) の値段を知りたい。同じ型 (*Mustang*) の Sue の車 (C_{Sue}) が \$3500 であることを知っていたので、\$3500 くらいだろうと推定する。”

実例情報:

$$Model(C_{Sue}, Mustang) \wedge Value(C_{Sue}, \$3500). \quad (4)$$

類似情報:

$$Model(C_{Bob}, Mustang). \quad (5)$$

[例題 2: Brutus と Tacitus ([2] より)] “Brutus は怪我をしたり、火傷したりすると痛みを感じる。Tacitus も怪我をすると痛みを感じる。よって、Tacitus も火傷すると痛みを感じるだろう。”

実例情報:

¹この仮定は実例は既存の知識から取り出されるという理由により妥当なものであるが、この仮定をおかずに、 J を改めて J と実例情報の論理積とみなして以下の議論を全く変えずに行なうこともできる。

$$(Suffer(Brutus, Cut) \supset FeelPain(Brutus)) \quad (6)$$

$$\wedge (Suffer(Brutus, Burn) \supset FeelPain(Brutus)) \quad (7)$$

類似情報:

$$Suffer(Tacitus, Cut) \supset FeelPain(Tacitus) \quad (8)$$

[例題 3: 怠慢学生²] “新しく研究室に入ってきた学生 ($Student_T$) がオーケストラ部 ($Orch$) に入っていることを知り、以前、入って来たオーケストラ部員の学生 ($Student_B$) は研究 ($Study$) を良くさぼったことを思いだし、この学生もサボリだろうと思う。”

実例情報:

$$Member_of(Student_B, Orch) \wedge Negligent_of(Student_B, Study) \quad (9)$$

類似情報:

$$Member_of(Student_T, Orch) \quad (10)$$

2.4 分析: 類推の種と2つの推測

類推では、あるベースとなる個体が性質 S, P を持つという事実から生じる情報がターゲットに投射されるから、高階の変数を使わずに済むよう、性質を個体で扱うことが望ましい。そこで、 S, P を改めて $S = \lambda x. \Sigma(x, S)$ 、 $P = \lambda x. \Pi(x, P)$ で表現することにする。例えば $\Sigma(B, S)$ は“ B の属性 K における値は S である”と読める (“Bob の車 (C_B) の車種は Mustang である”は例えば $Model(C_B, Mustang)$ と書く)。この新しい S, P をそれぞれ類似値、投射値と呼ぶことにする。すると、(3) の類推原子規則をこれらすべての値に従属するとして、最も一般的に書き換えると

$$A \vdash \forall x, s, p. J(x, s, p) \wedge \Sigma(x, s) \supset \Pi(x, p) \quad (11)$$

繰り返しになるが、 $\langle$ 個体 x , 類似値 s , 投射値 $p \rangle$ の組が類推正当化条件 J を満たす時、個体 x が類似性 $\lambda x. \Sigma(x, s)$ を持つことから投射性 $\lambda x. \Pi(x, p)$ を持つこと (類推結論) を演繹できることになる。すなわち、 $J(x, s, p)$ は“ x が類似性 $\lambda x. \Sigma(x, s)$ を満たす時に、 x が投射性 $\lambda x. \Pi(x, p)$ を持つと類推できる”ための条件である。

類推は、実例情報、類似情報を用いて、類推原子規則から導かれることをふまえて、それぞれの情報が類推規則に与える役割を考えることによって、類推正当化条件 J を満たす幾つかの $\langle$ 個体, 類似値, 投射値 $\rangle$ の組と条件 J が満たす特異な性質を引き出すことができる。

- 1) 実例情報: $\Sigma(x, S)$ を満足するベース B が $\Pi(x, P)$ を満たすことがやはり類推原子規則によって導けると考えるのは妥当である (ベースも類似性 S を満たす一つのターゲットと見ることができる)。すなわち、 $\langle B, S, P \rangle$ の組は類推正当化条件を満足している。ベースは任意の個体で良いから、実例情報から得られるのは、ある個体と S, P の組が J を満足しているということ $\exists x'. J(x', S, P)$ である。
- 2) 類似情報: 上記のような S を満足する個体 T はその事実だけから類推によって、すなわち、正当化条件 J を満足することが仮定されることにより、類推結論が得られる。すなわち、なんらかの投射性 p' があり、 $\langle T, S, p' \rangle$ は J を満足することが仮定される ($\exists p'. J(T, S, p')$)。
- 3) 類推結論: 以上の情報を得ると、 S を満足する個体 T が P を満足することが類推規則によって導かれるから、このような $\langle T, S, P \rangle$ は J を満足する。

² この興味深い例を与えてくださった佐藤理史氏 (京大) に感謝致します。

以上の議論において、 T, S, P には任意性があるので、

$$\forall x, s, p, (\exists x', J(x', s, p)) \wedge (\exists p', J(x, s, p')) \supset J(x, s, p) \quad (12)$$

が成り立つことになる。(12) は正当化条件 J が以下のようにおけることと等しい。

$$J(x, s, p) = G_{att}(s, p) \wedge G_{obj}(x, s). \quad (13)$$

ここで、 G_{att} , G_{obj} は述語 (引数以外の変数は自由に現れない) である。(13) の要点は、 x と p が同じ連言子に現れることはないという事実である。

以上の (11), (13) より、類推原子規則は改めて以下のように定義できることになる。

定義 1 類推原子規則

以下の形の規則を属性 Σ , Π に関する類推原子規則と呼ぶ。

$$\forall x, s, p, G_{att}(s, p) \wedge G_{obj}(x, s) \wedge \Sigma(x, s) \supset \Pi(x, p) \quad (14)$$

ここで、 $G_{obj}(x, s)$, $G_{att}(s, p)$, $\Sigma(x, s)$, $\Pi(x, p)$ は各々、引数以外の自由変数を含まない論理式であり、 x, s, p はそれぞれ互いに排反な変数 (組) である。

G_{att} を 属性値正当化条件、 G_{obj} を 個体正当化条件と呼ぶ。

□

以上のことから、類推が非演繹的になる以下の 2 つの要因が考えられる。

- 実例に基づく推測 (EC: *Example-based Conjecture*): ある個体によって Σ の属性値と Π の属性値の可能な組を得る。

$$\exists x, \Sigma(x, S) \wedge \Pi(x, P) \vdash^A G_{att}(S, P) \quad (15)$$

- 類似性に基づく推測 (SC: *Similarity-based Conjecture*): もし新たにある個体 x が同じ類似性 ($\Sigma(x, S)$) を満足するならば、同じ類推が行なわれる。すなわち、 $\Sigma(x, S)$ なる組 $\langle x, S \rangle$ は J を満たす。

$$\Sigma(x, S) \vdash^A G_{obj}(x, S) \quad (16)$$

これらの結果、類推は、 Σ , Π の類推原子規則が A の定理である場合にのみ可能であり、処理は以下の 3 ステップに分解できることがわかる: 1) 実例情報から EC によって属性正当化条件を満足させる。2) 類似情報から SC によって個体正当化条件を満足させる。3) 上述の 2 つの結果により特殊化された類推原子規則および類似情報から演繹によって類推結論を得る。

EC, SC とはどんな推論なのかが残された疑問である。次の節でそれらを実現できる一つの推論方式を提案する。

3 提案: 類推の基礎としてのある非演繹的推論

この節では、 $\mathcal{A}$ のもとで、新たな情報 K を得ることによって G を推測する推論について考察する。

まず、一般的に非演繹的推論、 $\vdash^{\mathcal{A}}$ 、は以下の性質を持つことが望ましいと考えられる。まず第1に演繹より強いこと、即ち、すべての演繹結果がその非演繹推論からも導かれることが望ましい。第2に、非演繹的推論の結果を演繹的に利用できること、また、第3に与えられた情報に対して無矛盾であることが必要であろう。

定義 2 G が K に関する $\mathcal{A}$ からの保存的 (conservative) 推測である ($K \vdash^{\mathcal{A}} G$ と書く) とは、以下の条件が成り立つことである:

- i) 演繹を含むこと: if $\mathcal{A}, K \vdash G$ then $K \vdash^{\mathcal{A}} G$.
- ii) 演繹的有用性: if $K \vdash^{\mathcal{A}} G$ and $\mathcal{A}, K, G \vdash H$ then $K \vdash^{\mathcal{A}} H$
- iii) 無矛盾性: if $K \vdash^{\mathcal{A}} G$ and $\mathcal{A} \cup K$ is consistent then $\mathcal{A} \cup K \cup \{G\}$ is consistent.

具体的に以下で定義される推論は、前件の情報に依存した保存的推測の一つである。

定義 3 G が K に基づく $\mathcal{A}$ からの傍証的推論 (circumstantial reasoning) ($K \vdash_{\star}^{\mathcal{A}} G$ と書く) による推測であるとは、以下の条件を満たすある節集合 E が存在することである:

- i) E は以下の条件を満たす極小の集合である: $\mathcal{A}, E \vdash K$ であり、 $\mathcal{A} \cup K$ が無矛盾である時、 $\mathcal{A} \cup E$ も無矛盾である。
- ii) $\mathcal{A}, E \vdash G$.

命題 1 If $K \vdash^{\mathcal{A}} G$ and $K, G \vdash_{\star}^{\mathcal{A}} H$, then $K \vdash^{\mathcal{A}} H$.

系 1 If $K \vdash_{\star}^{\mathcal{A}} G$, then $K \vdash^{\mathcal{A}} G$.

系 1 は傍証的推論が保存的推論を行なうことを示している。また、命題 1 (と系 1) は、傍証的推論の複数回の適用による推論もまた保存的であることを示している。

この傍証的推論 ($K \vdash_{\star}^{\mathcal{A}} G$) は³、AI 分野で扱われてきた多くの推論がこの推測と見なすことができるという意味で、極めて一般的で有用なクラスである。例えば、演繹結果は上記命題、および定義が示すようにこの推測の結果と考えることができる。また、例からの一般化に基づく論理プログラムの学習は、 $\mathcal{A}$ は一般に空集合、 K を例、 G を生成される論理プログラムと見なすことができる (定義 3 において、 $G = E$ の場合になる。この場合 G が K を導出する極小の例を導出できるプログラムが極小である条件は多くの例からの学習で採用されている)。

そこで、EC、SC は、基づく情報が異なるだけの傍証的推論であると仮定してみよう。すると、類推の分析結果から類推をさらに詳細に見ることができる。

Σ 、 Π に関する類推原子規則が $\mathcal{A}$ の定理であるとする。あるベース B に関して実例情報、 $\Sigma(B, S) \wedge \Pi(B, P)$ 、を得たとしよう。類推原子規則が $\mathcal{A}$ の定理であるから、傍証的推論によって、

$$\Sigma(B, S) \wedge \Pi(B, P) \vdash_{\star}^{\mathcal{A}} G_{att}(S, P) \wedge G_{obj}(B, S) \quad (17)$$

³circumstantial reasoning は本質的にある意味の hypothetical reasoning や abduction + deduction に等しい。但し、いづれの言葉も定義がかなり多様であり、混乱を避ける意味でこの言葉を使う。

が成り立つ。類推原子規則が類拠規則に変換できるためにはさらに SC を行なわれなければならないが、類似情報の説明に類推原子規則は一般に使えないため、 $\mathcal{A}$ の別の定理から得られなければならないことがわかる。なお、EC と SC の 2 つの傍証的推論によって類拠規則が得られるが、命題 1 (と系 1) によってその場合も望ましい性質を保持していることが判る。

4 類推の分類と例題

前章の結果から、EC、SC それぞれに対して演繹によるものと非演繹によるものとに分けることができるので、計 4 タイプに類推を分類することができる。それぞれの類推の例を与え、それらの類推が傍証的推論によって可能であることを示す。

4.1 演繹的 EC + 演繹的 SC = 決定規則に基づく類推

T.R.Davies らは [3]、類推の結果が正当化され、しかもその推論の過程でベースに関する情報を使うものが満たす基準として、以下の決定規則 (*determination rule*) が領域知識 $\mathcal{A}$ にあると考えた。

$$\forall s, p. (\exists x'. \Sigma(x', s) \wedge \Pi(x', p)) \supset (\forall x. \Sigma(x, s) \supset \Pi(x, p)) \quad (18)$$

すなわち、ある個体 (前件部の x' : ベースに相当) があり、それが $\lambda x. \Sigma(x, s)$, $\lambda x. \Pi(x, p)$ を満足するならば、 $\lambda x. \Sigma(x, s)$ を満足する任意の個体が $\lambda x. \Pi(x, p)$ を満足するという規則であり、直感的には、属性 K の値が s であり、 l の値が p である一例によって、 K の値が先の値 (y) と等しいすべての個体は、 l の値も先の値 (p) に等しくなる (と決定できる) というルールになっている。例えば、例題 1 は領域知識として以下の決定規則があると考える。

$$\forall s, p. (\exists x'. \text{Model}(x', s) \wedge \text{Value}(x', p)) \supset (\forall x. \text{Model}(x, s) \supset \text{Value}(x, p)) \quad (19)$$

[例題 1: 決定規則]

決定規則 (19) は以下のように対応づけられる類推原子規則であることがわかる。

$$G_{obj}(x, s) = \text{True}, \quad G_{att}(s, p) = (\exists x. \text{Model}(x, s) \wedge \text{Value}(x, p)),$$

$$\Sigma(x, s) = \text{Model}(x, s), \quad \Pi(x, p) = \text{Value}(x, p)$$

EC:

$$\text{Model}(C_{Must}, \text{Mustang}) \wedge \text{Value}(C_{Must}, \$3500) \vdash G_{att}(\text{Mustang}, \$3500) \quad (20)$$

SC:

$$\text{Model}(C_{Bob}, \text{Mustang}) \vdash \text{True} \quad (21)$$

決定規則に基づく類推は“演繹的 EC + 演繹的 SC”型に属する。傍証的推論は保存的推論の一つであり、すべての演繹結果がその定理であることに注意されたい。すなわち、傍証的推論によっても、

$$\forall x. \text{Model}(x, \text{Mustang}) \supset \text{Value}(x, \$3500) \quad (22)$$

を得、類似情報: $\text{Model}(C_{Bob}, \text{Mustang})$ との演繹によって類推結論: $\text{Value}(C_{Bob}, \$3500)$ と推定することができる。

4.2 演繹的 EC + 非演繹的 SC

筆者は先に、以下の2つの前提だけを認める場合、そのような類推が例証的基準と呼ぶ関係を満たすのは避けられない結論であると論じた[2]。その前提とは、

[前提1] “類推はベースが満たす何らかの性質をターゲットも持つと仮定することによってその推論が行なわれる”

[前提2] “ターゲットは特殊な個体ではない”，もしある個体が同じ類似性を満たすことだけが判っているならば、同じ類推によってその個体に対する同じ類推結果を引き出すことができる。

である。前提2は本稿でも用いられている。前提1は、(3)式の $J(B)$ が B が現れる A の定理であり、 $J(B)$ における B の現れを x に置き換えた $J(x)$ を仮定することにより類推の非演繹的結果が生ずるということを意味している。従って、類推が非演繹的になる原因は類似性に基づく推論(SC)のみであり、“演繹的 EC + 非演繹的 SC”に属する。

[例題2: Brutus と Tacitus]

例証的類推では、類似性を既知のベース領域で説明した時に使われたベースの性質がターゲットも満たすと推測する。例題2では、ベースが類似性を満たすことの説明のため(*Brutus*は“怪我をすると痛みを覚える”ことの説明のため)、以下の2式が A のもとで成り立っていると考える。

$$\forall x, i. \text{Animal}(x) \wedge \text{Destructive}(i) \wedge \text{Suffer}(x, i) \supset \text{FeelPain}(x) \quad (23)$$

$$\wedge \text{Animal}(\text{Brutus}) \wedge \text{Destructive}(\text{Cut}) \wedge \text{Destructive}(\text{Burn}) \quad (24)$$

(23)式から次の式も A の定理である。

$$\begin{aligned} & \forall x, s, p. \text{Animal}(x) \wedge \text{Destructive}(s) \wedge \text{Destructive}(p) \\ & \wedge (\text{Suffer}(x, s) \supset \text{FeelPain}(x)) \supset (\text{Suffer}(x, p) \supset \text{FeelPain}(x)) \end{aligned} \quad (25)$$

上式は以下のように対応する類推原子規則である。

$$\begin{aligned} G_{obj}(x, s) &= \text{Animal}(x), \quad G_{att}(s, p) = \text{Destructive}(s) \wedge \text{Destructive}(p), \\ \Sigma(x, s) &= \text{Suffer}(x, s) \supset \text{FeelPain}(x), \quad \Pi(x, p) = \text{Suffer}(x, p) \supset \text{FeelPain}(x). \end{aligned}$$

$G_{att}(\text{Cut}, \text{Burn})$: “怪我也火傷も破壊的である”は(24)式のとうり A からの演繹的結果である。また、 $G_{obj}(\text{Tacitus}, \text{Cut})$ 、“Tacitusは動物である”の推測は、(23)式から、類似情報、“Tacitusは怪我をするといたみを覚える”、に基づく傍証的推論によって非演繹的に得られる。

4.3 非演繹的 EC + 演繹的 SC

この型に属する類推は筆者の知る限り報告されていない。例題3で考えよう。まず、この型の類推を直感的に捕らえる。

実例情報から得られた情報がどんなものだったかを考えよう。“以前やってきたオーケストラ部の学生が研究をよくさばった”ことから判ることは、“オーケストラ部は忙しいクラブだ”ということと、“オーケストラ部と研究が相入れない関係である”ことが判明したと考えることができる。すなわち、 A の元で以下の知識が成り立っており、

$$\forall x, s, p. \text{BusyClub}(s) \wedge \text{Obstructive_to}(p, s) \wedge \text{Member_of}(x, s) \supset \text{Negligent_of}(x, p), \quad (26)$$

この知識を用いて現象を説明することにより、上記情報“ $\text{BusyClub}(\text{Orch})$, $\text{Obstructive_to}(\text{Orch}, \text{Study})$ ”を得たと考えることができる。“オーケストラ部が忙しい($\text{BusyClub}(\text{Orch})$)”こと、“相入れぬ関係であ

ること ($Obstructive_to(Orch, Study)$)” はもともと A のもとで成り立っていたものではなく、实例情報を得てはじめて得た非演繹的結果である。

[例題 3: 怠慢学生] この例題の上述の式は以下のように対応が付く類推原子規則である。

$$\forall x, s, p. \text{BusyClub}(s) \wedge \text{Obstructive_to}(p, s) \wedge \text{Member_of}(x, s) \supset \text{Negligent_of}(x, p), \quad (27)$$

$$G_{obj}(x, s) = \text{True}, \quad G_{att}(s, p) = \text{BusyClub}(s) \wedge \text{Obstructive_to}(p, s),$$

$$\Sigma(x, s) = \text{Member_of}(x, s), \quad \Pi(x, p) = \text{Negligent_of}(x, p).$$

实例情報, “以前やってきたオーケストラ部の学生が研究をよくさぼった ($\text{Member_of}(\text{Student}_B, \text{Orch})$, $\text{Negligent_of}(\text{Student}_B, \text{Study})$)” に基づいて, 類推原子規則を使った傍証的推論によって, “オーケストラ部は忙しく, 研究と相入れぬ関係である ($G_{att}(\text{Orch}, \text{Study})$)” ことを非演繹的に得ることができる。

4.4 非演繹的 EC + 非演繹的 SC

このタイプの例題としては, 例題 2 において, (24) 式の例えばすべてが A の定理でない場合がこの型に属する。この場合, 傍証的推論を使うことにより, (23) 式から实例情報: “Brutus は怪我をしたり火傷したりすると痛みを覚える” に基づいて, “Brutus は動物である” こと, “怪我も火傷も破壊的であること” が推測される。さらに, 類似情報: “Tucitus も火傷したりすると痛みを覚える” ことから, “Tucitus は動物である” ことが新たに推測される。この結果, 類推原子規則 (or (23) 式) から演繹的に “Tucitus も火傷したりすると痛みを覚える” を得る。

5 まとめと考察

● 本研究により何が言えるか

類推はある類推原子規則が成り立つ時のみ可能であり, 例題に基づく推測と類似性に基づく推測によってその規則から類推結論が導かれうる。また, この 2 種の推測を行ないうる一つの候補を提案した。

類推原子式は類似性, 投射性, 公理間の制約を表し, 实例情報と類似情報はベース, ターゲット, 類似性, 投射性, 公理間の制約を表していると考えることができる。すなわち, ここで得た結果はこれら類推の 5 要素が満たすべき一般的な制約を表している。

● 一般性

ここでは特別な (投射されやすい) 関係, 述語を仮定していない。ターゲット, ベース, 類似性, 投射性が満たす “重要な” 関係は与えられる任意の公理にのみ依存して決まる。このことは, 類推のために特殊な知識表現は必要なく, 通常の演繹データベースにこの結果がそのまま使えることを意味する。

また, 特別な関係を使用したこれまでの研究とも独立な関係にあり, それらの結果を矛盾なく併用することができる。従来研究との併用は, 計算論的観点から, あるいは, 認知科学的観点から, 一般性が問題になる場合に, 有効かも知れない。

● 本研究が可能にする新しい類推システム

この結果は, 類推研究で中心的課題であった 1) “あるターゲットに対し何をベースとするか” 2) “どの性質をもって類似性というか” 3) “ある類似性に対してどのような性質が投射されうるか” のすべてに対し答えることができる。ここで得た制約を満足する類推要素がその解である。この結果,

問題に応じて動的に類似性を決め、自動的にターゲットを引き出す全く新しいシステムを構築することができる。

この結果に基づく類推システム実現のための考察とアルゴリズムは別の機会に報告する。

References

- [1] Arima,J.: Analogy by Simulation - a Weak Justification Method, in *Proc. of The First International Workshop on Algorithmic Learning Theory*, pp.164-173 (1990).
- [2] Arima,J.: A Logical Analysis of Relevance in Analogy, in *Proc. of Workshop on Algorithmic Learning Theory ALT'91*, (1991). (To Appear)
- [3] Davies,T. & Russell,S.J.: A logical approach to reasoning by analogy, in *IJCAI-87*, pp.264-270 (1987).
- [4] Gentner,D.: Structure-mapping: Theoretical Framework for Analogy, *Cognitive Science*, Vol. 7, No. 2, pp.155-170 (1983).
- [5] Greiner,R.: Learning by understanding analogy, *Artificial Intelligence*, Vol. 35, pp.81-125 (1988).
- [6] 原田誠, 有川節夫: 類推の定式化とその実現, *人工知能学会誌*, Vol. 1, No. 1, pp132-139 (1986).
- [7] Kedar-Cabelli,S.: Purpose-directed analogy, in *the 7th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp.150-159 (1985).
- [8] Mitchell,T., Keller,R. & Kedar-Cabelli,S.: Explanation-Based Generalization: A Unifying View, in *Machine Learning I*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp.47-80 (1986).
- [9] Murphy,G.L. and Medin,D.L.: The Role of Theories in Conceptual Coherence, *Psychological Review*, vol.92, pp.289-316 (1985).
- [10] Poole,D.: A logical framework for default reasoning, *Artificial Intelligence* **36**, pp 27-47 (1988).
- [11] Winston,P.H.: Learning Principles from Precedents and exercises, *Artificial Intelligence*, Vol. 19, No. 3 (1982).
- [12] 米盛裕三: ベースの記号学, 鮎草書房, 1981.