人　工　知　能 79－3
（1991. 11. 26）

多重類推のメカニズム

脇園 竜次[1]　内平 直志[1]　本位田 真一[1]

情報処理振興事業協会　新ソフトウェア構造化モデル研究本部
E-mail : ryu@caa.ipa.go.jp

概要：学習や問題解決においては，うまく複数の知識を取り込むことでよりよい結果がえられる．しかし，複数の知識の取り込みには様々な問題があり，単純に結合するだけでは取り込んだ知識を利用することはできない．そこでは，必要な知識の収集，知識間の対応付け，無矛盾性などが重要になる．我々は，この問題に対して知識間の類似性に基づいた知識変換を考えている．本稿では，一階述語論理における類推理論 [8] を拡張して，複数個の知識を用いる類推 (多重類推) について検討する．また，複数の知識の中から必要なものを検索する手法を与える．

Mechanism of Multiple Analogical Reasoning

Ryuji Wakizono　Naoshi Uchihira　Shin-ichi Hon-iden

Information-Technology Promotion Agency, Japan (I.P.A)
Shiba-kouen 3-1-38, Minato-ku, Tokyo 105, Japan

ABSTRACT : In learning and problem solving, there are several situations in which we can derive better results from multiple knowledge sources. But, only collecting knowledge sources is not enough to realize it. Retrieving necessarily knowledge sources, corresponding and consistency between knowledge sources are very important factors. We use a knowledge transformation based on the similarity between knowledge sources. First we introduce the extended theory of analogical reasoning that uses multiple knowledge sources (multiple analogical reasoning) based on [8]. Then according to this theory, we propose a method using the abstraction of predicate to retrieve source domains on which analogical reasoning is carried out.

[1](株) 東芝より出向

1　はじめに

既知の知識を利用した学習や問題解決においては，一般に複数の知識が用いられる．複数の知識が相互に作用することにより，より多くの情報が導き出されることが期待できる [2]．実際に，人間社会においても協力・協調の形式で多くの人が相互に情報を提供することにより複雑で大規模な問題に対処している．近年，このような分散協調アーキテクチャについて多くの議論がなされている．分散協調アーキテクチャにおける最小構成部品はエージェントと呼ばれ，これらが協力・協調することにより，問題に取り組む．分散協調アーキテクチャの構成における目標にはいくつかあるが，ここでは，“情報，知識を共有することにより，可能な処理の範囲を拡張する”ことを念頭に置く．そこで問題となるのは，複数のエージェント群をいかにうまく協調させていくかである．それぞれのエージェントは，自分の持っている知識で問題を処理しきれない場合には，不足する情報・知識を他のエージェントに要求することになる．

本稿では，何らかの推論が可能な知識の集合 (特に，論理プログラム) をエージェントと呼ぶことにする．エージェントは，図 1のように複数個存在する．ターゲットとなるエージェントは，処理する問題に対して一つ定まるものとする．

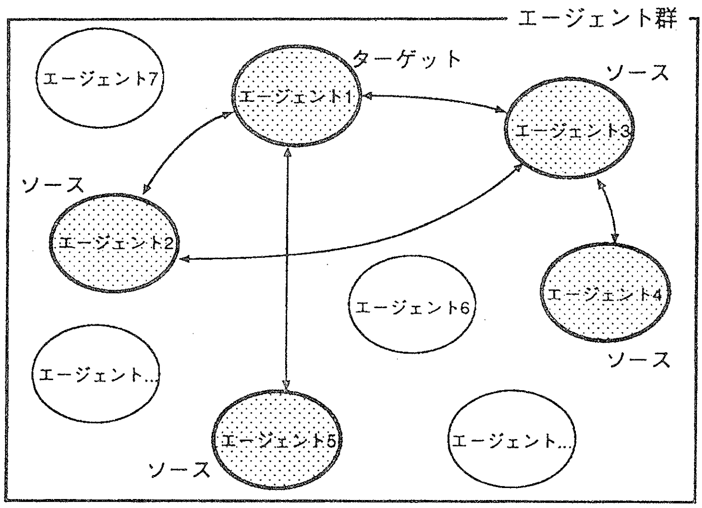


図 1: 多重類推の概念図

一般に各エージェントは，異なる述語記号，関数記号，定数を持つと考えられる．図中では矢印でエージェント間の対応を表現しているが，各エージェントに出現する記号の対応関係を類似性 (類比と呼ぶ) として表す．一つのエージェントで処理できない問題が発生した場合は，応用可能な他のエージェントの知識を類似性に基づいて変換し利用する．本稿では，次節でこのような複数のエージェントを対象とした類推の定式化を類推理論 [4, 5, 8] に従って行ない，それに基づいて類推に必要なエージェントの検索について検討する．

2　多重類推

与えられた2つのエージェント間には，一つの類比が定められる．このような類比が複数個存在する場合に，それらを多重類比 (Multiple Analogy) と呼ぶ．また，多重類比下での類推を多重類推 (Multiple Analogical Reasoning) と呼ぶ．Multiple Analogy に関する他の文献としては，概念形成に関する [1] などがある．

ここでの多重類推の目的は，図2のようにターゲットとなるエージェントに与えられたゴール α がターゲットのモデルに含まれない場合に，類推を重ねることにより α を含むようにモデルを拡張することにある．

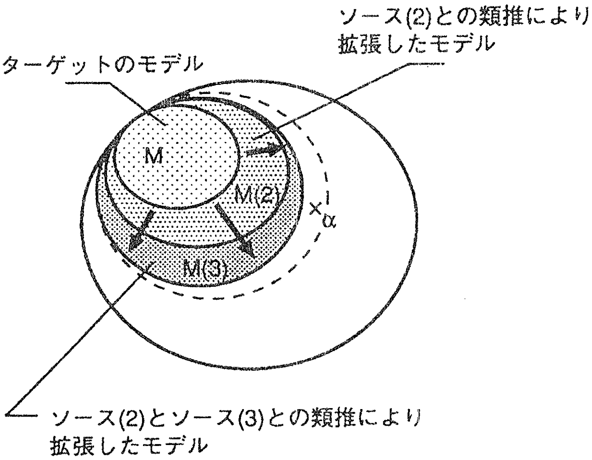


図 2: 多重類推におけるモデルの拡張

[8] に基づいて，述語論理の上で多重類推の定式化を行なう．簡単のため，エージェントの数を $en = 3$ として考える．

まず，基本的な定義を行う．P_1，P_2，P_3 を確定節プログラムとし，F_i，Π_i，U_i，M_i をそれぞれ P_i の関数記号の集合，述語記号の集合，エルブラン領域，最小エルブランモデルとする．対応付け $\psi^{ij} = \langle \psi_1^{ij}, \psi_2^{ij}, \psi_3^{ij} \rangle$ $(1 \leq i < j \leq en)$ を以下で定義する．

$\psi_1^{ij} \subseteq U_i \times U_j$ は1対1の関係である．

$\psi_2^{ij} \subseteq F_i \times F_j$ は1対1の関係である．

$\psi_3^{ij} \subseteq \Pi_i \times \Pi_j$ は1対1の関係である．

この ψ^{ij} を次の条件 (1)，(2) を満たす最小の集合としてエルブラン領域間の対応付け ψ^{ij+} へと拡張する．

(1) $\psi_1^{ij} \subseteq \psi^{ij+}$

(2) $\langle t_k, t'_k \rangle \in \psi^{ij+}$，$\langle f, f' \rangle \in \psi_2^{ij}$ $(1 \leq k \leq n)$ $\Rightarrow$ $\langle f(t_1, \ldots, t_n), f'(t'_1, \ldots, t'_n) \rangle \in \psi^{ij+}$

エルブラン領域間の同一視を与える ψ^{ij+} と述語記号の同一視を与える ψ_3^{ij} からアトム間の同一視を与える．P_i と P_j のアトム

$$\alpha_i = p(t_1, \ldots, t_n)\ ,\ \alpha_j = p'(t'_1, \ldots, t'_n)$$

に対して，

$$\langle p, p' \rangle \in \psi_3^{ij}\ ,\ \langle t_k, t'_k \rangle \in \psi^{ij+} \quad (1 \leq k \leq n)$$

が成り立つとき α_i と α_j は同一視されるといい，$\alpha_i \psi^{ij} \alpha_j$ と書く．

ψ^{ij+} は1対1でないこともある．この場合は，領域間の対応関係とそれぞれの領域での等価性が整合しないことを表す．そこで，ψ^{ij} をエルブラン領域間の部分的な同一視を与える写像として捉え，ψ^{ij+} が1対1の項間の関係である場合についてのみ考察し，このことを保証する条件 SPIC (Semantic Partial Identity Condition) を与える [4, 5, 8].

なお，以下の式では ψ^{ij} を次のような関数としても用いる．

$$\begin{aligned}
&\psi^{ij}(t) = t' \ :\ \langle t, t' \rangle \in \psi_1^{ij} \text{ もしくは } \langle t', t \rangle \in \psi_1^{ij} \\
&\psi^{ij}(f) = f' \ :\ \langle f, f' \rangle \in \psi_2^{ij} \text{ もしくは } \langle f', f \rangle \in \psi_2^{ij} \\
&\psi^{ij}(p) = p' \ :\ \langle p, p' \rangle \in \psi_3^{ij} \text{ もしくは } \langle p', p \rangle \in \psi_3^{ij} \\
&\psi^{ij}(A \leftarrow B_1, \ldots, B_n) = A' \leftarrow B'_1, \ldots, B'_n \\
&\qquad\qquad :\ A\psi^{ij}A', B_k\psi^{ij}B'_k \text{ もしくは } A'\psi^{ij}A, B'_k\psi^{ij}B_k \quad (1 \leq k \leq n) \\
&\psi^{ij}(P) = \{\psi^{ij}(C) \mid C \in P\}
\end{aligned}$$

SPIC: 次の (a),(b) のいずれかを満たすような $\langle t, t' \rangle \in \psi_1^{ij}$, $\langle t_k, t'_k \rangle \in \psi_1^{ij}$ $(k = 1, \ldots, n)$，および定数を含まない項 $term(X_1, \ldots, X_n)$ が存在しないとき，ψ^{ij} は SPIC を満たすという．

(a) $t = term(t_1, \ldots, t_n)$ かつ $t' \neq \psi^{ij}(term)(t'_1, \ldots, t'_n)$

(b) $t \neq term(t_1, \ldots, t_n)$ かつ $t' = \psi^{ij}(term)(t'_1, \ldots, t'_n)$

SPIC を満たす ψ^{ij} のもとで，P_i で成り立っているアトム $\beta'_1, \ldots, \beta'_n$ と P_j の節 $A \leftarrow B_1, \ldots, B_n$ から，P_i のアトム α' を導く推論規則は次の基本図式で表される．ただし，基礎節 $\alpha \leftarrow \beta_1, \ldots, \beta_n$ と $\alpha' \leftarrow \beta'_1, \ldots, \beta'_n$ において $\alpha\psi^{ij}\alpha'$ ，$\beta_k\psi^{ij}\beta'_k$ $(1 \leq k \leq n)$ であり，$\beta_1, \ldots, \beta_n$ は P_j で成り立っているアトムとする．

$$\dfrac{\beta'_1, \ldots, \beta'_n \qquad \dfrac{\dfrac{A \leftarrow B_1, \ldots, B_n}{\alpha \leftarrow \beta_1, \ldots, \beta_n}\ (\text{具体化})}{\alpha' \leftarrow \beta'_1, \ldots, \beta'_n}\ (\psi^{ij}\text{ によるルール変換})}{\alpha'}\ (\text{モーダスポーネンス})$$

この基本図式に基づいて，P_i で多重類推によって導かれる知識の集合 $M_i(*)$ は以下のように定義される．

$$
\begin{aligned}
&M_i(*) = \cup_n M_i(n)\\
&M_i(0) = M_i\\
&M_i(n+1) = \{A \mid R_i(n) \cup M_i(n) \cup P_i \vdash A\}\\
&R_i(n) = \{\alpha' \leftarrow \beta'_1, \ldots, \beta'_n \mid \text{ある } P_j \text{ の節の基礎代入例 } \alpha \leftarrow \beta_1, \ldots, \beta_n \text{ が存在し}\\
&\qquad \beta_k \in M_j(n) \text{ かつ } \beta'_k \in M_i(n) \text{ で } \alpha'\psi^{ij}\alpha, \beta'_k\psi^{ij}\beta_k \ \ (1 \leq k \leq n)\}
\end{aligned}
$$

例 1 以下のように P_1，P_2，P_3，ψ^{ij} を与える．

$$
\begin{aligned}
&P_1 = \{mother(a1, b1). \ , \ father(b1, c1).\}\\
&P_2 = \left\{ \begin{array}{l} gf(X,Z) \leftarrow f(X,Y), f(Y,Z). \quad , \\ f(a2, b2). \ , \ f(b2, c2). \end{array} \right\}\\
&P_3 = \left\{ \begin{array}{ll} p(X,Y) \leftarrow f(X,Y). & , \ p(X,Y) \leftarrow m(X,Y). \ , \\ m(a3, b3). \ , \ f(b3, c3). & \end{array} \right\}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\psi_1^{12} = \{\langle a1 \ , \ a2\rangle \ , \ \langle b1 \ , \ b2\rangle \ , \ \langle c1 \ , \ c2\rangle\}\\
&\psi_3^{12} = \{\langle grandparent \ , \ gf\rangle \ , \ \langle parent \ , \ f\rangle\}\\
&\psi_1^{13} = \{\langle a1 \ , \ a3\rangle \ , \ \langle b1 \ , \ b3\rangle \ , \ \langle c1 \ , \ c3\rangle\}\\
&\psi_3^{13} = \{\langle mother \ , \ m\rangle \ , \ \langle father \ , \ f\rangle \ , \ \langle parent \ , \ p\rangle\}
\end{aligned}
$$

ψ_1^{23}，ψ_3^{23} は空とする．このとき，

$$
\frac{mother(a1, b1) \qquad \dfrac{\dfrac{p(X,Y) \leftarrow m(X,Y)}{p(a3, b3) \leftarrow m(a3, b3)}}{parent(a1, b1) \leftarrow mother(a1, b1)}}{parent(a1, b1)}
$$

から，$parent(a1, b1) \in M_1(*)$ を得る．同様にして，$parent(b1, c1) \in M_1(*)$ が得られる．この結果と合わせて，

$$
\frac{parent(a1, b1), parent(b1, c1) \qquad \dfrac{\dfrac{gf(X,Z) \leftarrow f(X,Y), f(Y,Z)}{gf(a2, c2) \leftarrow f(a2, b2), f(b2, c2)}}{grandparent(a1, c1) \leftarrow parent(a1, b1), parent(b1, c1)}}{grandparent(a1, c1)}
$$

から $grandparent(a1, c1) \in M_1(*)$ がわかる．

最後に，多重類推によって導かれる事実は，以下で与えられる類推和からの演繹の結果として特徴づけられることを示す．

以下の条件 (1)，(2) を満たす集合 $PAIR(\psi^{ij})$ は，エルブラン領域間のすべての対応付けを表す．

(1) $t \sim^{ij} t' \quad \Longleftarrow \quad <t, t'> \in \psi_1^{ij}$ （$\sim^{ij}$ は新しい述語記号）

(2) $f(X_1, \ldots, X_n) \sim^{ij} f'(Y_1, \ldots, Y_n) \quad \Longleftarrow \quad X_1 \sim^{ij} Y_1, \ldots, X_n \sim^{ij} Y_n \quad (\langle f, f' \rangle \in \psi_2^{ij})$

プログラム毎に現れる記号を区別するために次のように $copy(P_i)$ を与える．

$$copy(P_i) = \{(A)_i \leftarrow (B_1)_i, \ldots, (B_n)_i \mid A \leftarrow B_1, \ldots, B_n \in P_i\}$$

このとき，P_1，P_2，P_2 の ψ^{ij} に関する類推和を $P_1\psi P_2\psi P_3$ で表し，次のように定義する．

$$\begin{aligned} P_1\psi P_2\psi P_3 \;=\; & copy(P_1) \cup copy(P_2) \cup copy(P_3) \\ & \cup trans_2(P_1) \cup trans_1(P_2) \\ & \cup trans_3(P_1) \cup trans_1(P_3) \\ & \cup trans_3(P_2) \cup trans_2(P_3) \\ & \cup PAIR(\psi^{12}) \cup PAIR(\psi^{13}) \cup PAIR(\psi^{23}) \end{aligned}$$

ただし，

$$trans_j(P_i) = \left\{ \begin{array}{r|l} p'_j(W_1, \ldots, W_n) \leftarrow \ldots, \qquad\qquad\qquad & p(t_1, \ldots, t_n) \leftarrow \ldots, \\ t_1 \sim^{ij} W_1, \ldots, t_n \sim^{ij} W_n, & \qquad q(s_1, \ldots, s_k), \ldots \\ q_i(s_1, \ldots, s_k), q'_j(V_1, \ldots, V_k), & \in P_i \;\; (i \neq j) \\ s_1 \sim^{ij} V_1, \ldots, s_k \sim^{ij} V_k, \ldots & \langle p, p' \rangle \,,\, \langle q, q' \rangle \in \psi_3^{ij} \end{array} \right\},$$

$$trans_j(P_i) = \left\{ \begin{array}{r|l} p'_j(W_1, \ldots, W_n) \leftarrow \ldots, \qquad\qquad\qquad & p(t_1, \ldots, t_n) \leftarrow \ldots, \\ W_1 \sim^{ji} t_1, \ldots, W_n \sim^{ji} t_n, & \qquad q(s_1, \ldots, s_k), \ldots \\ q_i(s_1, \ldots, s_k), q'_j(V_1, \ldots, V_k), & \in P_i \;\; (i \neq j) \\ V_1 \sim^{ji} s_1, \ldots, V_k \sim^{ji} s_k, \ldots & \langle p, p' \rangle \,,\, \langle q, q' \rangle \in \psi_3^{ji} \end{array} \right\}.$$

例 2

例 1 のプログラム P_1，P_2，P_3 と ψ^{ij} に対して $P_1\psi P_2\psi P_3$ は，以下で与えられる．

$P_1\psi P_2\psi P_3 =$

$$\left\{ \begin{array}{l} grandparent_1(S, T) \leftarrow \\ \qquad S \sim^{12} X, T \sim^{12} Z, f_2(X, Y), f_2(Y, Z), parent_1(S, U), parent_1(U, T), U \sim^{12} Y. \;\;, \\ parent_1(S, T) \leftarrow S \sim^{13} X, T \sim^{13} Y, f_3(X, Y), father_1(S, T). \;\;, \\ parent_1(S, T) \leftarrow S \sim^{13} X, T \sim^{13} Y, m_3(X, Y), mother_1(S, T). \;\;, \\ mother_1(a1, b1). \;\;, \;\; father_1(b1, c1). \;\;, \;\; f_2(a2, b2). \;\;, \\ f_2(b2, c2). \;\;, \;\; m_3(a3, b3). \;\;, \;\; f_3(b3, c3). \;, \\ a1 \sim^{12} a2. \;\;, \;\; b1 \sim^{12} b2. \;\;, \;\; c1 \sim^{12} c2. \;\;, \;\; a1 \sim^{13} a3. \;\;, \;\; b1 \sim^{13} b3. \;\;, \;\; c1 \sim^{13} c3. \end{array} \right\}$$

先に述べた類推の特徴づけを表す次の結果が得られる．

定理 1 アトム $p(t_1,\ldots,t_n)$ に対し，次の (1),(2) は同値である．

(1) $p(t_1,\ldots,t_n)\in M_i(*)$

(2) $P_1\psi P_2\psi P_3\vdash p_i(t_1,\ldots,t_n)$

以上は $en=3$ の場合で議論を行なったが，任意の $en\geq 2$ に対して一般化できることは容易にわかる．

3 ソース領域の検索

抽象化は，定理証明における解の探索空間を減らしたり，導出証明法における証明図を効率よく作成する目的などで用いられてきた [6, 7]. 前節で見たように，類推が類推和からの演繹として特徴づけられることから，抽象化を用いたソース領域の検索について検討する [9].

ここでは，述語記号にだけ注目して命題抽象化を用いる． P をプログラム， $p(t_1,\ldots,t_n)$ ， A ， B_i $(1\leq i\leq m)$ をアトムとするとき，アトム，節およびプログラムの抽象化 ϕ を次のように定義する．

$$\phi(p(t_1,\ldots,t_n))=p^n$$
$$\phi(A\leftarrow B_1,\ldots,B_m)=\phi(A)\leftarrow\phi(B_1),\ldots,\phi(B_m)$$
$$\phi(P)=\{\phi(C)\mid C\in P\}$$

定理 2 P_1 ， P_2 ， P_3 を確定節プログラムとする．このとき， $P_1\psi P_2\psi P_3\cup\{\neg r_1(u_1,\ldots,u_l)\}$ の反駁に現れる節 $A\leftarrow B_1,\ldots,B_m\in trans_1(P_2)$ に対して次の条件が成り立つ．

$$\phi(P_1)\cup\psi^{12}(\phi(P_2)-\Pi_2)\vdash\phi(A)$$
$$\phi(P_2)\cup\psi^{12}(\phi(P_1)-\Pi_1)\cup\psi^{23}(\phi(P_3)-\Pi_3)\vdash\psi^{12}(\phi(A))$$

特に， $\alpha\in M_1(*)$ ならば

$$\phi(P_1)\cup\psi^{12}(\phi(P_2)-\Pi_2)\cup\psi^{13}(\phi(P_3)-\Pi_3)\vdash\phi(\alpha)$$

が成り立つ．

これらは，与えられた対応付けの下で類推が成功するための必要条件を表している．

例 3
例 1 のプログラム P_1 ， P_2 ， P_3 ， ψ^{12} ， ψ^{13} と以下の P_4 ， ψ^{14} について考える．

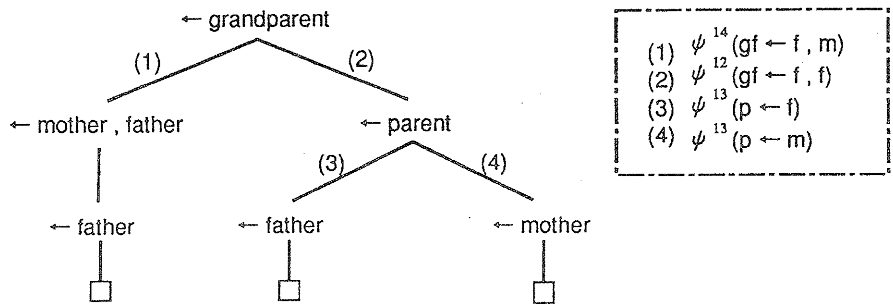
$$P_4=\left\{\ gf(X,Z)\leftarrow f(X,Y),m(Y,Z).\ \ ,f(a4,b4).\ \ ,\ \ m(b4,c4).\ \right\}$$

$$\psi_1^{14}=\{\langle a1\ ,\ a4\rangle\ ,\ \langle b1\ ,\ b4\rangle\ ,\ \langle c1\ ,\ c4\rangle\}$$
$$\psi_3^{14}=\{\langle grandparent\ ,\ gf\rangle\ ,\ \langle mother\ ,\ f\rangle\ ,\ \langle father\ ,\ m\rangle\}$$

それぞれのプログラムの抽象化と，そこに含まれる述語記号は以下のようになる．

$$\phi(P_1) = \{mother.\ ,\ father.\}$$
$$\phi(P_2) = \left\{\ gf \leftarrow f.\ ,\quad f.\ \right\}$$
$$\phi(P_3) = \left\{\ p \leftarrow f.\ ,\quad p \leftarrow m.\ ,\quad f.\ ,\quad m.\ \right\}$$
$$\phi(P_4) = \left\{\ gf \leftarrow f\ ,\ m.\ ,\quad f.\ ,\quad m.\ \right\}$$

ゴールとして $\alpha = grandparent(a1, c1)$ を与えよう．このとき，図で示される SLD-tree が得られる．



この成功枝を見れば，どのプログラムの組が定理の条件式を満たすかがわかる．よってこの場合は，P_2 と P_3 との類推，もしくは，P_4 との類推が考えられる．

4　協調アーキテクチャによる多重類推の実現

各エージェントはそれぞれ推論エンジンを持ち，他のエージェントとの間で類推に必要な情報を交換しながら推論を行なう．

エージェント間で交換される情報は以下のものが挙げられる．

(1) ゴール (サブゴール)

(2) 対応付け

ゴールに対して，対応付けを求めながらの動作を例を用いて簡単に説明しておく．詳細はここでは省くが，論理的な背景は [5] に基づく．例 3 で考えたプログラムをそれぞれ持つ 4 つのエージェントにゴール $\leftarrow grandparent(a1, c1)$ が与えられたとする．$a1$ ，$c1$ が P_1 に現れるのでターゲットは P_1 となる．しかし，P_1 からは演繹的にこれを導けないので，類推を行なう．

最初対応付けとして，

$$\psi_3^{12} = \{\langle grandparent\ ,\ gf\rangle\ ,\ \langle parent\ ,\ f\rangle\}\ ,$$
$$\psi_3^{13} = \{\langle mother\ ,\ m\rangle\ ,\ \langle father\ ,\ f\rangle\ ,\ \langle parent\ ,\ p\rangle\}\ ,$$
$$\psi_3^{14} = \{\langle grandparent\ ,\ gf\rangle\ ,\ \langle mother\ ,\ f\rangle\ ,\ \langle father\ ,\ m\rangle\}$$

が与えられたとしよう．3節で得られた結果から，ここでは P_2，P_3 との類推を考える．

P_2 へゴールとして $\leftarrow grandparent(a1, c1)$ が与えられる．$gf(X,Z) \leftarrow f(X,Y), f(Y,Z)$ の基礎代入例 $gf(a2,c2) \leftarrow f(a2,b2), f(b2,c2)$ が得られるので，対応付けとして $\{ \langle a1\ ,\ a2 \rangle$，$\langle Xb2\ ,\ b2 \rangle$，$\langle c1\ ,\ c2 \rangle \}$ ($Xb2$ は新しい変数) を求め，ゴール $\leftarrow f(a2,b2), f(b2,c2)$ と対応付けを P_1 へ返す．P_1 は，対応付けから現在のゴールを $\leftarrow parent(a1, Xb2), parent(Xb2, c1)$ とする．

このゴールもやはり P_1 では失敗してしまうので，類推を行なう．しかし，P_2 と類推を行なうと失敗するので，サブゴール $\leftarrow parent(a1, Xb2)$ を P_3 へ送る．P_3 は，基礎代入例 $p(a3,b3) \leftarrow m(a3,b3)$ から $\{ \langle a1\ ,\ a3 \rangle$，$\langle Xb2\ ,\ b3 \rangle \}$ を対応付けとして，ゴール $\leftarrow m(a3,b3)$ を P_1 へ返す．P_1 は対応付けから，現在のゴールを $\leftarrow mother(a1, Xb2), parent(Xb2, c1)$ とする．$mother(a1,b1) \in P_1$ から，$Xb2$ へ $b1$ が代入され，現在のゴールは $\leftarrow parent(b1,c1)$ となる．

P_3 との間で同様のプロセスを繰り返す．ただし，ここでは基礎代入例として $p(b3,c3) \leftarrow f(b3,c3)$ を用いなければ類推に失敗する．すると $\{ \langle a1\ ,\ a3 \rangle$，$\langle b1\ ,\ b3 \rangle$，$\langle c1\ ,\ c3 \rangle \}$ を対応付けとして，P_1 での現在のゴールは $\leftarrow father(b1,c1)$ となる．$father(b1,c1) \in P_1$ から，P_1 で空節が導ける．

以上から $grandparent(a1,c1)$ が得られたことになる．このプロセスで得られた対応付けは，

$$\psi_1^{12} = \{ \langle a1\ ,\ a2 \rangle\ ,\ \langle b1\ ,\ b2 \rangle\ ,\ \langle c1\ ,\ c2 \rangle \}\ ,$$
$$\psi_1^{13} = \{ \langle a1\ ,\ a3 \rangle\ ,\ \langle b1\ ,\ b3 \rangle\ ,\ \langle c1\ ,\ c3 \rangle \}$$

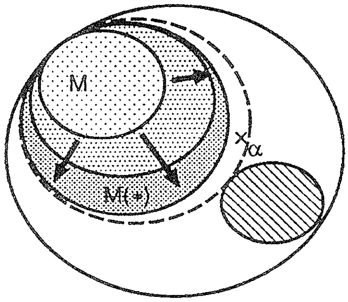
である．

5　まとめ

本稿では，分散協調の立場から，複数の類比が存在する多重類推について議論を行った．最初に，既知の類推理論を複数の類比を持つ形式へと拡張し，その理論の上で，類推に必要なソース領域の検索について検討した．これに対しては，類推が可能であるための必要条件を与えることにより，命題抽象化を用いて与えられたゴールに対し類推が成功する可能性のあるソース領域の組を検索できることを示した．

今後の課題としては，過度の類推の防止の問題，また現在は検索に置ける条件付けとして述語記号のみに注目しているが，より強い条件でソース領域を絞り込む問題などが残される．過度の類推の防止に関しては，あらかじめ導出されてはならない事実を明示しておく方法などが考えられる [2, 3]．すなわち，類推により拡張されたモデル $M(*)$ がそれらの知識を導き出す場合には，強過ぎる類推とするものである (図 3 参照)．

謝辞　本研究は，次世代産業基盤技術研究開発「新ソフトウェア構造化モデルの研究開発」の一環として情報処理振興事業協会が新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託をうけて実施したものである．



斜線で表した部分が導出されるべきでない事実の集合とすると，この集合に交わらない限りモデルの拡張が許される．

図 3: モデルの拡大と過度の類推の防止

参考文献

[1] Burstein, M. H. : Concept Formation by Incremental Analogical Reasoning and Debugging, In *Machine Learning : An Artificial Intelligence Approach Volume II*, Morgan Kaufmann, 1986, pp. 351-369.

[2] Brazdil, P. B. : Learning in Multi-Agent Environments, In *Proceedings of the Second Workshop on Algorithmic Learning Theory*, 1991, pp. 15-29.

[3] 原口誠 : 不完全情報の類推による推論問題，人工知能学会研究会資料，SIG-FAI-8804-4，pp. 31-39.

[4] Haraguchi, M. and Arikawa, S. : A Foundation of Reasoning by Analogy —Analogical Union of Logic Programs, *Lecture Notes in Computer Science* 264(1987), pp. 58-69.

[5] Haraguchi, M. and Arikawa, S. : Reasoning by Analogy as a Partial Identity between Models, *Lecture Notes in Computer Science* 265(1987), pp. 61-87.

[6] Plaisted, D. A. : Theorem Proving with Abstraction, *Artificial Intelligence*, Vol. 16 (1981), pp. 47-108.

[7] Yamamoto, A. : An Anatomy of Abstraction, *Bulletin of Informatics and Cybernetics*, Vol. 16, No. 3∼4 (1987), pp. 179-188.

[8] 脇園竜次，有川節夫，原口誠 : 類推のための抽象化，人工知能学会研究会資料，SIG-FAI-8904-2, 1990, pp. 11-20.

[9] 脇園竜次，有村博紀，井上仁，原口誠，有川節夫 : 確定節を対象にした類推システム ARTS の効率化，日本ソフトウェア科学会第 6 回大会論文集，1989，pp. 81-84.