ファジィ理論に基づく類推の拡張

2P－1

岩谷 敏治　田野 俊一　岡本 渉
国際ファジィ工学研究所

1.緒言

類推推論の計算機上での実現は人工知能研究の重要課題の一つであり，多くのアルゴリズムが提案されてきた[1]．その中で，類推対象間に存在する部分同一を類比とした，'類比に基づく推論'は有力手法の一つである．しかし，部分同一と判定されるには厳密な一致が必要とされ，例えば類推対象となる2つの系に，それぞれ事実 very_tall(a) と tall(x) が存在しても，それらを類比の要素として取扱う手法の議論は少なく，概して曖昧性に関する研究が不足している．

国際ファジィ工学研究所では対話処理システム FLINS[4]を構築中であり，その中では自然言語に存在する様々なレベルの曖昧さに対処し，またそれを利用する推論機能の実現を目指している．本報告では類推へのファジィ理論適用の一歩として，事実間の照合にファジィ理論を直接利用して照合範囲を拡大し，更に類比の構成要素に一致度を導入することで，従来の類比より柔軟な性質を持つファジィ類比を定義する．また，ファジィ類比間の順序づけの方法を示し，その利用が多様な類推結果の導出を可能とすることを示す．

2.従来の類比に基づく推論[2]

2.1.問題，用語の設定

類推推論の問題設定，用語定義には多くの議論があるが，本報告では以下に示す問題形式を用いる．

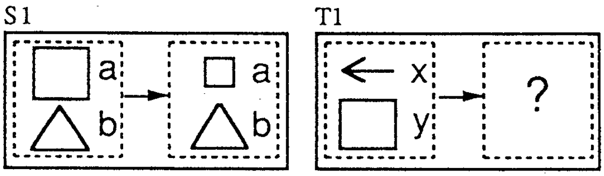


図1.類推の問題設定

問題１.系S1において図形 a,b に対し変換U1をおこなうと上図に示す結果となった．U1と同様の変換を系T1の図形 x,y に行なった結果を示せ．系S1，T1と変換U1は以下に示す事実集合として記述されている．また，S1をソース領域,T1をターゲット領域と呼ぶものとする．

S1={big_square(a), triangle(b), above(a,b)}
T1={arrow(x), big_square(y), above(x,y)}
U1={shrink(a)}

2.2.従来の類比定義と順序付け

類比，類比間の優越，極大類比の定義を示す．

定義1.類比

原子論理式の集合Wと代入の対 $\theta=<\theta 1,\theta 2>$のペア$(W,\theta)$が条件1をみたせば類比である．

条件1.a.$W\theta=\{A\theta=<A\theta 1, A\theta 2>:A\in W\}\subseteq S1\times T1$

条件1.b.$Var(W)\theta=\{X\theta=<X\theta 1,X\theta 2>:X\in Var(W)\}$は1対1の項の関係となっている．

但し，Var(W)はWに含まれる変数の集合を示す．

類比は通常複数個存在し，類推結果は利用する類比に左右される．類比を選択する基準として類比間の同値関係，極大類比の定義を示す．通常は極大類比が類推に用いられる．

定義２.良い類比と同値な類比

$(Wi,\theta i)$ (i=1,2) に対し以下の条件を満たす代入ηが存在するとき，$(W1,\theta 1)$ は $(W2,\theta 2)$ より良い類比であるとし，$(W1,\theta 1)\geqq(W2,\theta 2)$で示す．

条件2.a.任意の変数$X\in Var(W2)$ に対し，

$$X\eta\theta 1=X\theta 2 \quad (1)$$

条件2.b.$W2\subseteq\eta W1$　(2)

また$(W1,\theta 1)\geqq(W2,\theta 2)$と$(W1,\theta 1)\leqq(W2,\theta 2)$が同時に成り立つ場合，２つの類比は同値であるとし，$(W1,\theta 1)\sim(W2,\theta 2)$　で示す．

定義３.極大類比

類比(W,θ)が任意の類比(W',θ')に対し，もし$(W,\theta)\leqq(W',\theta')$が成り立つ場合には必ず$(W,\theta)\sim(W',\theta')$となるならば，$(W,\theta)$は極大類比である．

極大類比も複数存在する場合が多い．

2.3.類推推論の結果

$Ws=\{big\_square(R)\}$,

$\theta s=<\theta s1,\theta s2>$　$\theta s1=R\leftarrow a$, $\theta s2=R\leftarrow y$

とすれば，$(Ws,\theta s)$は極大類比の一つである．θsによりU1をT1の領域に投射すれば，shrink(y)となり，T1における変換結果は図２となる．

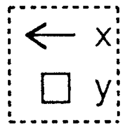


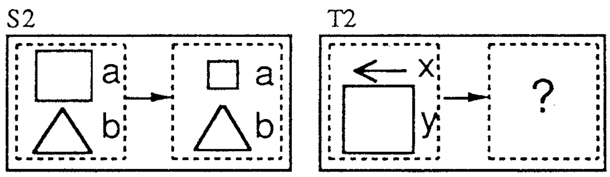
図２.問題１の推論結果例

3.類比の拡張

3.1.問題記述の中の曖昧性

問題１と同様に問題2を考える．

問題2.



S2={big_square(a), triangle(b), above(a,b)}
T2={arrow(x), very_big_square(y), on(x,y)}
U2={shrink(a)}

図3.曖昧さを含む類推問題

従来の類推手法では，類比がとれず推論不能となるが，本節ではファジィ理論を利用して上記事実集合間に一致度を伴うマッチングを取る方法を示し，それと共にファジィ類比の定義をおこなう．

Extension of Analogical Reasoning by Fuzzy Theory
Toshiharu IWATANI, Shun'ichi TANO, Wataru OKAMOTO
Laboratory for International Fuzzy Engineering Research,
89-1 Yamashita-cho Naka-ku Yokohama 231, JAPAN

3.2.一致度を伴うマッチングの取り方[3)]

3.2.a.メンバシップ値によるマッチング

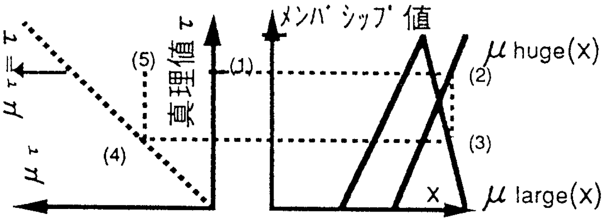
一方の領域に事実tall(a) が，もう一方の領域に 180cm_height(x) が存在したとする，このときheightのtallに対するメンバシップ関数μ_{tall}(height)の定義があれば，180cm_height(x) を一致度μ_{tall}(180)が付加されたtallと考え[tall(x), μ_{tall}(180)] と表現することができ，tall(a) とのマッチングが可能となる．

3.2.b.メンバシップ関数の一致度によるマッチング

変数Xに対しメンバシップ関数μ_{huge}(X)とμ_{large}(X)が定義されているとする．このとき

$$(x \text{ is huge}) \text{ is } \tau \quad = x \text{ is large} \quad (x \in X) \qquad (3)$$

が成り立つことから，large(x) が真で有る場合の(x is huge)の真理値関数μ_τを逆真理値限定操作によって求めることができる（図4参照）．この真理値関数の重心Gμ_τをhuge(x) のlarge(x) に対する一致度とすれば，huge(x)=[large(x), Gμ_τ]となる．このように，異なる集合に関する２つの事実であっても，同じ変数に対してメンバシップ関数が定義されていれば，一致度付きのマッチングが可能となる．



真理値τの値が(1)の場合の真理値関数μ_τの値はμ_{huge}(x)の値が(1)の場合のμ_{large}(x)の値として定める．

図4.真理値関数μ_τの決定

3.2.c.修飾子を用いたマッチング

集合heavyとvery_heavy, rather_heavyを例に考える．これらメンバシップ関数の間に，

$$\mu_{very\_heavy}(x) = (\mu_{heavy}(x))^2 \qquad (4)$$
$$\mu_{rather\_heavy}(x) = (\mu_{heavy}(x))^{1/2} \qquad (5)$$

が成り立てば，heavy(x) が真の場合のvery_heavy(x), rather_heavy(x)の真理値関数は，μ_{heavy}(x) の形状に依存せず，その重心はそれぞれ0.75，0.6となる．このようにメンバシップ関数自体が不明であっても修飾子が付加された場合の変換が定義されていれば，一致度は定義可能である．

3.3.ファジィ類比の定義

ターゲット領域の事実集合T2は前節で示した手法により，ソース領域中の知識とマッチングするように変換を施す．未変換な事実には一致度1.0を付加する．その結果T2が，

T2'={[arrow(x), 1.0], [big_square(y), 0.75], [above(x,y), 0.8]}

と変換されたものとする．

定義４.ファジィ類比

原子論理式の集合W，代入の対θ=<θ1，θ2>，及び一致度の集合をτ={τ^A}とする．τ^AはA∈Wに対応するターゲット領域の事実に付加されている一致度である．(W,θ,τ)は以下の条件を満たせばファジィ類比である．

条件3.a.W$\theta\tau$={A$\theta\tau$=<Aθ1, [Aθ2, τ^A]> :A∈W}⊆S2×T2'

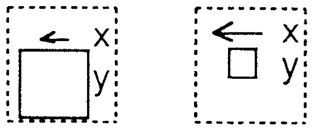
条件3.b.Var(W)={Xθ=<Xθ1, Xθ2> :X∈Var(W)}は1対1の項の関係となっている．

4.ファジィ類比の順序付け

従来の類比の順序付けは部分同一の種類と数を考慮してなされていた．これに対しファジィ類比では一致の程度もその指標とすることができる．例えば，

Ws={square(R)},
θs=<θs1,θs2>　θs1=R←a，θs2=R←y
τs={τ s^{square}}　τ s^{square}=0.75
Wa={above(P,Q)},
θa=<θa1,θa2>　θa1=P←a Q←b
　　　　　　　　　θa2=P←x Q←y
τa={τ a^{above}}　τ a^{above}=0.8

とすれば，(Ws,θs,τs)，(Wa,θa,τa)はファジィ類比である（そして変換U2のθによるターゲット領域投射が，θsとθaでは異なること，また一致度τが付加されてなければ双方とも従来の極大類比であり，優越はつけ難いことに注意）．一致度の高い類比を優先させるとすれば，(Wa,θa,τa)が選択され解は図5(1)となる((Ws,θs,τs)を選択した場合の解は図5(2))．



(1)　(2)

図５.問題２の推論結果例

一般に類推の方法は多様であり適切な類比選択は問題に依存する．そして従来の極大類比が適切な類比を含まない類推も多い．例えば，一致度の総和が最大となる類比や，一致度中の最大値が最大となる類比に基づく類推が適切な場合も考えられる．ファジィ類比はそのような類推を実現する場合の類比の選択の指標として活用できる．

５.結言

類推の対象となる与えられた２種類の系を表現する事実集合から，ファジィ理論を利用して曖昧な一致を取る方法を示し，その場合の類比をファジィ類比として定義した．ファジィ類比は一致度を含むので多様な順序付けが可能であり，類推推論の多様性により良く対応する可能性を持つ．

今後は，一致度を利用したファジィ類比の順序付けに対する意味付けと，変換Uをターゲット領域に投射する場合へのファジィ理論の利用を考察したい．

参考文献

1)特集アナロジー:情報処理,Vol.34,No.5,pp522-583 (1993).
2)原口 誠:類推の機械化について,知識の学習メカニズム,共立出版,pp125-154 (1986).
3)講座ファジィ２-ファジィ集合-:日本ファジィ学会編,日刊工業新聞社 (1992).
4)S.Tano, W.Okamoto and T.Iwatani:New Design Concepts for the FLINS-Fuzzy Lingual System: Text-based and Fuzzy-centered Architectures, Proc. of Int'l Symposium on Methodologies for Intelligent Systems-93(1993).