

属性分析法に基づく類似性の分析

The Analysis of Similarity Based on Attribute Analysis Method

王 凱軍^{*1}
Kaijun WANG

池田 満^{*1}
Mitsuru IKEDA

國藤 進^{*1}
Susumu KUNIFUJI

^{*1} 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

The Attribute Analysis Method is a creative technique designed to adapt to the computer characteristic. This technique is based on the phenomenon structural theory, using the attribute as the fundamental concept, and the operation method of attribute exchange and comparison etc. obtained by resolving the thinking process of creative thinking principle as the fundamental rule. It will finally achieve solving creatively the problem through realizing the function of induction, association, analogy and deduction by organizing the fundamental rules on step by step. In this paper we mainly discussed how to analyze the similarity using the Attribute Analysis Method. We firstly introduced the contents of common attribute related closely to similarity. How to form the reference system and provide the environment of search technique such as Genetic Algorithm was also studied. Then several analogical examples of similarity were finally explained.

1. 序論

アナロジー的思考の鍵は類似性である。類似性とは、「対象における類似性」、「関係における類似性」と「ゴールにおける類似性」に分類される。この 3 種類の類似性は互いに関連性を持ちつつ、アナロジー的思考のサブプロセスに常に重みを変えながら関わり、全体としてある種の制約を加えているものである。一方、「問題や観点に依存して類似性は変化する」という動的な側面を類似性が持つことも事実であろう。問題はこうした動的な側面を我々が持つ技術の枠組みで捉えることができるかである。ここで、「観点」なるものの重要性は多くの研究者によってすでに指摘されてきたが、具体的に何が観点であり、それをどう表現するかという問題に対し、明確な解答が得られなかった^[鈴木 96]。

従来の人工知能によるアナロジー研究では、概念を表す述語記号間の部分写像で類似性を捉え、かつ、そうした述語記号の数は有限個であることを仮定するものが多かった。したがって、基本的な概念から複合概念を構成し、複合概念同士の類似性を掴まえる議論もある。有限な基本概念から定義可能な複合概念の数は一般に膨大なものになる。実際、理論上それらは無限個である。そうした無限個のものの中から有益なものを探るアルゴリズムがもしあれば、それは十分知的な作業を行うと言ってよいだろう。しかしながら、無限な複合概念の空間の中から類似した概念や類似した構造を抽出する研究は、現在の人工知能の枠組みでも少なくとも原理的には扱える問題である。

Gentner らは、構造写像理論と類似性判断を結びつけ、類似性判断が単なる特徴のマッチングではなく、構成的なプロセスであることを示した。この考え方は現在のアナロジー研究では主流となっていると言ってよいであろう。彼らの研究は構造的な類似性の候補を生成するサブシステム、およびデータから帰納仮説を生成しかつ検証する帰納推論サブシステムの両者を含んでおり、計算論的な複雑度は高く、それ故に、理論的な研究レベルにとどまっている。こうした研究を人間のアナロジーに近づけるためには、過程もっと大胆な探索技法の開発が不可欠であ

連絡先: 王 凱軍 kaijun@jaist.ac.jp

ると言える。

一つの探索技法として、遺伝アルゴリズムが注目されている。生物種の進化過程をほとんどそのまま真似る形で、数理的問題一般への適用を意図して解集団を世代毎に逐次改良する解析方法一般を遺伝アルゴリズムという。しかし、計算条件は整わないなら、引き入れるのは困難である。

一方、人工知能技術の実用的応用を目指す一連のシステムの中で、創造技法の役割に重点を置くものを創造支援システムと呼んでいる。これらのシステムでは、人間の持つ創造技法を機械処理可能な形でコンピュータに与えることにより、高度な知識創造システムを実現することが目標とされる。ところで、実際に創造技法をコンピュータに入力し、これを操作するためには、創造技法をモデル化し、また知識記述の枠組としての知識表現を定める必要がある。しかしながら、時代の原因で、今まで世の中に数百種類の創造技法が提案されたが、元々コンピュータ向けに設計した創造技法はないだろう。知識表現について先天性の疑問があるので、これらの創造技法に基づく創造支援システムには、いろいろな努力をしたが、一連の操作をいかに接続するかという問題とか、情報爆発などの問題が解決できないだろう。このような問題を一挙に解決するものという大きな期待を背負って、筆者らは知識表現の基本概念を整理する意味もこめて、情報処理の視点から、創造技法の一種として、属性分析法(AA法, Attribute Analysis Method)を提案した^[王 03]。

属性分析法を提案したから、創造思考支援システムを構築することは可能になる。このシステムを行うことにより、類似性と密接に関連している帰納機能、類比機能などの効果が期待される。本稿は属性分析法に基づく創造思考支援システムにおける研究について、類似性を分析する手法を報告する。

2. 属性分析法

2.1 属性

属性分析法の基本概念は属性である。属性という概念は、今まで厳密に定義することはなかった。フレーム理論と意味ネットワーク理論では、属性の定義はずいぶんアドホックで、いつも便

直的な言語概念を利用している。もちろん言語概念も抽象的な概念であるが、基本概念と言えば、抽象化は不十分ではないだろうか。このような問題に対して、属性分析法は属性を厳しく定義しなければならないと強調している。属性分析法の属性定義は、単純性と通用性を追求する。単純性とは、属性同士が相互独立でしかも唯一の性質しか持たない意味である。さらに、属性の性質は数学表現の属性値で表示できる。通用性とは、属性が広く使われるという意味である。厳密に定義を通して、抽象的な基本概念を作る。

2.2 事象構造理論

事象は部分構造と階層構造を持って、属性によって構成される。部分構造も階層構造も皆属性族によって構成される。属性族は関連属性の属性集合である。ただ、階層構造の構造基礎は抽象化した共通属性の属性族である。共通属性はいくつかの事象に皆含まれる属性である。

人間は環境の認識に基づいて、いろいろな概念を抽象した。これら抽象した概念に基づいて、最初の階層構造は構成する。属性分析法の事象階層構造には、上位概念が持っている属性を、下位概念はすべて持っている。逆に、下位概念が持っている属性を、上位概念は必ずしも持っていない。言い換えれば、上位概念が持っている属性は下位概念の共通属性である。属性遺伝の観点によって、下位概念は上位概念のすべての属性を継承する。逆に、上位概念は下位概念のすべての属性値を継承する。すなわち、上位概念には、構造の位置は上に上昇すればするほど、含む共通属性の数は少なくなるが、属性値の範囲は広がる。下位概念には、構造の位置は下に下降すればするほど、含む共通属性の数は多くなるが、属性値の範囲は狭くなる。最下位概念は具体的な事象である。

しかし、属性分析法は属性継承の例外現象を認めない。属性遺伝の観点によれば、下位概念は上位概念のすべての属性を継承することである。例えば、鳥の多くが飛行能力を持っているので、飛行能力は上位概念鳥類事象の定義属性であると主張する理論がある。もし上位概念に飛行属性があれば、下位概念の鳥が皆飛行属性を持っている結論を導出するのは必然であろう。もちろんこの結論は違っている。確かに鳥の多くが飛べるが、飛べない鳥がいるのも事実であろう。フレーム理論などには、これを属性継承の例外現象として解釈していた。しかも、こんな例外現象は少なくないだろう。この原因はそのまま言語概念を使うわけである。この問題について、属性分析法は飛行能力を上位概念鳥類事象の定義属性から除外することを強調する。

また、フレーム理論と意味ネットワーク理論では、部分構造と階層構造が混在している^[小山 00]。ある概念関係は階層構造の上位概念と下位概念の関係であると言われるが、実は、部分構造の全体概念と部分概念の関係である。部分概念のすべての属性は、全体概念に対して、一部の属性が構成する属性族である。全体概念は部分概念のすべての属性を有して、すべての属性値を有する。その上、全体概念は部分概念が持っていない属性を持っている。だから、互いの関係では属性継承の関係ではない。すなわち、部分概念のすべての属性は部分概念と全体概念の共有属性である。

3. 属性分析法のシステムアプローチ

属性分析法では、共通属性はアナロジー的思考の基盤であると強く主張している。任意の事象にとって、共通属性を持てば、類似の可能性がある。類似性が存在する前提は事象が共通属性を持っているということである。つまり、共通属性があるかどうか

かという判断はアナロジー的思考の本質的なサブプロセスである^[三 04]。

事象が共通属性を持っているかどうかという判断には、事象を属性で記述することが必要である。事象がうまく記述できないなら、共通属性が判断できないだろう。だから、属性分析法に基づく創造思考支援システムにはデータベースの属性セットと事象セットを構造化することを提案する[Fig.1]。

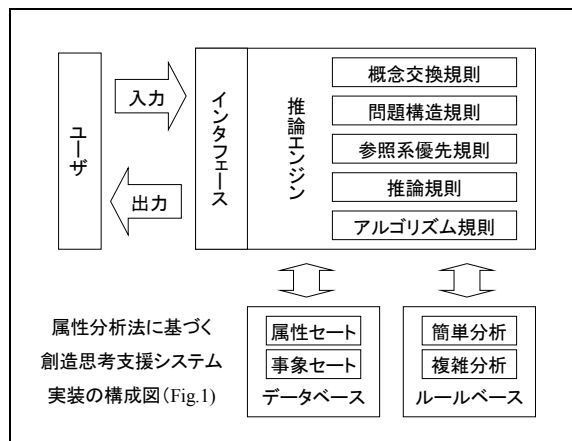


Fig.1 属性分析法に基づく創造支援システム実装構成図

3.1 事象分解

データベースの骨子として、属性セットは厳密に定義する属性をまとめて蓄えるデータバンクである。事象セットは事象構造理論に基づいて、たくさんの既知事象を蓄える。

事象の記述は、まず部分構造理論に基づいて、部分構造に分けて、基本事象までに分解する。基本事象は分けられない部分事象である。この後、属性セットを通して、すべての既知属性を対照して、それぞれの基本事象の属性を調べる。つまり、既知属性で事象をうまく記述するのは属性セットのねらいである。もちろん、もしこの基本事象は事象セットに記述されたら、直接に事象セットを対照できる。しかし、基本事象を記述するまま終わったら、まだ、何かの未知属性を残しているらしい。確かに基本事象が持っている属性(基本事象の機能属性及び属性互いの関係属性も含む)を確認できるが、事象全体の機能属性及び部分構造互いの関係属性は失われるだろう。例えば、すべての英語の言葉は 26 個のアルファベットで構成されるとよく知られている。しかし、すべての言葉を見付けたり、含まれているアルファベットが何か、またその配列がどうなっているかが分かたりしても、英文の情報をすべて処理したとは言えないだろう。

その未知の関係属性と機能属性を発見するため、属性分析法は回復比較法を導入する。回復比較法は前に分けた部分構造に基づいて、基本事象を再び複合することによって、基本事象間互いの関係属性とこの複合構造の機能属性を見付ける方法である。事象まで再びこの方法を使って、未知属性を顕在にできるだろう。

事象分解によって、事象のすべての既知属性が提供される。これから属性比較によって、共通属性の判断が可能になる。前に言ったように、任意の事象にとって、共通属性を持てば、類似の可能性はある。共通属性を持っていないければ、事象は類似しない。類似性が存在する前提は事象が共通属性を持っているということである。これが類似性判断の原則である。類似性判断の基礎は共通属性の判断の上に築ける。

3.2 類似性判断の参照系

類似性判断は人間の観点に左右される。観点は変わったら、類似性判断の結果も変わる。この観点は人間の立場から与えられた属性族である。我々はこの属性族を類似性判断の参照系という。いかなる類似性判断の操作は参照系に制限される。参照系は事象の存在環境に深く関連している。そういう意味では、いかなる事象は半開放システムであり、存在できるかどうか環境に決定される。環境と言え、自然環境と人工環境に分けられる。自然環境は、自然属性、自然事象以外に、自然法則を持っている。例えば、万有引力の法則とか、アルキメデスの原理とか、エネルギー保存の法則などである。人工環境は人間の機能を伸べる人工事象が存在できるように、人間の考え方を強く注がれて、自然環境のある属性値を改変する半開放システムである。深く追究すれば、人工環境も一つの人工事象である。

参照系の本質は自然環境の中に、人間要求によって、人工環境を作る。参照系は優先規則を持っている。一般的に、人間要求は目的、経験、社会価値観のような優先順番で、類似性判断の参照系を決める[Fig.2]。

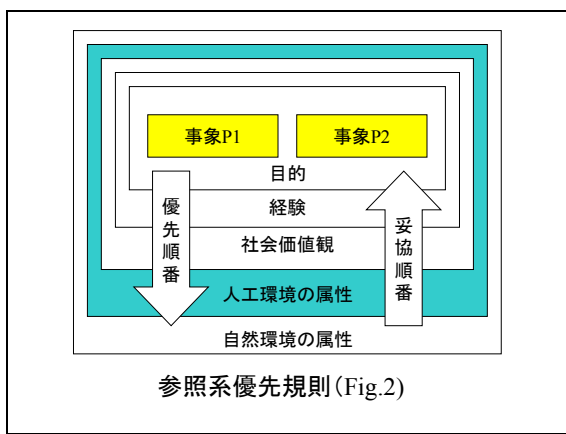


Fig.2 参照系優先規則

一般的に、類似性判断の参照系は上位概念である。事象セットにある上位概念に対して、もし二つの事象が上位概念のすべての属性を持てば、この二つ事象は下位概念同士であるかもしれない。もし属性値も上位概念の属性値範囲に入ったら、この二つ事象は対象において類似することが断定できるだろう。

同じ共通属性を持っているというのは類似性判断の必要条件であるが、十分条件ではない。類似性判断は属性値と関係がある。前に述べたように、「対象における類似性」について、二つの事象が参照系の属性に対して、すべて共通属性を持っていたら、さらに、属性値も参照系の属性値範囲に入ると、この二つの事象は対象において類似することが断定できる。しかし、もし二つ以上の事象の類似性を問われたら、類似度の計算が必要になるだろう。

3.3 類似度の計算

類似度の計算は、属性の類似度の計算に基づく。類似度の計算はいろいろな方法が提供された。例えば、空間距離法である。この方法は属性値の差を空間距離で表示する。しかし、事象の類似性判断には、参照系が一つしかの属性を持たない場合はあまりないだろう。属性が同じではないなら、類似度の合同計算はできなくなる。この問題を解決するため、属性分析法に

は空間距離比例法を導入する。この方法は、空間距離の比例値で類似度を表示する。属性の類似度を計算する場合には、参照系のこの属性の属性値範囲が要る。属性セットはすべての既知属性の最大属性値範囲を提供する。属性値にはアナログ形式があるし、デジタル形式もある。例えば、速度属性の属性値範囲は 0~300000 km/s であり、色属性の属性値範囲は 3800A~7800A である。具体事象は実際の属性値を入力しなければならないが、概念事象は約定の属性値範囲なので、属性セットに蓄える。

空間距離比例法の類似度計算プロセスを簡単に説明する。まず参照系が持っている属性に対して、二つ事象の属性値の差をとる。そして、この差を参照系の対応属性の属性値範囲を比例させて、できた結果はこの属性の空間距離比例値である。すべての属性の空間距離比例値ができたなら、重み付き平均値を計算して、二つ事象の類似度ができらる。類似度の範囲は 0~1 の間にある。類似度は 0 に近ければ近いほど、事象はもっと類似する。類似度を比べたら、事象の類似性の判断ができるだろう。

4. 具体的事例の適用

類似性を使って、類推する場合は多い。類似性判断をするわけで、類推は必ず共通属性を通して問題を解決する。だから、事象の属性を列挙する必要がある。それからターゲットドメイン事象とベースドメイン事象の属性比較を行って、類似する事象を発見する。一方、属性交換によって、新しい類似事象を作って、さらに、この事象の属性値を範囲以内に工夫して、類推を成功させる。次は具体的事例を紹介する。

4.1 属性比較の事例

まず、属性比較による類推の事例を挙げる。ビールを詰めるのは普通に認められたビールビンの機能であろう。これ以外に、ビールビンにはまた何の機能を持っているかという問題である。

ビールを詰める以外の機能を見付けたいなら、属性分析法では、まずビールビンが何の属性を持っているかを明らかにしなければならないと考えている。そして、事象セットを通して、ビールビンの既知属性を持っている事象を見付ける。発見した事象によって、既知属性を利用する機能が発見できるだろう。このあと、類似性判断の参照系を確定して、事象の類似性を判断したり、類似度を計算したりする。もし類似度が参照系の標準に達したら、ビールビンはこの機能を備えることが証明できる。このように、一つ一つの機能が発見できるだろう。

ビールビンが何の属性を持っているかということは、事象分解によって分かるはずである。ビールビンは簡単事象であるから、事象分解のプロセスでは、直接属性セットと対照したら完成できる。そして、ビールビンのすべての既知属性が発見できる。

仮に事象を分解すれば、ビールビンは形状属性、材料属性、透明属性、硬度属性、質量属性、絶縁属性、密封属性、容積属性、色属性、音属性等の属性を持っていることがわかる。さらに事象セットを検索して、以上の既知属性を持っている事象、例えば、ガラス、レンズ、刃、電気絶縁体、煉瓦、ボーリングビン、マジック道具、マッサージ棒、車輪、野球バット、容器、灰皿、武器、楽器などが発見できる。もしこれら事象の機能を検索して、既知属性を利用する機能が発見したら、この機能の上位概念が参照系になって、ビールビンの類似性が判断できる。形状属性を例にする。形状属性によって、煉瓦事象を発見した。さらに、煉瓦が建築機能を持っていることを発見した。そして、上位概念の建築機能事象が参照系になる。この参照系が強度属性、形状属性、重量属性などの属性を持っている。これらの属性をビ

ールビンと比較する。もしビールビンが参照系のすべての属性を持っていたら、さらに、属性値も属性値範囲の内にあったら、ビールビンは煉瓦のように、建築機能があるだろう。このように、たくさんの機能は見付けられるだろう[Fig.3]。

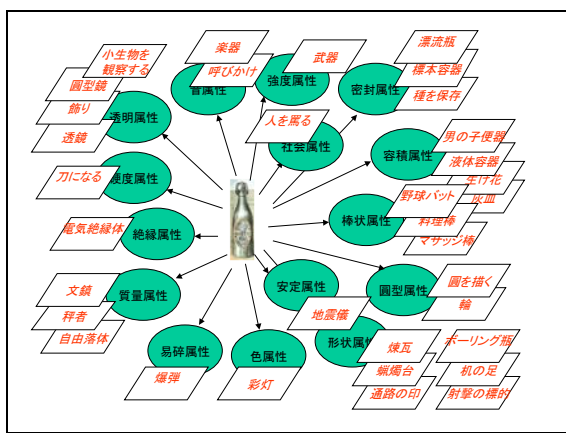


Fig.3 ビールビンの機能発見

4.2 属性交換の事例

次は、属性交換による類推の事例を紹介する。属性交換とは、事象のある属性或いは属性値を交換して、新しい事象を作る属性分析法の一つの操作方法である。

状態属性に関連する属性族を例にする。いかなる物質事象は状態属性を持っているだろう。例えば、水の状態を説明する時、普通に液体であると述べる。しかし、液体状態には存在条件が要る。例えば、温度 4℃、気圧 1013 ミリバールである。つまり、環境は常に水の液体状態の存在条件を満足しているだろう。状態属性と言え、たくさんの属性に関連している。例えば、物質の温度属性、環境の気圧属性、物質の融点属性、沸点属性などである。物質の温度属性値は融点属性値と沸点属性値の間にある時、状態属性値は液体であろう。もしこの物質事象を環境に置いたら、物質の温度属性値は環境の温度属性値に従う。環境の気圧属性値は変わったら、融点と沸点も変わる。そうしたら、状態属性値も変えるかもしれない。気圧属性と温度属性をうまく利用して、物質の状態を変えて、類推が達成できた事例は多い。以下の事例を説明する。

(1) 気圧属性の事例

気圧属性をうまく利用する事例がある。普通の蒸留器では、沸点は高いので、効率はよいとはいえないだろう。もし低気圧の人工環境を作ると、気圧属性値は低くなっているから、沸点属性値も低く変わる。そうすると、低圧蒸留器は作られるだろう。低圧蒸留器を作る鍵も属性交換である。しかし、もし水の沸点属性と環境の気圧属性の関係を気づかなかつたら、低圧蒸留器の発想はできないだろう。

(2) 温度属性の事例

日本第一次南極地域観測隊は南極到着した時、船から基地までの石油輸送管の鉄管が不足であることを発覚してしまった。西堀隊長は焦る時、周りの環境を見てから、氷のパイプを作る思案を思い出した。そして、氷を水にし、パイプになるように工夫して、外気の低温を利用して、たくさんの氷のパイプを作った。属性分析法によれば、隊長の類推の鍵は属性交換である。これは石油輸送管の材料属性値の鉄を水に交換することである。そ

の時、隊長はきっと水の状態属性と関連する環境の温度属性を考えただろう。その上に、属性比較、属性増加などの操作方法を使って、氷のパイプの強度属性値、形状属性値などを参照系の範囲に入らせて、そして、実用な氷管を作った。これは温度属性をうまく利用する事例である。

フローティング板ガラス製法は、水面に落ちた油の滴が広がって油膜になったことからヒントを得て、液体錫の表面にガラス溶液をかける製造技術である。属性分析法によれば、この製造技術が発明できる鍵も属性交換である。油膜事象は二つの部分事象で構成される。この部分事象は油部分事象と水部分事象である。油部分事象の主な属性は状態属性(属性値:液体)と表面張力属性(属性値:>n)であるが、水部分事象の主な属性は状態属性(属性値:液体)である。合わせる油膜事象の主な関係属性は油と水の比重属性(属性値:<m)である。属性交換によれば、板ガラス事象も二つの部分事象で構成されるはずである。ガラスはもちろん一つの部分事象で、もう一つの部分事象は何を選んだらいいだろうか。この部分事象は必ず以下の条件を満足しなければならない。状態属性の属性値は液体で、しかも液体ガラスとの比重属性値が m より大きい。ガラスには通常の状態属性値が固体であるが、高温により液体に変えることができる。錫は融点が低い、ガラスと比重属性値も条件を満たすので、板ガラス事象の部分事象として考えられる。これをベースにして、属性増加などの属性操作により、液体錫の上に溶解ガラスを広げる製法が形成できるだろう[Fig.4]。

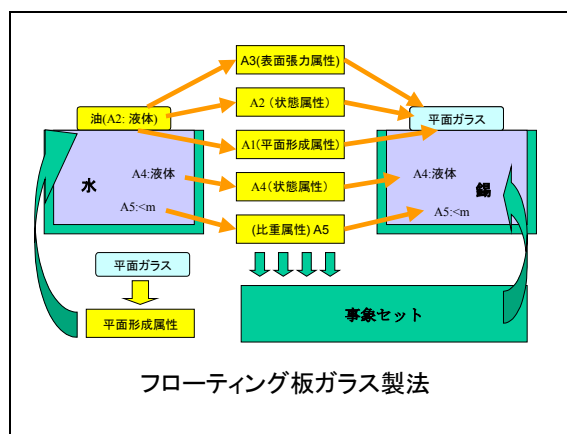


Fig.4 フローティング板ガラス製法

5. 結論

本稿は共通属性を通して、属性分析法に基づく類似性の分析を紹介した。類似性判断の参照系を決めると、類似度の計算環境は整われる。そして、各種の探索技法を引き入れられるので、類似性が判断できるということは結論した。

参考文献

[鈴木 96] 鈴木 宏昭:『類似と思考』, 共立出版, 1996.
 [王 03] 王 凱軍 徐 方啓 國藤 進: 事象属性分析に基づく創造技法提案に関する一考察, 日本創造学会第 25 回研究大会論文集 pp.59-62, 2003.
 [王 04] 王 凱軍 池田 満 國藤 進: 属性分析法に基づく類似性の判断, 第一回知識創造支援システム シンポジウム報告書 pp.118-125, 2004.
 [小山 00] 小山 照夫: 知識モデリング, 丸善株式会社, 2000.