

# アナロジーの統合的モデル

大石 亨

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

## 1 はじめに

アナロジーは、人間を含む知的システムにとってきわめて大きな意味を持つメカニズムである。アナロジーは思考の基盤と発想の源を提供するのみならず、日常言語の理解と生成にも密接に関連していることも明らかにされている [4, 6]。現在、いくつかのアナロジーのモデルが提案されているが、主なものとして、制約充足理論 [2, 10] と準抽象化理論 [13] があげられる。両者は、いずれも心理実験やシミュレーションによってその有効性が検証されているが、一見したところでは二つの理論は両立しないように思われる。本稿では、この二つの理論を統一する統合的なアナロジーモデルを提案する。アナロジーは日常言語に満ち溢れている。このモデルはアナロジーのモデルであるのみならず、言語の理解と生成のモデルでもある。

以下では、アナロジーの理解と生成機構を「部分 - 全体」関係と、「カテゴリー - メンバー」関係という二つの次元に分けて考える。これは、それぞれメトニミーとメタファーに対応するものである。我々は、それぞれの次元で情報が双方向に流れることを主張する。次に二つの次元を統合し、相互作用によって、従来は十分に説明されてこなかった、アナロジーの構成的側面、組合せの側面について、このモデルが適切な説明を与えることを示す。最後に、メタファーとメトニミーの相互作用が、どのように語義の創造的使用をもたらすかについて説明する。

## 2 「部分 - 全体」関係

ここでいう部分全体関係とは、属性、関係、高階関係という類似レベルに対応するものである。すなわち、属性はある物体の部分であり、物体は一階の関係により他の物体と結びつけられ、一つの事態を構成する。その事態は、さらに高階の関係によって他の事態と結びつけられ、より大きな事態の連鎖を構成する。

Holyoak 1995 [3] によると、アナロジーには三つの制約があり、それぞれの制約の相対的な重要性は、アナロジーの段階ごとに変わるという。三つの制約とは、1) 対象や概念の直接的な類似性、2) 要素間の対応の一貫性、同型性という構造的な制約、3) 問題理解や実際のゴールを達成するという目的にかなうという制約、である。第一の制約は記憶の検索過程で、第二の制約はベースとターゲットの対応づけの過程で、第三の制約は評価と適用の段階でそれぞれ重要となる。

さて、我々のモデルの部分全体関係に関する部分を図1に示す。

これは、双方向性理論に基づく我々の対話モデル [11] をさらに高次のレベルに拡張したものである（双方向性理論については川人 1996 [12] を参照）。図には示していないが、単語列自体もさらに小さい部分の集合であり、この図をさらに下方に拡張できることは自明であろう。したがって、この次元は、言語の生成と理解に直接つながるものである。

生成過程では、未分化な概念が、図の上方から下方に向かって、徐々に分化してゆく。概念が分化するとともに、分化した

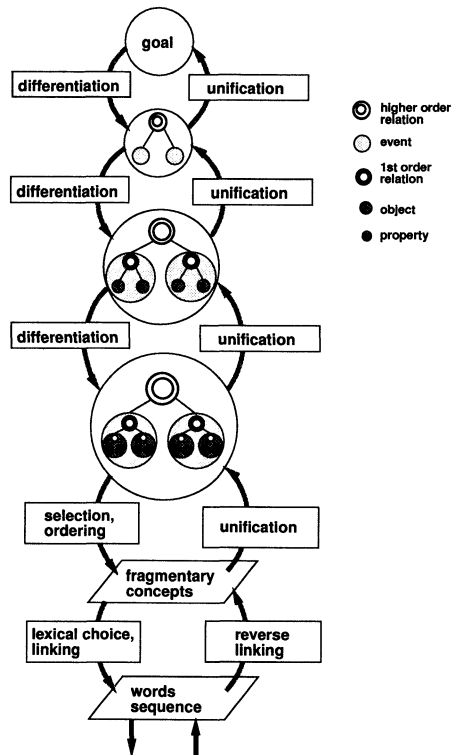


図 1: Vertical dimension

部分の間にはある関係が創発する<sup>1</sup>。それぞれの部分がさらに分化することにより、フラクタルな構造が現れる。この概念構造から各部分の文脈における際立ち (prominence) と情報の新旧 (newness) にしたがって、出力の可否とその順序が決定される<sup>2</sup>。次に語彙選択とマーカ-の付与が行なわれ<sup>3</sup>、単語の系列が出力されることになる。しかし、この段階での系列は最適なものではないので、後向きの処理が行なわれ、断片的な概念構造が復元される<sup>4</sup>。これらの概念構造の断片は、単一化 (unification) によって、大きな単位にまとめられ、この復元された構造と意図した構造との間で差分検出が行なわれる。単

<sup>1</sup> 高階関係の創発については、Oishi and Matsumoto 1998 [9] で、一階の関係については、Oishi and Matsumoto 1997 [8] で論じた。

<sup>2</sup> 大石、島津 1998 [11] では、この段階の制約について述べた。

<sup>3</sup> この過程をリンキング (linking) と呼ぶ。格マーカ-の付与と態 (voice) の選択に関する制約についての対照言語学的な研究が、Legendre et al. [7] によりなされている。

<sup>4</sup> この過程をリバースリンキング (reverse linking) と呼ぶ。この過程は、Oishi and Matsumoto 1998 [9] で述べた。

一化 (unification) は段階的に行なわれ、それぞれの段階で一貫性がチェックされ修正が行なわれる。この上向きの処理は、理解過程の前向きの処理をそのまま利用できる。以上のサイクルを、満足すべき出力が得られるまで繰り返すことになる。書き言葉においてはこの繰り返しを行なう時間が十分にある。これは、推敲と呼ばれる。ところが、話し言葉においてはこの繰り返しを十分に行なうことができず、最適解が得られる前に出力してしまわなければならない。これが、話し言葉に省略、言い差し、倒置が頻出する理由である [11]。

一方、理解過程では、音声または文字認識モジュールからの出力である単語系列が入力される。入力された各単語は、その単語に直接対応する概念のみならず、関連する一群の概念を呼び起こす。これらの断片的な概念は、図1の上向きの過程で単一化され、単一化できないものは衰微してゆく。こうして構成された概念構造は下向きに処理されて、入力単語系列を再現できるかどうか、検証される。生成時と同様にこの処理が繰り返されるが、繰り返しが十分でない場合には、誤解を生じることになる。このように、このモデルはアブダクションを自然に実現している。概念構造の生成と検証は、アブダクションにおける仮説の生成と評価に対応する。アブダクションにおいては、仮説の生成コストの割り当てが問題となるが [1]、生成過程の最適化戦略をもちいることにより、この問題を解決することができる。

次節では、もう一つの次元に同じ考え方を適用する。

### 3 「カテゴリー - メンバー」関係

前節の最初で述べた制約充足理論に対立するアナロジーの理論として、準抽象化理論 [13] がある。この理論は、アナロジーがカテゴリー化によって媒介され、これにより、ベースの検索、写像にかかる計算のコストが大幅に軽減されると主張する。そこで利用されるカテゴリーは、1) 一般化された目標の達成に向けたものとなっている、2) カテゴリー内の対象や関係はその目標の達成という観点から、意味的、機能的にまとまりをもっている、3) またそこに関与する対象は目標を達成するための条件を満たしている、という三つの条件を持つことが要請されている。

さて、我々のモデルのカテゴリー - メンバー関係に関する部分を図2に示す。

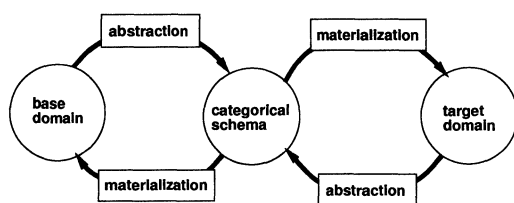


図 2: Horizontal dimension

図2において、中央の円がカテゴリーを表し、左右の円はベースとターゲットに相当し、そのカテゴリーのメンバーであることを示している。簡単のために、一段階の抽象化レベルしか描写していないが、実際には、複数の段階にわたる抽象化が存在するであろう。通常、抽象化によるカテゴリー構造は、木構造で描かれるが、「抽象的であることは上である」というメタファーに合理的な根拠はない。

この次元でも、情報は双方向に流れる。従来のアナロジーモデルは、写像がベースからターゲットに一方的に行なわれることを暗黙の前提としている。これは、われわれがターゲットについてよりも、ベースについてよく知っている、すなわち、経験的基盤を持っているからである [6]。一般に、情報は多いところから少ないところへ流れる (社会的な意味では、この命題は偽である — 情報はお金と同様、多いところに集まる)。確かに、問題解決にアナロジーを利用する場合や、アナロジーを言語として生成する時には、我々はターゲット領域の概念をもっともよく反映するベース領域の概念を捜し出すことによって、抽象的なターゲット領域の概念を、理解しやすいベース領域の言葉で表現しようとする。しかし、言語で表現されたアナロジーを理解する時には、ベース領域の概念を表す言葉を聞いて、それが何を意味しているのかを知る、すなわち、適切なターゲット領域を見つけ出す必要がある。つまり、アナロジーを生成する時とは逆の処理を行なう必要があるのである。

我々のモデルでは、アナロジーの理解と生成は同じメカニズムを用いることができる。生成においては、ターゲット領域の概念が与えられ、図2の右から左へと抽象化されることにより、何らかのカテゴリーのメンバーとして認識される。カテゴリーは、それを構成するメンバーに共通する情報をスキーマとして保存している。しかし、抽象化とは、事例から具体的特徴を取り去ることであるから、その過程で当然情報量は減り、有益な推論が行なえない可能性がある。そこで、このスキーマはそのカテゴリーに属する別の事例、つまりベース領域の概念によって具体化される。ここで、一般にベース領域はターゲット領域より多くの情報を持つので、より大きな構造が得られる。この情報は図の左から右へと再抽象化され、それによって得られるスキーマが、ターゲット領域の概念によって具体化される。このより大きな概念構造は、ターゲット領域の知識によって、その一貫性がチェックされ、矛盾するものは捨てられる。この処理サイクルが、ターゲット領域の知識が十分な構造を持つまで繰り返される。改訂は、カテゴリーの選択と、ベース領域の選択の両方の過程で行なわれ得る。これは、われわれが、一つの事例を複数の観点で解釈でき、いくつものベースによって理解することを可能にする。この概念構造は、ベース領域の知識によってもたらされたものであるから、その領域に対応する言語で表出される。この過程は前節に述べた通りである。

一方、アナロジーを理解する際には、入力はベース領域の概念である。これは、前節で述べた言語理解過程の出力である。この概念は、生成の後向き過程と同じ抽象化 (左から右) を経て、ターゲット領域の概念で具体化される。次に、ターゲット領域で一貫性が評価され、一貫しない概念は捨てられる。こうして構成された概念構造は、再び抽象化され、以下、生成時と同じサイクルが、最適な解釈が得られるまで繰り返される。この繰り返し計算により、一つのアナロジーの複数の解釈が可能になる。また、繰り返しが不十分な場合には、十分な理解が得られない可能性もある。

本節では、あたかも前節で述べた言語理解や生成と、アナロジーの生成と理解が逐次的に行なわれるかのように述べたが、実際にはこれらの処理は同時並列的に行なわれる。次節では、二つの過程を統合する。

### 4 統合モデル

図3にわれわれの統合モデルを示す。図3では、抽象化レベルにしたがって領域を配置するために、図2が中央で折り曲げられている。すなわち、右端が最も抽象化レベルが高く、左

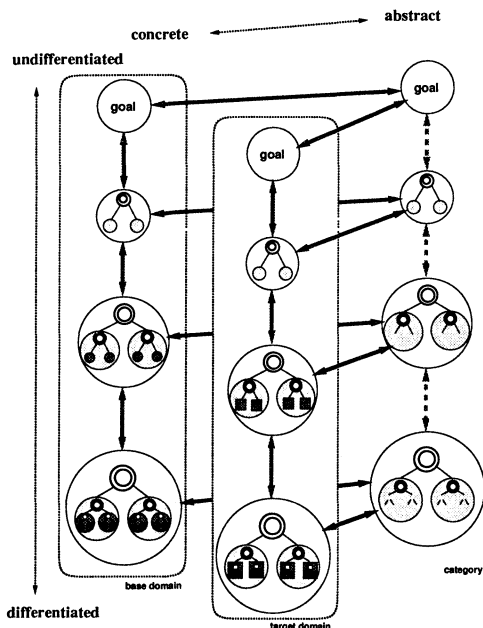


図 3: The integrated model

に行くにしたがって具体度が増す。上下の次元は、分化度に対応するが、図 1 の下部にあった言語出力の部分は省略されている。言語として出力される概念は、最下層平面から選択されたと考えてよいが、あらゆる概念に、対応する語があるとは限らないので、アナロジーによる平行移動が必要となる。また、図には一つのベース領域と一つのターゲット領域しか描いていないが、実際には複数の領域同士が抽象化によって結び付いており、また一つの領域が複数のカテゴリーのメンバーとなっていることも当然ありうる。この結合がいずれも双方向に情報をやりとりをすることにより、アナロジーの構成的側面、組合せ的側面が、ともに可能となる。

注意して頂きたいのは、この図のような構造が静的に格納されているわけではないということである。概念の分化や統合、アナロジーにおける写像は、いずれも動的に行なわれる。双方向的矢印で結合された一つ一つの円がある時点の状態を表している。

さて、この統合モデルにおいて、準抽象化理論の三条件は、ともに満たされている。というよりも、この条件をカテゴリー化の前提として採用しているのである。但し、あらかじめ固定された目的のカタログがあるというよりは、個別の状況に応じて、アナロジーを行なうことによりカテゴリーが形成されると考える。さらに、後述するように、上位のレベルと下位のレベルでは、カテゴリー化の規程が異なると考える。

一方、制約充足理論の三つの制約と、アナロジーの段階ごとに適用される制約の重要性の変化を説明するために、問題解決にアナロジーを利用した場合の情報の流れを図 4 に示す。

実際には、それぞれの段階で双方向の情報のやり取りによって最適化が行なわれるが、図 4 では、大まかな流れを図式的に表している。入力は、「s」と書かれた円に示されるターゲット領域の言語表現である。これが解くべき問題を表しているが、

この段階では十分にその問題の構造がつかめていない。そこで、ベース領域の検索が行なわれる (2, 3) が、この階層では、構造を利用することができないので、おもに知覚的属性に基づく検索が行なわれる。ベース領域の物体は、十分構造化されているので (4)、その構造がターゲット領域に写像される (5, 6)。同時に、高次の関係も写像される (5', 6', 7') が、この高次の関係は、何らかの目的に従ってカテゴリー化されている。そこで、この目的が、ターゲット領域での問題解決に適用可能かどうか、この段階で検証される (g)。以上のように、制約充足理論における三つの制約は、このモデルの上下階層におけるカテゴリー化の規程の違いと、アナロジーの各段階がおもにどの階層で働くかということによって説明される。

最下層の物体や動作は、知覚的特徴の共通性によってカテゴリー化される。しかし、階層が上がるにつれて、個々の物体間の違いは象捨され、知覚的属性は見えなくなる。残るのは物体の機能である。機能は必然的に関係を前提とする。したがって、中間レベルの階層では、機能的特徴に基づいたカテゴリー化が行なわれる。さらに上位の高階層関係では、機能と機能が関係づけられる。ここに目的が関与する。このように、階層ごとにカテゴリー化の規程が異なっているのであるが、最終的には何らかの目的に役立つものでなければならない。これが準抽象化の主張する条件である。このためには、各階層のカテゴリーの間に何らかの対応関係が存在する必要がある。これが、アナロジーの一貫性を保証するものであり、図 3 では、破線の矢印によって示されている。もし、十分な数の事例が存在すれば、このカテゴリーの上下の階層をつなぐ経路が確立され、問題解決等に直接利用することができるようになる。これが、新たな経験を構造化するための基盤となるものであり、学習を形成するものである。しかし、一方でこの経路は固定観念であり、思考の制約ともなるものである。我々は、固定観念を揺り動かし、新たな見方を常に見い出してゆかなければならない。これが発想の源泉となり、創造的思考への道筋を拓く。

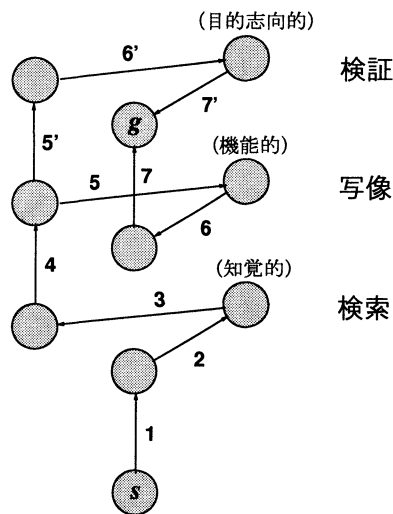


図 4: アナロジーの段階とカテゴリー化の規程

## 5 メタファーとメトニミー

本節では、先に述べたモデルに基づいて、メタファーとメトニミーの関係を明らかにし、これらが相互作用することによって、どのように語義の創造的使用をもたらすかを説明する。

メタファーという用語は、従来、修辭的な言語表現に対して用いられてきたが、その本質は、概念レベルの写像、すなわちアナロジーであるということが、明らかにされてきた。しかも、それは、精神活動の周縁であるどころか、我々が世界全体を理解する上で欠かすことのできない、認知活動の中核部と結び付いたものであることも認識され始めている [5]。また、メトニミーは、ある図式の一部に言及することにより、その図式全体を喚起するはたらき、またはその逆のはたらきをいう。このような、修辭学的手法を認識の手段として再構成する試みは、多くの成果をあげている。図 5 と図 6 は、メタファーとメトニミーが、われわれのモデルにおいて、どのような認知的操作として捉えられるかを表したものである。それぞれ、3 節と 2 節で述べた二つの次元に対応するものである。

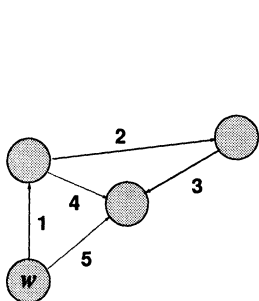


図 5: メタファー

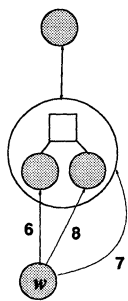


図 6: メトニミー

メタファーには、文学作品等で用いられる修辭的な表現、われわれが日常生活で何気なく用いている表現に見られるもの、さらに、死喩と呼ばれる慣習的隠喩の三種類がある（もちろん、厳密に区分することはできないが）。図 5 において、 $w$  がベース領域に対応する言語表現を表し、1-2-3 という経路に沿って、ターゲット領域に写像される。これが意識的に行なわれるのが、修辭的メタファーである。これが何回も行なわれると、ベースとターゲットの間に、1-4 というつながりが生まれ、写像が無意識に行なわれるようになる。これが日常的な表現に見られるメタファーである。さらにこれが固定され、当の言語表現が直接ターゲット領域の概念を指すようになったもの（5 の経路）が死喩である。

一方、図 6 は、2 節で述べた部分全体関係をモデル化したものである。ここでも、 $w$  が言語表現を表し、ある図式中の概念を指しているものとする（6 の経路）。ここで、階層が一つ上がることによって、図式中の各要素の区別が見えなくなる。この全体図式を  $w$  によって表現する（7 の経路）のがメトニミーである。さらに、全体を表していた表現が、分化された別の要素を指すことになる（8 の経路）場合もある。

このような操作が複雑に相互作用することによって、言語の多様な使用が生み出されるのである。ここでは、いくつかの具体例をあげて、語義の創造的使用について説明する。予定であったが、すでに紙面が尽きようとしている。残念であるが、手がかりとして、漢語の語義変化の例をいくつかあげておく。

- 「女房」という語は、文字通り「女の部屋」という意味であったが、「宮中の女官」を指すようになり、さらに現在用いられる「妻」という意味になった。
- 「坊主」という語は、文字通り「坊の主」という意味であったが、「僧一般」に用いられ、「髪のない頭」や「少年」という意味でも用いられる。
- 「ご馳走」は「走り回る」という意味から「料理」に変化した。

## 6 おわりに

われわれは、本稿で提案したモデルに基づいて、アナロジー解析システム ANAN (ANalogy ANalyzer) と、アナロジー生成システム ANGEN (ANalogy GENerator) を作成する予定である。

## 参考文献

- [1] HOBBS, J. R., STICKEL, M., MARTIN, P. and EDWARDS, D. Interpretation as Abduction, *Artificial Intelligence*, **63**, 1-2 (1993), 69-142.
- [2] HOLYOAK, K. J. and THAGARD, P. Analogical Mapping by Constraint Satisfaction, *Cognitive Science*, **13** (1989), 295-355.
- [3] HOLYOAK, K. J. and THAGARD, P. *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*, The MIT Press (1995).
- [4] LAKOFF, G. and JOHNSON, M. *Metaphors We Live By*, University of Chicago Press (1980).
- [5] LAKOFF, G. and TURNER, M. *More Than Cool Reason: A Field Guide to Poetic Metaphor*, The University of Chicago Press (1989).
- [6] LEGENDRE, G., RAYMOND, W. and SMOLENSKY, P. An Optimality-Theoretic typology of case and grammatical voice systems, Rutgers Optimality Archive, ROA-3-0000, (<http://ruccs.rutgers.edu/roa.html>) (1993).
- [7] OISHI, A. and MATSUMOTO, Y. Detecting the Organization of Semantic Subclasses of Japanese Verbs, *International Journal of Corpus Linguistics*, **2**, 1 (1997), 65-89.
- [8] OISHI, A. and MATSUMOTO, Y. Recognition of the Coherence Relations between Te-linked Clauses, *Proceedings of the 17th COLING and the 36th Annual Meeting of ACL*, **2** (1998), 990-996.
- [9] THAGARD, P., HOLYOAK, K. J., NELSON, G. and GOCHFELD, D. Analog Retrieval by Constraint Satisfaction, *Artificial Intelligence*, **46** (1990), 259-310.
- [10] 大石亨, 島津明 双方向性理論に基づく対話モデル, 電子情報通信学会技術研究報告, **98**, 441 (TL98-17) (Dec 1998), 41-48.
- [11] 川入光男 脳の計算理論, 産業図書 (1996).
- [12] 鈴木宏昭 類似と思考, 認知科学モノグラフ 1, 共立出版 (1996).