

解説



アナロジー

1. アナロジー入門

松原 仁†† 青木 義次††† 折原 良平††††

1. はじめに

ここでは、アナロジー研究の初歩について平易に解説を行う。本アナロジー特集のほかの専門的な解説^{1)~5)}を読むための入門編としての位置付けである。まず、アナロジーとはどういうものかを述べ、次にアナロジーの初期の代表的な研究のいくつかについてその概要を解説する。アナロジー研究で何が問題になるかを整理し、アナロジーによる推論である類推が現実社会でいかに重宝されているかの例として建築設計とアナロジーの関係について考察する。

全体を通して、厳密な記述というよりは直観的な記述によって雰囲気をつかんでもらうことを目指す。本稿が入門であるということもそうする理由の一つではあるが、それよりも、アナロジーが何かについてアナロジー研究の専門家の間ですら定義が一致していないという理由が大きい。アナロジーが人間にとってはあまりにも簡単なことであるのにコンピュータにとっては非常にむずかしいので、なかなか両者のギャップが埋まらず、アナロジーを一言で言い切ることができないのである。ここでは、人間が何事もなく行っている強力なアナロジーと今のコンピュータでかろうじて行える非力なアナロジーの両方をアナロジーと呼ぶが、そのような事情のためであることを了解されたい。

2. アナロジーとは何か

ある国語辞典（三省堂新明解国語辞典第三版）によれば、アナロジーとはすなわち類推のことで

あり、類推とは「既得の知識を応用して、同じ条件にある未知の物事について多分そうではないかと判断を下すこと」である。著名な人工知能研究者の Winston によれば⁶⁾、人工知能におけるアナロジーとは、「類似性は因果関係を保存する。すなわち、似た状況は似た結末を生じやすい」という原則にのっとり、既知の状況から未知の状況へ関係を写像することである。また日本におけるアナロジー研究の専門家である原口・有川⁷⁾によれば、類推とは、いくつかの与えられた対象間に類似性（これを類比という）を検出し、その類比を用いて一方の対象で成立する事実や知識をもう一方の対象に変換することにより、すなわちアナロジーにより、問題解決の手がかりを得たり、未知の事実などを予測推定する推論方式のことである。

定義をするとすると上記のように何か難しいことであるような印象をもつが、類推というのは人間が口頃ごくふつうに行っているごく当り前の推論方法である。何か未知の領域について知りたくなったり、その領域に関する情報が少なすぎたり、まっとうな手段（たとえば演繹）では推論ができそうもなければ、それに類似した既知の領域の知識を用いて推論を行う。それが類推であり、人間が最も自然に、最もしばしば用いる推論のひとつである。新しい発想を得るのにもアナロジーが重要な役割を果たしている⁸⁾。最も人間らしい推論方法であるだけに（機械化できればその恩恵は図りしれないが）機械化はきわめて難しく、人工知能でもこれまでなかなか研究に手がつけられなかった。しかし最近になってようやくコンピュータにおけるアナロジーのモデル化の研究が盛んに行われるようになってきた。

これまでの人工知能で最も盛んに研究されてきたのは演繹的学習である。演繹は、より一般的な

† Introduction to Analogical Reasoning by Hitoshi MATSUBARA (Electrotechnical Laboratory), Yoshitsugu AOKI (Tokyo Institute of Technology) and Ryohei ORIHARA (R&D Center, Toshiba Corp).

†† 電子技術総合研究所

††† 東京工業大学

†††† 東芝システム・ソフトウェア生産技術研究所

知識（構造）から、より具体的な知識（解）を導出するプロセスである。たとえば、「人間は死ぬ」という一般的な知識（ならびに「ソクラテスは人間である」という知識と）から、「ソクラテスは死ぬ」という具体的な知識を導出する三段論法のプロセスが演繹に相当する。演繹というのは基本的に（少なくとも数学的には）正しいまっとうな推論なので、形式論理などの既存の道具を用いることでコンピュータでも比較的容易に実現可能である。決して間違った結論を出すことがないというのが特徴であるが、言い方をかえれば当り前の推論しかできないということにもなる。

帰納とは、いくつかの例からそのなかに共通して内在する構造を抽出することである。たとえば、複数の異なる犬（スピッツ、ブルドッグ、秋田犬…）から「犬」という概念を学習するプロセスが帰納的学習に相当する。演繹とは逆に具体的な知識から抽象的な知識を引き出すわけである。演繹とは異なり、飛躍した推論も可能であるが、ときにはまちがった結論を出してしまうこともある。

「Stanford 大学の CSLI のすべての研究者は聰明である」

というより具体的な知識から、それを一般化した知識である、

「Stanford 大学のすべての研究者は聰明である」を引き出すプロセスはいつも成り立つ推論とは限らない（逆の演繹推論はいつも成り立つことに注意されたい）。またこのことに関連して、帰納ではどこまで抽象化（一般化）するかということが問題になる。先ほどの犬の例では、スピッツ、ブルドッグ、秋田犬という具体例から「犬」というレベルの知識を学習すればよいか、あるいは「四つ足の動物」というレベルの知識を学習すればよいか（このレベルでは犬と猫が同一視されている）、さらには「動物」というレベルの知識を学習すればよいか、ということの決定はその制御がきわめて難しい。

アナロジーというのは、ある意味で帰納と演繹とを組み合わせたプロセスである。いま考えている問題を解くためにそれに類似した例を手本として利用する。たとえば、未知の原子構造の知識を学習するために「原子構造は太陽系に似ている」ことから既知の太陽系の知識をあてはめるのであ

る。類推は現在かかえている問題以外の知識をもっていなければならない、というのが特徴である。アナロジーは飛躍した推論を可能にする（新しい知識が得られる）が、帰納と同様に必ずしも正しい推論を保証しない。後の例に出てくるように、いくら原子構造と太陽系が似ているとはいえ、太陽系でまん中の太陽が回りの惑星より温度が高いからという理由で、原子構造でもまん中の原子核が回りの電子より温度が高いということにはならない。どのようにすれば正しさを保証できるかがアナロジー研究の一つの鍵となっているが、人間ですらときにはアナロジーによって間違った推論をしてしまうことから分かるように、類推は誤った推論をする危険から完全に逃れることはできないのである。

ここでは具体的な研究を検討する前に、アナロジーのプロセスをどのようにコンピュータでモデル化すればよいかという一般論について考えよう。アナロジーは4つの基本ステップからなるというモデルをたてるのがふつうである⁹⁾。その4つについて説明する前に、これから用いるアナロジー関係の用語を二、三、整理しておく。いま解を得たいと思っているその問題のことを「目標」問題（領域）と呼ぶ。目標問題の解を得るのに利用するそれに類似した問題のことを「基底」問題（領域）と呼ぶ。基底問題の候補となる目標問題に類似した問題（一般に複数存在する）は類似物と呼ばれる。太陽系とのアナロジーで原子構造を学習するのであれば、太陽系が基底で原子構造が目標である（この場合は太陽系以外の類似物は考えにくい）。

アナロジーの4ステップは以下のとおりである。必ずしもいつもこの順番で進める必要はなく、複数の段階が同時に相互作用のもとで進められることもあるが、4つにわけることによって問題をより明確にできるであろう。

- 第一段階：（基底問題の候補である類似物の集合ならびに）目標問題を記号で表現する。
- 第二段階：目標問題を解くのに有効な類似物を選択してそれを基底問題に設定する。
- 第三段階：基底問題のいくつかの要素を目標問題に写像する（すなわち基底問題の要素と目標問題の要素の間の対応を決定する）。
- 第四段階：写像を拡張、変形して目標のため

の新しい知識を生成する。

第一段階は特にアナロジーに固有のプロセスということではない。いま解こうとしている問題における初期状態、目的状態、各状態に適用可能な作用素、状態推移における制約条件などを記号化することであり、現在の人工知能ではこの段階はほとんど人間の役目となっている。

第二段階が事実上はアナロジーの最初のプロセスである。この段階までくるということは、解こうとしている問題を直接的に解くための手段が存在しなかったということの意味している。直接解けるのであればアナロジーなどという危険な手段は使わない。この段階は、具体的には、目標問題の変型もしくは記憶からの類似物の探索に相当する。

第三段階では基底問題と目標問題の間でどの要素がどの要素に対応するかが決定される。もちろん、すべての要素の対応が取れるということではなく、お互いに一部の要素だけが対応付けられるのである。そして対応に従って基底問題から目標問題に写像が行われる。

第四段階では第三段階の写像に基づいて目標問題の中で新しい知識が形成される（うまくいけば目標問題の解が得られる）。

3. これまでの主な研究

3.1 Evans の研究

Evans の研究^{10),11)}は人工知能におけるアナロジー研究として最初のものである。この研究がアナロジー研究が盛んになるきっかけを与えたとは必ずしもいえないが、類似性というコンピュータで取り扱いが難しい概念を 1960 年代に正面から取り扱おうとした興味深い試みであった。

3.1.1 幾何学的類似

Evans がアナロジーをコンピュータで処理するにあたって取り上げた問題は図形における幾何学的類似であった（基底問題と目標問題が 2 次元図形という同一の領域であることになる）。その問題の例を図-1 に示す。「A が B に対応するとします。C は X に対応するという X として下の 1 から 5 の絵の中から最も適当なものを選びなさい。」という問いに答えることである。言葉を換えると、「A はいかにして B になるか」を記述する規則に最もよく照合する「C はいかにして（どれか

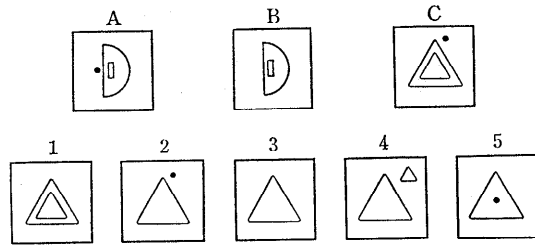


図-1 幾何学的類似¹¹⁾

の) X になるか」を記述する規則を見つけることである。

3.1.2 規則の表現

規則は A に相当する図（前図）はいかにして B に相当する図（後図）になるかを記述するものである。規則は三つの部分からなる。

第 1 部：前図の中の各部分図形が相互にどのような関係にあるかを記述する。記述子は INSIDE, ABOVE, LEFT, などあらかじめ与えられている。

第 2 部：後図の中の各部分図形が相互にどのような関係にあるかを記述する。

第 3 部：前図の各部分図形がいかに後図で変化したかを記述する。変化を表現する記述子は消去, スケール変換, 回転, などあらかじめ与えられている。

図-2 に規則の例を示す。前図と後図からコンピュータが自動的に規則を生成する。基底問題である A → B の規則以外にも、C → 1, C → 2, … という目標問題についてもそれぞれ規則を生成しておく。

3.1.3 類似した規則の選択

基底問題の規則と最も類似した規則を複数の候

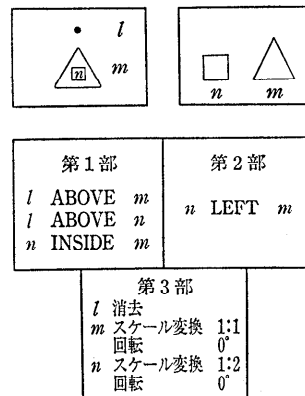


図-2 規則の例¹¹⁾

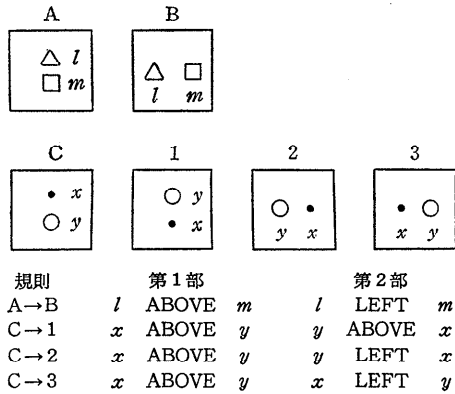


図-3 第3部の規則の影響がない例¹¹⁾

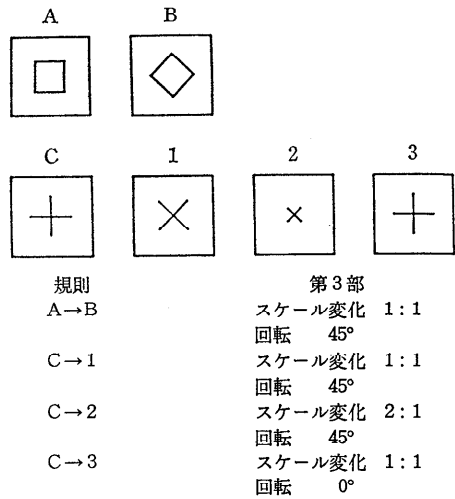


図-4 第3部のみを考えればよい例¹¹⁾

補の中から選択する。簡単のために第3部の規則の影響がない図-3の例を考えよう。この例では、最もよく合致するのは C→3 の規則である。l と x, m と y を対応させることにすれば両方の規則はまったく一致するからである。Evans のシステムでは各部分図形間の「関係」の類似性を問題にしており、部分図形の形状そのものの類似性は考慮していない。したがって規則間の照合を行う際には一般にすべての部分図形間の対応を考慮しなければならない。この例では l↔x, m↔y と l↔y, m↔x の2通りの対応をチェックする必要がある。部分図形の数がふえたり、前図と後図との間で部分図形が追加されたり消去されたりすると、チェックすべき場合の数が爆発してしまう。

図-4 は逆に第3部の規則のみを考えればよい例である。すぐに分かるように C→1 が正解であ

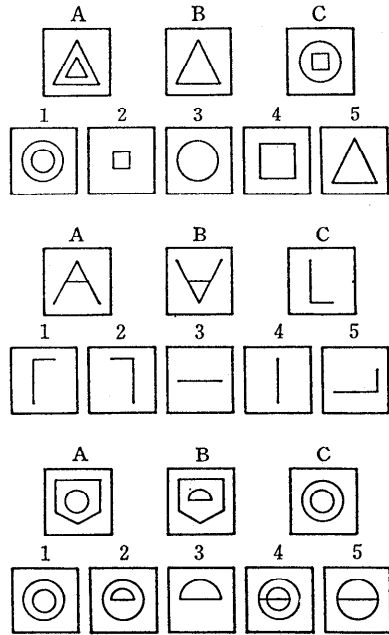


図-5 Evans のシステムが解けた問題の例¹¹⁾

る。もっとも、類似した規則はいつもこのように明確に決まるわけではなく、かなり微妙な場合もありえる。Evans は簡単な得点のメカニズムを導入して、二つの規則の間で一致している項目の数などによって類似性の程度を数値化した。結局彼のシステムは図-5 の三つの問題に正解を出すことができた。題材の問題は知能指数のテストに使用されたものである。

3.2 Winston の研究

現在人工知能でアナロジー研究が盛んになっていることには、1980年に Winston が書いた論文⁹⁾ が最も大きな影響を与えている。その後の研究も多くは Winston の研究に対する延長もしくは批判として発展したものである*。

3.2.1 英文からフレーム構造への変換

Winston の作成したシステム ANALOGY は入力として図-6 に示すような単純な構文からなる英語の文章を取り込む。この例は、Shakespeare の MACBETH という小説のプロットである。ANALOGY はまず前処理としてこの入力をフレーム構造に変換する。図-6 を変換した結果(の一部)が図-7 のネットワークである。フレームの

* Winston の研究に関する部分の記述は筆者が以前書いた解説¹²⁾ に基づいている。

In MA there is Macbeth, Lady-Macbeth, Duncan and Macduff. Macbeth is an evil noble. Lady-Macbeth is a greedy ambitious woman. Duncan is a king. Macduff is a loyal noble. Macbeth is evil because Macbeth is weak and because Macbeth married Lady-Macbeth and because Lady-Macbeth is greedy. Lady-Macbeth persuades Macbeth to want to be king. Lady-Macbeth influenced Macbeth because Lady-Macbeth is greedy and because Macbeth married Lady-Macbeth. Macbeth murders Duncan with Lady-Macbeth using a knife because Macbeth wants to be king and because Macbeth is evil. Lady-Macbeth kills Lady-Macbeth. Macduff is angry. Macduff kills Macbeth because Macbeth murdered Duncan and because Macduff is loyal.

図-6 ANALOGY への入力文

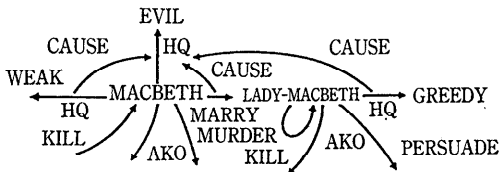


図-7 フレーム構造

関係や属性の間を結び付ける高階の関係 CAUSE が存在していることが彼の理論にとって本質的な意味をもつ。変換の際に、Macbeth が Duncan を殺したら Duncan は死ぬ (より正確には、Macbeth から Duncan に向けて kill という関係が存在すれば、Duncan は dead という属性をもつ)、というような演繹がデモンによって自動的になされる。このようにして生成されたフレーム構造 (以下では状況と呼ぶ) がアナロジーの対象となる。

3.2.2 状況間の照合関係

二つの異なる英文からそれぞれ状況 S1 と S2 が得られたものとする。ANALOGY では、S1 のどの部分と S2 のどの部分が似ているのかを、両者の適切な照合関係を求めることによって決定する。S1 と S2 の各フレーム間の1対1の対応づけを考える。図-8 に示すように、フレームの総数が多いほうには当然相手のないフレームが残ることになる。S1 は N1 個、S2 は S2 個のフレームから構成されていて、 $N1 \geq N2$ が成り立っていると仮定すれば、照合の組合せは $N1!$

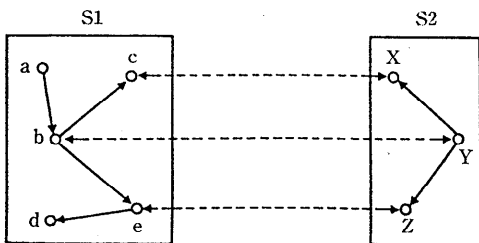


図-8 フレーム間の対応付け

$(N1-N2)!$ 通り存在する。それぞれの対応づけには、両フレームを同一視することの妥当性を数値化した得点が割り当てられる。人間と人間同士、男性と男性同士というように、対応する二つのフレームに同一の関係や属性がなるべくたくさん存在するほど、対応づけの得点はより高くなるのである。関係および属性の点数はその重要性に応じて重みがつけられている。なかでも CAUSE (因果) は特に重要な関係である。各照合に対し、個々のフレーム間の対応づけの得点を合計することによって状況全体の得点を算出する。すべての組合せのなかで状況として最も高得点を得たものを適切な照合と決定する。

S1 が MACBETH のプロットで S2 が HAMLET のプロットであれば、Macbeth と Claudius, Macduff と Hamlet, Duncan と Ghost, Lady-Macbeth と Gertrude が対応づけられるような照合が最高得点を得ることになる。さらに照合の得点を比較することによって、MACBETH は HAMLET に悲劇としてよく似ているが、喜劇である TAMING OF THE SHREW とほとんど似ていないことなども分かる。

3.2.3 因果関係の写像

二つの状況のどの部分とどの部分が対応しているのが求まれば、その対応づけに従って実際のアナロジーを行う。Winston の定義によるアナロジーは、「類似性は因果関係を保存する。すなわち、似た状況は似た結末を生じやすい」という原則にのっとり、既知の状況 (基底) から未知の状況 (目標) へ関係を写像することである。図-7 の MACBETH プロットの状況を既知とする。新たに、“In TARGET-1 there is a man and a woman. The man married the woman. The man is weak and the woman is greedy. Show that the man in TARGET-1 may be evil.” という英文を入力すれば図-9 の状況が作り出される。先に述べた照合プロセスで、Macbeth と man-1, Lady-Macbeth と woman-1 がそれぞれ対応することが

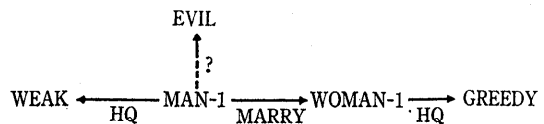


図-9 新しい問題

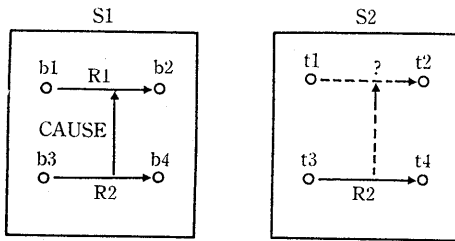


図-10 Winston のアナロジー理論

分かる。weak という性質をもつフレームが greedy という性質をもつフレームと marry という関係にあるという点で二つの状況はよく似ている。したがって、その結末を考えれば、man-1 も Macbeth と同様に evil であろうというアナロジーが成り立つのである。

図-10 にこのアナロジー理論の一般的な図式を示す。照合プロセスはすでに終了し、b1 と t1, b2 と t2, b3 と t3, b4 と t4 の対応は付いているものとする。S1 では b1 と b2 の間に R1 の関係が、b3 と b4 の間に R2 の関係が成立しており、さらに R2 から R1 に向けて CAUSE の関係が成立している。一方 S2 では、t3 と t4 の間に R2 の関係が成立している。このような場合に S1 から S2 に CAUSE の関係を写像することによって、t1 と t2 の間に R1 の関係の存在を推論するのがアナロジーである。さらに ANALOGY では因果関係に推移律を適用することも許している。

3.2.4 unless 部付き if-then 規則

Winston はさらに ANALOGY の研究を進展させ、アナロジーを用いて新たな問題を解き、その副産物として if-then 規則を生成するシステムを作成した^{13)~15)}。上記の例でいえば、if 気弱な男が欲深な女と結婚している then その男は悪事を働く、という規則を学習することになる。

既知の知識として MACBETH のプロットが与えられたときに、図-9 という新たな問題 E (ある状況に対して、そこである関係が成り立つことを導く) を解く、という問題を考える。

既知の知識と新しい問題は状況で表現されており、システムは次のように動く。

1. 既知の知識の部分フレームを新しい問題の部分フレームに対応づける。
2. 既知の知識の因果関係を新しい問題へ写像する

3. 写像された因果関係が、新しい問題ですでに成り立っている関係 (たとえば、「man-1 は weak である」と新たに推論すべき関係 (たとえば、「man-1 は evil である」とをつないでいることを示す。

4. 新しい問題ですでに成り立っていた関係を一般化したものを if 部とし、新たに推論すべき関係を then 部として if-then 規則を作る。

このようにして作られた規則は過剰に一般化されている可能性がある (たとえば、「すべての男は悪事を働く」、となってしまう可能性がある)。そこで、監視規則というものの導入による性能の向上を試みる。if-then 規則に unless 部を設けて強化 if-then 規則とするのである。unless 部に含まれる条件が一つでも「明らかに真」ならば、その規則は使えない。「明らかに真」とは、たとえばルールの適用が1回以内で証明できることである。過剰な一般化が検出されたとき、その規則の unless 部の条件を証明する規則 (監視規則) を学習すれば、システムの性能を向上できる。この研究の一部¹⁴⁾はその後に説明に基づく学習 (Explanation-Based Learning) へと発展した。

3.3 Gentner の研究

Gentner は人工知能研究者というよりは認知心理学者であり、認知心理学からみた彼女の業績は楠見・松原論文¹⁾を参照されたい。しかし彼女の理論¹⁶⁾は人工知能でのアナロジー研究に大きな影響を与えたので、簡単に触れておくことにする。

3.3.1 属性と関係の区別

彼女は知識として、一引数の述語である属性、オブジェクトを引数とする一階関係、命題を引数とする高階関係、の3種類を明確に区別した。彼女が好んで例にあげる太陽系と原子構造の間のアナロジーにおいては、「太陽は黄色である」は属性であり、「太陽は惑星よりも大きい」は一階関係であり (太陽や惑星はオブジェクトである)、「太陽は惑星よりも重いので、惑星は太陽の回りを回る」は高階関係である。彼女の理論ではアナロジーにおいて重要なのは関係であって、属性は必ずしも重要でない。ここで言う重要な意味は、基底から目標に写像されやすいということである。「太陽は惑星よりも大きい」ことから「原子核は電子よりも大きい」ことが学習されるのに対し、「太陽は黄色である」ことから「原子核は

黄色である」ことは学習されない、という人間の類推で観察される一般的な傾向をこうして説明している。

3.3.2 システム性の原則

Winston の理論では、アナロジーの対象としてあらかじめ必要十分な関係や属性しか与えられていないので、アナロジーによってどの関係が写像されるかは一意に決まっておらず選択の余地はない。しかし人間がアナロジーを行う際には多数の関係の中のごく一部だけが写像されるのである。したがって、人間のアナロジーのモデルとして妥当な理論であるためには、アナロジーによって写像されやすい関係とそうでない関係とが存在することをうまく説明できなくてはならない。

Gentner はその説明のために構造写像という理論を提案した。この理論の特徴は、高階の関係で結合されている関係ほどアナロジーによって写像されやすいとする「システム性の原則」である*。Winston の CAUSE は高階の関係の典型である。図-11 に示した太陽系と原子構造のアナロジーにおいて、more massive than は写像されやすく hotter than は写像されにくいという（人間における）傾向を彼女はこのシステム性の原則を用いて説明している。more-massive-than はシステムを成しているので写像されやすいが、hotter-than は孤立しているので写像されにくいというのである。

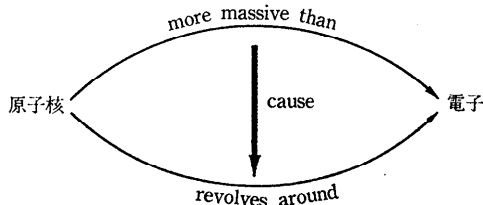
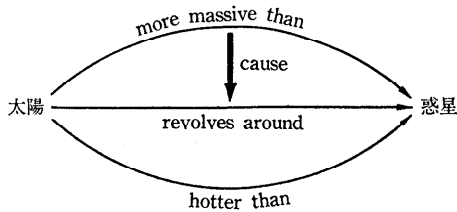


図-11 太陽系と原子構造

* システム性の原則は、基底においてシステムを成している関係が目標に写像されやすいというものである。

この説明については批判がないわけではない⁹⁾。太陽とその惑星との間の相対的な温度の関係は、決して孤立しているものではない。たとえば、なぜ太陽だけが恒星であるかを述べた命題とか、惑星はどのようにしてできたかを述べた命題とか、太陽と惑星ではどちらに生命が存在する可能性が高いかを述べた命題とか、相互に結合した無数の関係が存在している。このような構造があれば、システム性の原則から hotter than も写像されることになる。人間が hotter-than についてどのような形で知識をもっているかを示していない以上はシステム性の原則に説得力はないという批判である。

彼女の理論に限界があるのは事実としても、明確な形で写像される知識と写像されない知識を分離できる原則を示した業績は大きい。

3.3.3 表面的な類似性

Gentner は、アナロジーにおいていわば構造的な類似性が重要であることを主張したことになる。彼女はまた、表面的な類似性も、アナロジーの第二・三段階で基底を選択し基底と目標の要素間の対応を付けるプロセスにかなりの影響を与えることを示した。彼女は4歳から8歳までの子供たちに対して実験を行った。彼らに主人公（英雄）、その友達、悪役という、3種類の動物が登場する童話を二つ読んで聞かせた。すると、同じ役割を表面的に類似した動物が演じているほうが対応づけがはるかにうまくいったのである（イヌが英雄でカモメが悪役の話の話を聞かせたあとは、ズメが英雄でネコが悪役の話よりも、ネコが英雄でズメが悪役の話のほうが理解しやすい、という傾向がみられた）。表面的な類似性は、構造的な尺度による類似性判断をさらに高めるという効果がある点で、やはりアナロジーには重要なのである。

ほかの研究者の実験でもこの事実は確かめられている⁹⁾。国際政治を専攻しているアメリカ人の大学生に仮想的な国際紛争の例を示し、アメリカがその紛争に介入すべきかどうかを判断させてみた。第二次世界大戦の直前のヨーロッパに表面的に類似した紛争に対しては介入すべきと判断し、ヴェトナム戦争直前の東南アジアに表面的に類似した紛争に対しては介入すべきでないと判断したのである。これは、ナチスドイツには介入せずに

失敗し、ヴェトナムには介入して失敗したことからのアナロジーである。

3.4 Burstein の研究

Burstein¹⁷⁾ は Winston と Gentner の理論の欠点を一部補うようなコンピュータモデルを提案した。

3.4.1 従来の理論の問題点

Winston の理論では、本来これから学習するので未知であるはずの目標問題の知識構造がもとからほとんど分かっている。図-9 でも、man-1, woman-1, greedy, weak の間の関係（構造）はあらかじめ与えられている。この仮定は人間のモデルとして不自然である。なぜなら目標問題の構造は、アナロジーによって基底から推論することで初めて分かるはずのものだからである。また彼の理論では基底と目標の要素間の対応付けの得点の総和が最高のものを選ぶという形で基底問題と目標問題の対応付けを行っているが、これでは問題の領域が広がると組合せの数が爆発してしまう。コンピュータ・アルゴリズムとして非能率的であるばかりでなく、人間のモデルとして不自然である。

Gentner の理論では、基底問題から目標問題に写像されるのは同じ（字面の）関係で、異なる（字面の）関係の写像は許されていない。たとえば太陽系の more-massive-than は原子構造に同じ more-massive-than として写像されることしか許していない。これは Evans のような基底も目標も空間的な記述の問題を扱っている場合には問題としないことではあるが、一般には少し強すぎる仮定である。物理的な領域と抽象的な領域との間でのアナロジーができないことになってしまう。やはりモデルとして不自然である。

3.4.2 プログラミング言語学習モデル CARL

Burstein は BASIC における代入文の意味をアナロジーによって学習するシステム CARL を作成した。CARL は先生にあたる人間と対話することによって逐次的にプログラミング言語における変数の概念を学習していく。「変数は箱のようなもので、箱にもものはいるように変数には数はいる」などの先生の適切な助言に基づいて、CARL はまず箱とのアナロジーを使って箱の概念に関する既知の知識から変数の概念の核を作り出す。この際に、目標問題に相当する BASIC のプログラ

箱の領域

プログラミングの領域

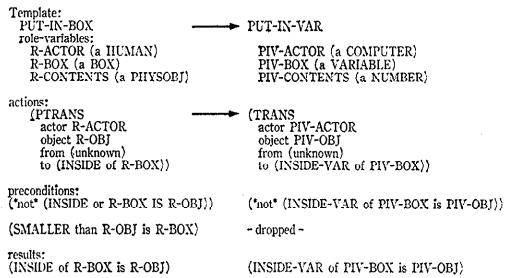


図-12 CARL における代入文の理解

ミングの知識構造はこのアナロジー以前には与えられていないことに注意されたい。その後“X=Y”という代入文の説明から、箱にもものはいるのは物理的な作用であるのに対し、変数に数がいいるのは抽象的な作用であることも正しく学習する（図-12 参照）。その後は箱とのアナロジーと代数とのアナロジーを使い分けるようになる。代数とのアナロジーとは、代入文の等号は代数での等号のようなものである、という類似性に基づくものである。CARL は、複数のアナロジーを使い分ける点で、また途中ではアナロジーによって誤った推論をすることがあってもそれを正しいものにデバッグする能力をもっている点で、それまでのモデルよりも現実的である。また CARL は、目標の知識構造を基底からのアナロジーで生成し、基底と目標の対応付けもヒューリスティックを用いた探索で効率的に行い、同一でない関係もアナロジーによって写像されるようになっていく（たとえば、物理的な関係が抽象的な関係として写像される）。しかしこのモデルは BASIC の代入文という単純な対象ではうまく動いたものの、他のさらに複雑な対象に適用するのはこのままではむずかしいと思われる。

3.5 Kedar-Cabelli の研究

Kedar-Cabelli はアナロジーのモデルに人工知能で初めて「アナロジーの目的」という考え方を持ち込んだ¹⁸⁾。

3.5.1 従来の理論の問題点

Winston ならびに Gentner や Burstein の理論では、どれも因果関係がアナロジーにおいて本質的な役割を果たしていると仮定していた。この仮定自体は妥当である。しかし彼らの理論では、基底問題の中に多数の因果関係が存在する場合に、その中のどれがアナロジーの対象になるかがどの

ように決定されるかについての説明が十分ではなかった。

Gentner はアナロジーのプロセスは完全に形式的なものであると仮定している。このこと自体はとりあえず問題ではない。彼女の構造写像理論におけるシステム性の原則をそのまま解釈すると、ある関係が写像されるかどうかは基底の知識の構造だけから決まることになる。すると基底が同じであれば目標が違って同じ関係が写像されることになる*。これは不自然である。「君はぼくの太陽だ」において太陽から君に写像される関係と、「原子構造は太陽系のようなものである」において太陽から原子核に写像される関係とは決して同じではない。二つのアナロジーの違いを説明できるモデルが必要となる。

3.5.2 目的主導型アナロジー

Kedar-Cabelli は上記の問題点を解決するために、アナロジーを行う目的という考え方を陽に持ち込んだ。アナロジーは無目的に行うものではなく、ある問題を解決したいという目的をもって行うのである。したがってたとえ同じ基底を用いたとしても、目的が異なれば写像される関係も当然異なると考えるのである。基底の中に数多く存在する因果関係のうちで問題解決の目的に適合するものだけがアナロジーの対象となる。彼の理論によれば、あるコップについてアナロジーを行う際には、ふつう「人間が熱い(冷たい)液体をそこから飲むための道具」としてのコップが問題解決で求めている目的なので、その目的に適合するコップの形、大きさ、重さ、材質などは写像される対象となるが、色や模様などは目的と関係ないので写像の対象とならないのである。この研究もその後説明に基づく学習につながっていった。

4. アナロジー研究の課題

この章ではアナロジー研究の課題を整理する。

よく言われていることであるが、コンピュータにとって、ある二つのものが同一か異なるかの判定は容易で、ある二つのものが似ているか似ていないかの類似性の判定は非常にむずかしい。類推とはその類似性に基づいた推論方式であるために、コンピュータ上での実現はむずかしいのであ

る。すべての対象に共通する類似性を定義するのはほとんど不可能に近いので、対象としている領域に固有であることを前提として、その領域の適切な類似性を定義することがまず第一に必要である。一般にAとBという「もの」が与えられただけではAとBが似ているかは判断できない。Cという視点を定めて、はじめてAとBが似ているかどうかを議論できるようになる。Cは状況であったり文脈であったり目的であったりする。

アナロジーのコンピュータ・モデルを考えるうえで大きな問題となるのが以下の2点である。

1. 4ステップの第二段階において、目標問題を解くのに有効な基底問題を類似物の中からどのように効率的に見つけるか。
2. 有効な基底類似物が見つかったと仮定して、4ステップの第三段階において、基底問題から目標問題に写像すべき要素をどのように決定するか。

いずれも探索の問題である。どちらもふつうにインプリメントしようとするすると計算量が爆発してしまうので、いかにそのような事態を引き起こすことなく探索を行うかを工夫しなければならない。Winston のシステムは写像すべき要素を要素間のしらみつぶしの対応付けとして探索したため、計算量は完全に爆発していた。Evans のシステムも同様である。問題の規模が小さかったので、それでもなんとか処理を完了することができていたのである。Gentner, Burstein, Kedar-Cabelliらの研究は、探索にヒューリスティクスを導入して計算量の爆発を押さえようとしている。妥当なヒューリスティクスとは何か、そのヒューリスティクスをいかに形式化するか、ということが人工知能におけるアナロジー研究の最も大きな課題である。認知心理学における形式論的アプローチと実用論的アプローチとの間の論争¹⁾もこの点に関わっている。

アナロジーは基底領域から目標領域に対して一部の知識が写像される(図-13参照)。この場合、基底領域と目標領域はある視点からみて類似性が大きいことになる。このことは、すなわち、基底領域と目標領域に共通する抽象的な概念がもたら存在する、あるいはアナロジーの時点で生成される、ということの意味している。このとき、基底領域から「直接」に目標領域に処理が進むの

* 現在の理論は、事実上基底と目標の両方の構造によって写像される関係が決まることになっている。

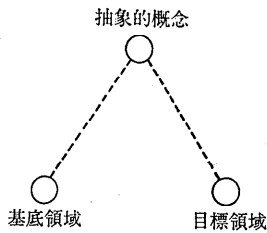


図-13 抽象とアナロジー

か、まず基底領域から抽象的な知識に帰納され、その抽象的な知識から目標領域が演繹されるという形で処理が間接的に進むのか、ということがアナロジー研究者の間で論争になっている。相互に変換可能なプロセスではあるが、アナロジーのモデル化としては明確に区別しておく必要がある*。

アナロジーと似た概念に比喩というものが存在する^{13,14)}。たとえば Gentner は、関係が写像されるのが(狭義の)アナロジーで、属性が写像されるのが(狭義の)比喩と説明している。しかしまだはっきりとした区別は定まっていない。アナロジーと比喩はどこまで同じでどこまで異なるかを明確にする必要がある。

2. で述べたように、類推は本質的に誤った推論をする危険がある。アナロジーを工学的に応用するためには、誤りをなるべく減らすような工夫をしなければならない。また、似ているという概念はそのままではコンピュータで扱えないので、コンピュータに扱える形で類似性を定義しなければならない。さらにはアナロジーには前述のように計算量の爆発の危険が付きまとうので、計算量の評価もしておくことが望まれる。これらの点から数学的にアナロジーを分析することも重要である²¹⁾。

5. アナロジーの応用：建築設計の例

5.1 大規模システムとアナロジー

アナロジーは、もちろん工学のさまざまな分野に応用される可能性があるが、ここでは、アナロジーがより広い分野に適用される可能性をみるため、アナロジーとは一見かけはなれているようにみえる建築の設計の例を通じて検討してみたい^{19)~21)}。

人が対象やシステムを理解するとき、特にそれを作ろうとしているとき、なんらかの方法で既存のものとの関係で理解したり、システムの構造を考えたりすることがある。特にシステムが巨大になり、複雑になったときには、その傾向は強い。建築では、通常の機械や自動車に比べて一桁多い部材数であると言われているが、形態的特徴の類似物をもって理解することが多い。たとえば、蝦虹梁(えびこうりょうと読み、装飾を兼ねた梁の一種で形状が蝦のように湾曲している)、肘木(ひじきと読み、肘をのばしたような形状で、桁などを支える部材)など日常よく目にする動物や身体などの形態的特徴の類似性から命名された部材も多い(余談だが、建築用語の中には動物が何匹いるかというクイズがあるくらいで、筆者の知っている範囲でも相当な数にのぼる)。つまり、既存物のもつイメージを活用して建築を理解する手段とすることは多い。これは、建築が多くの要素からなり通常の理解では複雑となるためと思われる。このような傾向は、建築以外の分野でも、その構造が複雑となればみられることである。興味深いのは、建築とはかけはなれたハイテク技術の中にも複雑な構造を理解するとき、建築用語が登場することである。たとえば、コンピュータ技術では、アーキテクチャとかモジュールという用語が用いられる。後者は、もともと建築術を意味するモジュラスというラテン語から発生した用語で、この語からモジュール以外にもモデルという単語が発生している。『モデルとは言わば、汎用の類似物である』といってもよい。現在では、構造や基礎という用語は、建築の物理的存在物としての意味よりは、抽象概念として用いられ、各分野での理解を助けているといえよう。

また、建築美を語るときも、古代建築、ルネッサンス建築では、人体とのアナロジーから、人体寸法の各部の比が建築の各部分の比となるようにすべきであるという建築思想が主流であったし、近年でも、植物の代謝過程を模して建築にもこのような代謝機能をもつべきとするメタボリズムという建築運動もあった。さらに、設計者が設計のアイディアの段階で、既存世界の中から類似物を発見し、それをモディファイすることで斬新な建築を設計する例は、多くみられる。

* 抽象的知識を経て間接的に進むプロセスのコンピュータモデルについては桜井、脇園、原尾(文献3))で解説されている。

5.2 空間理解とアナロジー

現代都市や大規模建築になると空間は複雑となり、利用者にとって分かりにくくなる。迷路状の空間では火災避難上の危険性もある。こうした点から、利用者に空間を理解してもらうための工夫がなされている。しかし、肝心の人間の空間理解がどのようになされているかについては、よく分かっていないのが現状である。建築空間（以下、建築空間あるいは空間という用語が頻繁に使われるが、物理的な空間、数学での座標空間といった意味あいばかりではなく、建築の分野では、場所、部屋、都市などの物理的配置に加えて、そこに人々が見出す生理的情緒の意味や文化的意味をも含めて使われる用語である。ただし、かなり思い入れの強い用語であるのに、一度も正確に定義されたことはない。）は、視覚を通じて人間に刺激を与えることから、視覚の生理反応機構の研究が心理学や建築学でも盛んに行われたが、経験知識の活用、文化的枠組みからの影響など、生理反応の側面だけからでは説明できないことも多い。つまり、空間の概念理解的な機構の研究が必要になってきている。

ここでは、筆者らが研究してきた『赤提灯モデル』と『星座モデル』と呼ぶものを紹介し、これが、アナロジーのひとつの形態であり、アナロジー研究と空間理解の研究がきわめて近い位置にあることを説明してみたい。

生理反応では説明できない空間理解というものは建築空間では、意外と多い。たとえば、外国人には理解できない場合もあるが、大方の日本人ならば、赤提灯の下がった店先に立てば、そこは提灯屋ではなく飲み屋であると分かる。場合によっては、提灯の汚れぐあいで、値段まで分かる。これを類推の図式に当てはめて考えてみよう。

まず、対象領域の要素として、見えている赤提灯とその提灯の裏の店とがあり、要素間の関係として、店の入り口部分に赤提灯があるという空間配置上の関係がある。対象領域での店の内容は、未定である。一方、経験知識としての基底領域に、過去に見たことのある赤提灯とその赤提灯の下がった飲み屋がある。要素間の空間配置上の関係は、現在見ているものと同じである。このとき、目の前の空間（対象領域）と経験知識（基底領域）の要素、関係についての類比が成立する。

一般のアナロジーでは、関係として用いられるのが論理的关系であるのに対して、空間配置上の関係であることが若干異なる。

この類比の成立のもとで、基底領域から対象領域への転写が可能となる。つまり、この過去の経験世界の「赤提灯の下がった飲み屋」から目の前の赤提灯の後ろには「飲み屋」があるに違いないと推論される。結果として赤提灯という物理的な対象は、それを見る人々に飲み屋の雰囲気というものまで感じさせるということになる。

赤提灯は簡単な例に過ぎないが、このような枠組みで理解せざるをえない空間が建築や都市では非常に多い。人々が無意識のうちに空間をどのように理解するかを把握する場合、とくに複雑な文化的枠組みを理解する手立てとして、こうしたアナロジー過程の検討はきわめて有効で重要なものであろう。また、最近、建築空間を一種のサインとして理解することが重視されているが、サインがサインとして成立するメカニズム自体にも、アナロジーという過程が介在しているのである。

先の例では、対象は目の前にあり可視的であったが、対象が大規模で見えないという場合はどうであろうか。東京のような大都市の形状を人々はどのように理解しているだろうか。いくつもの駅があり、その空間的位置をある程度イメージできる。イメージできたとき、理解できたような気がするといつてよい。そこで、山の手線と中央線の駅の位置をどのように理解しているか調べてみた。俗にイメージマップと言われる地図を描いてもらう方法、ふたつの駅間の距離を評定してもらう方法により、各人のイメージ上の駅の位置を計測する。結果をみると、現実の駅の配置とかなり異なる。なぜ、このような変形が人間の心の中で起こるのかを説明する必要がある。

そこで、気がついたのが星座である。夜空の星を見上げるといろいろな星座がある。しかし、ひとつひとつの星はかなりランダムな配置であって、工学的にこれをグルーピングするというのは難しい。人間は、よく知っている形との類似性から星をグルーピングし、星座と名付けている。そのため、同じ7つの星でも熊に見たり、杓に見たりする。山の手線の場合は、よく知られた幾何学図形つまり円と直線の組合せで見ているようだ。その証拠に、各被験者の描いた山の手線と中央線

は、前者がより円に近く、中央線が直線に近く変形している。この傾向は、東京の山の手線ばかりでなく、大阪の環状線、ソウルの環状線でも、日本人、韓国人においても同様である。

つまり、複雑な対象を理解する場合、
 実際の山の手線→幾何図形としての円
 (目標領域) (基底領域)

という写像が構成され、その結果として実際の空間の配置関係が、円の性質を利用した推論を経てから理解されるために、現実よりも円に近く認識されてしまうのである。似たことは、筆者の研究ではないが、直角でない道路の交差の場合に、多くの人が直角に交差しているとみなして空間を理解するため、こうした場所で道を間違える人が多いことも知られている。いずれにしても、対象の空間(目標領域)を直接理解しているというよりは、類似物(基底領域)を介して、類似物で可能な推論を利用して対象を理解していると言ってよいだろう。

現在の段階では、上記ふたつのモデルは記述的であって、こうしたプロセスを計算論的モデルとして具体化できるまでには至っていないが、アナロジー研究の進展にともない、こうした点も解明され現実的な建築や都市造りに役立つ日がくると考えている。

5.3 アナロジーを前提とした空間設計法

上記の議論は、人がアナロジーを介して空間を理解しているので、それを解明することで空間設計に役立てようというものであったが、実は、デザインの中には、すでに、アナロジーを前提として、むしろアナロジーをさせるということを介して豊かな造形を造りだそうという方法が、意識的に使用されている場合もある。このような建築設計における類推の例として、『見立て』という日本古来の設計方法を紹介し、アナロジーという概念が建築設計分野では、いかに重要な概念であるかを述べてみたい。

『見たて』というのは、いろいろな場面で行われるが、ここでは、具体例として有名な竜安寺石庭で説明しておきたい。まず、設計過程ではなく、それを鑑賞するほうから考えてみる。前面に矩形の庭、白い小石が敷き詰められ、ところどころに苔むした石が配置されている。敷き詰められた小石に波模様のような縞が描かれている。築地

塀とその先の風景を除けば、たったこれだけのものしかない。枯山水を知らない人は、一瞬と惑うことがあっても、外国人を含めて多くの人が、敷き詰められた小石を海と見、苔むした石を島と見る。現前の空間(竜安寺石庭)と想像された空間(大海の島々)との要素対応をみると以下のようにになっている。

縞のついた小石の敷き詰め	→波のある海
縞模様	→波模様
苔むした石	→木の茂った島
苔	→木

このようなマッチングが容易に成立していることが、この種の空間の特徴と言える。他の問題解決型のアナロジーと違っているのは、目標領域(現前の空間)から基底領域(想像された空間)との対応付けの後、基底領域での演繹推論結果が目標領域に転写されるのに対して、ここでは、基底領域での演繹推論に相当するものがないということである。しかし、大海の島々を眺めたときの爽やかな気分というものが、想像された世界で成立していたとすれば、その気分と同質の、あるいは類似したものが、現前の空間の気分として成立してくると考えられる。つまり、通常基底領域での演繹推論結果の目標領域への転写に替わって次のような関係が成立している。

爽やかな気分←大海の島々を眺めた
ときの爽やかな気分

このように竜安寺石庭をみたとき、ある種の気分、雰囲気形成しようとした設計者が、以上のプロセスを逆に辿っていけば、現前の空間にどのようなものを設けるべきかを容易に考えられることが分かる。設計は、通常のアナロジーの逆問題の様子を呈しているとも言えよう。

さらに、機械のように目的が明瞭なものと異なって、建築のようなものだ多義的であることの面白さということがある。鑑賞する側の感性に応じた別の意味あいをも同時に出現させようということがある。竜安寺石庭の場合、通常は上記のように大海の島々を見るが、仏教的故事(正確には仏教というより習俗的である)に明るい人は、「虎の子渡し」を見る。つまり、大きい石が親の虎に、小さい石が子の虎に見立てられ、大海を渡る親子の虎を見る。このとき、大海の島々を見て、爽やかな気分の中にひたると同時に、親子の

絆といったやや倫理的な関係のもと感情が同時に出現するのである。

このようなアナロジーにおける複数の基底領域への同時写像のもたらす効果を、設計者は意図的に仕組むのである。枯れ山水の庭園をはじめとして、こうした『見立て』という方法は、古くから意図的に使われていたが、近代的デザインの中で忘れられようとしている。『見立て』を現在の設計の中で活用するためには、アナロジー（正確にはアナロジーよりも概念として拡大しているかもしれない）のより一層の解明が必要であると言わざるをえない。しかし、より豊かな空間を出現させるための重要な一歩であることに違いない。

5.4 ポストモダンへの手掛りとして

現在、近代以降に成立した建築デザインの思潮に対して批判が持ち上がっている。それは、近代以降、建築の機能を重視し、言わば演繹的推論で成立することのみを重視しすぎたために、全体を見失ったのではないかと、倫理的側面に対して近代の建築は洞察を欠いていたのではないかという批判である。こうした設計の思想をポストモダニズムと呼んでいる。しかし、新たなディシプリンが曖昧なために表面的なところに終始しているのではないかという再批判もある。

こうした状況のもとで、空間造りの新たな原理の確立に、アナロジーの研究が貢献しうるのではないのか。全体の調和とか美といった概念の解明にアナロジーが有効と考えるのは「鼠兎の引き倒し」の危険があるが、より深い理解への案内役としてアナロジー概念があると信じてよいであろう。

5.5 アナロジーの応用への期待

以上、建築設計にかかわる例で、アナロジーあるいはアナロジーに似たものを論じたが、このようなことは、建築設計だけのことではないように思える。とくに、複雑なシステムを理解したり、構築する際には、アナロジーが基本的役割をする可能性をもっている。また、単に工学的問題の効率的手段としてばかりでなく、技術のあり方を考える場合にも新たな見方を提供してくれるのではないかと期待している。

6. おわりに

ここではアナロジーについて基本的と考えられ

る事項について説明した。最初に断わったように、本稿はほかの専門的な解説へ進むための入門編である。3. であげた研究は（筆者が適当と考えた）一部のものに限られており、決して網羅的ではない。ここに取り上げなかったものでは、たとえば Carbonell の誘導類推の研究^{22), 23)}は、後に事例に基づく推論 (Case-Based Reasoning) へと発展したという意味からも重要である。これについては筆者の以前の解説¹²⁾を参照されたい。

類推は、コンピュータにうまくやらせるのはなかなか大変そうだけれど、推論方式としては強力で面白そうだと感じてもらえれば本稿の目的を果たしたことになる。今後もアナロジーの研究が盛んに進められ、コンピュータの非力なアナロジーが少しでも人間の強力なアナロジーに近づくことを願いたい。

謝辞 本稿を書くにあたっては ICOT の類推ワーキンググループでの活動が基になっています。主査の原口誠先生（東工大）、幹事の有馬 淳氏（ICOT、現富士通研究所）、をはじめとするメンバーのみなさまに感謝します。また、重要な指摘をしていただいた読者の方々に感謝します。

参考文献

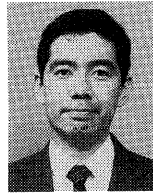
- 1) 楠見 孝, 松原 仁: 認知心理学におけるアナロジー研究, 情報処理, Vol. 34, No. 5, pp. 536-546 (1993).
- 2) 有馬 淳, 高橋真吾, 原口 誠: アナロジーの数理的研究, 情報処理, Vol. 34, No. 5, pp. 547-557 (1993).
- 3) 桜井成一朗, 脇園竜次, 原尾政輝: 抽象化に基づく類推, 情報処理, Vol. 34, No. 5, pp. 558-565 (1993).
- 4) 諏訪正樹, 岩山 真: 比喩の計算モデル, 情報処理, Vol. 34, No. 5, pp. 566-575 (1993).
- 5) 沼尾正行, 佐藤理史, 有馬 淳: 人工知能と類推, 情報処理, Vol. 34, No. 5, pp. 576-583 (1993).
- 6) Winston, P.H.: Learning and Reasoning by Analogy, CACM, Vol. 23, No. 12, pp. 689-703 (1980).
- 7) 原口 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, pp. 132-139 (1986).
- 8) 折原良平: 発想支援システムの動向, 情報処理, Vol. 34, No. 1, pp. 81-87 (1993).
- 9) Holland, J. et al.: Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery, MIT Press (1986).
- 10) Evans, T.G.: A Heuristic Program to Solve Geometric Analogy Problems, In Semantic In-

- formation Processing (Minsky, M. ed.), MIT Press (1968).
- 11) Winston, P. H.: Artificial Intelligence, Addison-Wesley, 1977 人工知能, 長尾 真, 白井良明訳, 培風館 (1980).
 - 12) 半田剣一, 松原 仁, 石崎 俊: 学習におけるアナロジー, 人工知能学会誌, Vol. 2, No. 1, pp. 44-51 (1987).
 - 13) Winston, P. H.: Learning Principles from Precedents and Exercises, Artificial Intelligence, Vol. 19, No. 3 (1982).
 - 14) Winston, P. H., Binford, T. O. et al.: Learning Physical Descriptions from Functional Descriptions, Examples, and Precedents, AAAI-83, pp. 433-439 (1983).
 - 15) Winston, P. H.: Learning by Augmenting Rules and Accumulating Censors. In Michalski et al., editors, *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, pp. 45-61, Morgan Kaufmann, 1986. 規則の強化と監視規則の蓄積による学習 (電総研人工知能研究グループ他訳), 概念と規則の学習, 共立出版 (1988).
 - 16) Gentner, D.: Structure-Mapping: Theoretical Framework for Analogy, *Cognitive Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 155-170 (1983).
 - 17) Burstein, M. H.: Concept Formation by Incremental Analogical Reasoning and Debugging, *Machine Learning II*, pp. 351-369, Morgan Kaufmann, 1986. 類推推論とデバッグによる概念形成, 電総研人工知能研究グループ訳, 類推学習, 共立出版 (1988).
 - 18) Kedar-Cabelli, S.: Purpose-Directed Analogy, *Proc. of 7th Cognitive Science Society*, pp. 150-159 (1985).
 - 19) 竹林正彦, 青木義次, 大佛俊泰: 地理的イメージにおける認識の模式図の影響—大阪環状線の円環認識構造—, 1990年度日本建築学会関東支部研究報告集 (計画系), pp. 201-204 (1991).
 - 20) 朴 鍾薫, 青木義次, 大佛俊泰: 都市の地理的イメージにおける概念図形の影響—韓国ソウル市の2号線の認識構造—, 1991年度日本建築学会関東支部研究報告集 (計画系), pp. 189-192 (1992).
 - 21) 豊沢達成, 青木義次: 都市景観の連想コード形成モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (F), pp. 131-132 (1990).
 - 22) Carbonell, J. G.: Learning by Analogy: Formulating and Generating Plans from Past Experience, *Machine Learning*, pp. 137-161, Tioga, 1983. 類推学習: 過去の経験による計画の定式化と一般化, 電総研人工知能研究グループ訳, 学習と問題解

決, 共立出版 (1987).

- 23) Carbonell, J. G.: Derivational Analogy: A Theory of Reconstructive Problem Solving and Expertise Acquisition, *Machine Learning II*, pp. 371-392, Morgan Kaufmann, 1986. 誘導類推: 問題解決の再構成と専門知識獲得理論, 電総研人工知能研究グループ訳, 類推学習, 共立出版 (1988).

(平成4年10月14日受付)



松原 仁 (正会員)

1959年生。1981年東京大学理学部情報科学科卒業。1986年同大学院工学系研究科情報工学専門課程修了。工学博士。1986年電子技術総合研究所入所。協調アーキテクチャ計画室ならびに知能情報部推論研究室所属。1993年よりスタンフォード大学CSLI 滞在研究員。知識表現, 機械学習に興味をもつ。AIUEO, 日本認知科学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ将棋協会各会員。



青木 義次

1946年生まれ。1970年東京工業大学社会工学科卒。1972年同修士卒。1972~83年建設省建築研究所研究員。1981~82年 Carnegie-Mellon Univ. Dept of Civil Eng. 客員助教授。現在東京工業大学工学部建築学科教授。専門は建築計画。特に設計方法, 計画理論。日本建築学会, 都市計画学会各会員。工学博士。1991年日本建築学会賞受賞。



折原 良平 (正会員)

1963年生。1986年筑波大学第三学群情報学類卒業。1988年同大学院工学研究科電子・情報工学専攻博士前期課程修了。同年(株)東芝入社。現在, 同社研究開発センターシステムソフトウェア生産技術研究所に勤務。発想支援技術の研究, 類推の研究に従事。人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。