

解説



アナロジー

## 2. 認知心理学におけるアナロジー研究†

楠見 孝†† 松原 仁†††

## 1. はじめに

ここでは、認知心理学におけるアナロジー研究の現状と課題を概観する。認知心理学におけるアナロジー研究は、独立した研究領域というよりも、知能、問題解決、言語などの研究領域の中で扱われてきた。また、アナロジーを支える知識表象、記憶検索過程などのテーマとも関わりをもっている<sup>1)~4)</sup>。そこで、つぎに、アナロジー研究の源泉として、三つの研究領域をみていこう。

第一は、知能研究としてのアナロジー研究である。20世紀はじめから、人の推論能力を調べるアナロジー課題は、知能検査課題の一つとして、用いられてきた。そして、1970年代からは、アナロジー課題は、認知心理学的、情報处理的アプローチに基づいて、その課題構造や処理過程が検討されるようになった。そして、アナロジーが知能において果たす役割や個人差の規定要因が明らかになった<sup>5)</sup>。

第二は、問題解決研究、思考研究としてのアナロジー研究である。アナロジーは、学習の転移と発達<sup>6)</sup>、帰納推理<sup>7),8)</sup>、創造的思考や科学的発見<sup>9),10)</sup>の問題として研究されてきた。とくに、1970年代後半から認知心理学が盛んになるにつれて、アナロジーは、問題解決や知識獲得と発達の研究において重視され、活発な研究がおこなわれるようになった<sup>11),12)</sup>。また、応用研究として、認知工学の領域においても、アナロジーを利用したインタフェースの研究がされている<sup>13)</sup>。

第三は、認知言語学研究におけるアナロジー研究である。Aristotleの『詩学』以来、アナロジー

は、レトリックの一種としても扱われてきた。とくに、最近の認知言語学におけるメタファ研究は、アナロジーも含む広義のメタファが、認識を支え、概念を構造づける面を重視している<sup>14),15)</sup>。

そこで、2.では知能研究、3.では問題解決研究、4.ではインタフェース研究、5.では認知言語学研究におけるアナロジー研究について、それぞれ検討していく。

## 2. 知能研究

知能研究における1970年代以降のアナロジー研究は、アナロジー課題の構造を明らかにし、処理過程を記述することから出発している。

アナロジーの中で、最も基本的な形式が4項アナロジー(A:B::C:D)である(例:医者(A)と患者(B)の関係は、教師(C)と?(D)の関係に等しい)。4項アナロジー課題には、こうした言語4項アナロジー課題と、図形4項アナロジーの課題がある。これらは、知能検査や適性検査で幅広く利用されている(たとえば、田中ビネー式知能検査、田中A式知能検査、アメリカの入学試験に用いられるMillerアナロジー検査、Scholastic Aptitude Test, Graduate Record Examinationなど)。その理由は、4項アナロジー課題の成績は、Spearmanの一般知能因子(general intelligence)や、Thurstoneの基本的能力の7因子の一つである推理因子において因子負荷量が高い。また、アナロジー課題は、Cattellのいう流動性知能(新奇な事態に対処する側面)に対応する。そのために、アナロジー課題を用いて、知能の個人差を明らかにする研究が数多くおこなわれてきた<sup>16)~18)</sup>。

そうした研究の代表が、Sternberg<sup>5),17)</sup>のコンポネント・アプローチに基づく一連の研究である。このアプローチは、知能研究に認知心理学的手法と説明概念を導入した研究である。

† Cognitive Perspectives on the Problems of Analogy by Takashi KUSUMI (University of Tsukuba, Institute of Socio-Economic Planning) and Hitoshi MATSUBARA (Electrotechnical Laboratory).

†† 筑波大学社会学系

††† 電子技術総合研究所

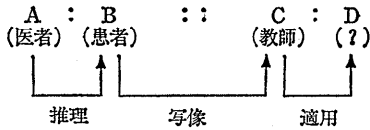


図-1 4項アナロジーのコンポーネント

すなわち、4項アナロジー ( $A : B :: C : D$ ) 解決のコンポーネントは、図-1のように、AとB間の関係を推理 ( $A \rightarrow B$ ) する、AとC間の関係を写像 ( $A \rightarrow C$ ) する、推理された関係をCとDに適用 ( $C \rightarrow D$ ) する——に分かれる。そして、課題解決時間に基づいてプロセスのコンポーネントを推定した。その結果、“推理”は悉皆的、“適用”は中途打ち切りのことが明らかになった。さらに、知能の個人差や発達差は、こうしたプロセス実行における速さと正確さ、方略の差異によって説明できる。日本では、佐野<sup>19),20)</sup>の一連の追試がある。さらに、Sternberg & Gardner<sup>21)</sup>は、他の帰納推理課題(系列完成、分類、仮言的三段論法、4項アナロジー型メタファなど)を用いて、コンポーネントの共通性を検討している。

知能心理学におけるアナロジー研究は、個人差を生み出す処理過程に注目してきた。それに加えて、処理を支える知識構造にも注目したものが、Rumelhartら<sup>22),23)</sup>の認知心理学的研究である。彼らは、言語4項アナロジーを取り上げ、多次元尺度解析で知識構造を明らかにし、それに適用するアルゴリズムを明らかにした。

人工知能の領域では、Evans<sup>24)</sup>、Hofstadter<sup>25)</sup>などが、図形4項アナロジー課題を処理するコンピュータモデルを作っている。それらの研究では、各項の属性と属性関係のリストで知識を表現し、解を導く変換規則を明らかにしている。

以上述べてきたように、4項アナロジーの課題構造や処理過程の分析は、類似性や関係の分析が基礎にあった。すなわち、2項間関係からはじまり、4項関係、構造関係の分析に進んできた。3.では、4項関係よりも複雑な問題解決におけるアナロジーを取り上げる。そのために、領域間の構造関係の分析から、まず検討する。

### 3. 問題解決研究：形式論的アプローチから 実用論的アプローチへ

問題解決研究では、アナロジーの基本的構成要素として、目標領域 (target domain) と基底領域

(base domain) をおく。目標領域は、解決すべき未知の問題領域である。一方、基底領域は、既知の知識領域である。したがって、基底領域の知識は、豊富な経験に依拠し、構造化されている。ここで、基底領域の知識が、操作可能な心的表象である場合、それをメンタルモデルと呼ぶこともある<sup>19)</sup>。

アナロジーの処理過程は、この二つの領域間の類似性を認知したり、基底領域から対象領域へ、知識を写像することが中心になる。まず、構造写像モデルに基づく形式論的なアプローチから検討していく。

#### 3.1 構造写像モデル：形式論的アプローチ

Gentner<sup>26)</sup>の構造写像 (structure mapping) モデルは、対象を、属性間関係からなる命題構造で表現する。そして、対象間の類似性を、単なる属性対応ではなく、属性間関係、構造の対応として考える。アナロジーは、基底領域から対象領域への構造 (関係システム) の写像を想定している。

Gentner<sup>26)</sup>は、メタファの種類、メタファとアナロジーの区分を構造写像モデルに基づいて形式論的に示している。

メタファは、二つに大別できる。

(a) 属性メタファ：対象間に共通する属性がある (例：眼は湖のようだ)。この処理過程は、属性対応 (feature matching) 過程で説明できる<sup>27),28)</sup>。

(b) 関係メタファと構造メタファ：共通する属性間関係や構造がある (例：眼は心の窓だ。眼：窓：心：家)。これらは、4項アナロジーに基づいている。したがって、その処理過程は、コンポーネントモデルで説明できる。

こうした考え方にしたがって、Gentner & Clement<sup>29)</sup>は、メタファ、アナロジー、字義どおりの類似性、抽象化を、図-2のように分類している。分類基準は、基底領域 (たとえる領域：base) と目標領域 (たとえられる領域：target) 間で共有する、属性と関係の程度である。すなわち、“メタファ”は、属性だけを共有する“見かけだけの類似”から、関係だけを共有する“アナロジー”まで広い範囲を指す。また、属性と関係のそれぞれを共有する程度が高いものが“字義どおりの類似”である。“アナロジー”は、多くの関係を共有しているが、属性は共有していない。そし

て、ほぼ“抽象化”と重なっている。“抽象化”の基底領域は、抽象的な原理だけを含み、具体的属性を含んでいない点で、“アナロジー”とは異なる。それぞれの境界が曲線で示されているのは、境界があいまいであることを示している。

アナロジーをメタファと区別する場合には、基底領域から目標領域への高次の関係や構造を写像しているものをアナロジー、属性だけを共有しているものをメタファと呼ぶこともある。

たとえば、図-3に示すように、Rutherfordのあげた太陽系（基底領域）と原子（目標領域）間のアナロジーは、構造写像がおこなわれている。このアナロジーを理解するためには、人は、太陽系内の対象と原子内の対象間に一対一対応をつけないといけない。ここで、高次関係の述部間の対応を最大化することが重要である。たとえば、基底領域における高次関係 CAUSE[MORE-MASSIVE-THAN (sun, planet), REVOLVE-AROUND (planet, sun)] は、対象間対応 sun→nucleus,

planet→electron によって、目標領域に写像できる。一方、YELLOW (sun) などの属性は脱落することになる。ここで、アナロジーに影響する主な要因として、“システム性 (systematicity)”と“透明性”をあげることができる<sup>30)</sup>。

ここで、“システム性”とは、高次の関係がその低次の述部を制約する構造である。Gentner<sup>31)</sup>は人が、アナロジーを解釈する場合、システム性の高い関係構造に着目する傾向があることを示している。すなわち、システム性の原則は、人が、アナロジーにおいて一貫性や演繹的な力に暗黙の嗜好をもっていることを反映している。たとえば、良いアナロジーは、前述の“太陽系と原子”のように、知識のもつ整合的なシステムを写像している。

一方、“透明性”とは、対応する対象間の対象物レベルでの類似性の程度として定義できる。表面的類似性は、転移の正確さに大きな影響を与える。

Gentner & Toupin<sup>32)</sup>は、これらの二つの要因を実験的に検討して、低システム性条件においては透明性の効果が大きく、高システム性条件においては透明性の効果は小さかった。すなわち、システム性が高ければ、表面的な不一致を乗り越えることができる。

このように、Gentnerの構造写像モデルは、形式論的に洗練された心理学的モデルの一つであり、実験的検証も多い<sup>29)~32)</sup>。さらに、構造写像モデルに基づいた、コンピュータ・シミュレーションが可能なモデルも提起されている。このモデルは形式論的であるために、コンピュータ上にインプリメンテーションしやすい。たとえば、

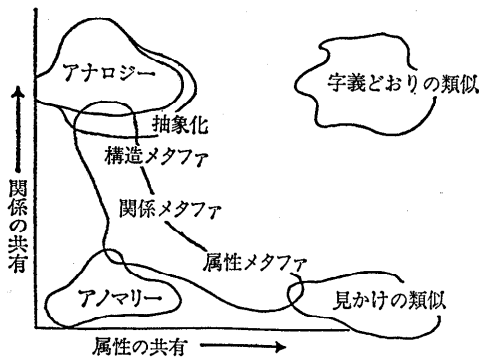


図-2 アナロジーとメタファの区分  
Gentner & Clement<sup>29)</sup> を一部修正

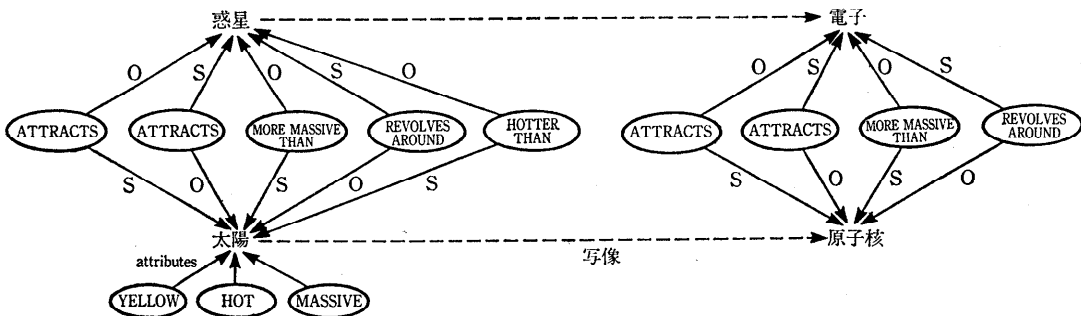


図-3 太陽系（基底領域）から原子（目標領域）への構造写像 (Gentner & Gentner<sup>12)</sup> を一部修正)

Falkenhainer, Forbus & Gentner<sup>33)</sup> の SME (Structure-Mapping Engine) というプログラムは、基底領域と目標領域の記述を入力する。そして、二つの領域間で形式論的にどのような構造写像が可能か、アナロジーとして形式論的にどれくらいもっともらしいかを出力する。それは以下のようなメカニズムでおこなう。

(1) まず基底領域と目標領域の属性の対応づけが、どのように、そしてどの程度のもっともらしさで可能かを調べる。

(2) つぎに属性同士を対応づける関係間の対応づけが、どの程度のもっともらしさで可能かを調べる。同様の操作を高階の関係まで再帰的に繰り返す。

(3) こうしてできた領域全体の対応づけを評価する。

SME は、水素原子と太陽系、液体の流れと熱の流れなどの例について、実際に構造写像を発見することができる。また、Rumelhart<sup>34)</sup> はコネクション主義の立場から、PDP モデルにもとづいて、アナロジーとメンタル・モデルについて論じている。

こうした形式論的アプローチの目的は、文脈自由で、一般的なアナロジー処理モデルを構築することである。そして、今後の課題は、形式論的アプローチに、実用論的アプローチをどのように取り込むかである。人工知能の用語で言えば、目標領域が与えられたときに、適切な基底領域を検索する、基底と目標の間で適切な対応付けを取る、という二つの処理で、いかに計算量の爆発から逃れるかが問題ということになる。

### 3.2 実用論的アプローチ：アナロジーの実行プロセス

アナロジーの実用論的 (pragmatic) アプローチは、形式論的アプローチの限界が指摘された 1980 年代になって盛んになった。その背景には、認知心理学において、生態学的アプローチや社会・文化的アプローチの必要性が提起され、状況的認知 (situated cognition) が注目されるようになったことがある<sup>4), 35)</sup>。

実用論的アプローチは、アナロジーの生成・理解過程を明らかにするためには、単に構造的な制約に着目するだけでなく、状況や目標、文脈の制約も考慮する。こうした実用論的アプローチの

代表者が、Holyoak<sup>36)</sup> である。彼は、目標や知識内容が、理解や転移に影響を及ぼす点を強調し、実用論的アプローチを主張した。

ここで、未知の問題を、アナロジーによって解決する場合の実行プロセスを考えてみる。解決する問題の構造は、先に述べた 4 項アナロジーとは異なり、構成要素の関係が必ずしも明確ではない。しかし、実行プロセスには共通する点もある<sup>36)</sup>。

- (1) 目標領域の心的表象を形成する
- (2) 候補となる基底領域を生成・選択する
- (3) 基底領域から目標領域へ、属性と属性間関係を部分的に写像する
- (4) 写像を拡張、洗練する

特に、図-4 のように、(1) の対象の心的表象を作る段階で、スキーマ B への抽象化がおこり、(3) の基底から目標への写像プロセスは、スキーマ間でおこる。そして、今度は、スキーマ T を、対象に適用するために、具体化することになる。アナロジープロセスは、この順序で直線的に進行するのではなく、各ステップは相互に影響しあう。とくに、(3)-(4) の写像は、さまざまな抽象化のレベルで階層的に繰り返される。

アナロジーの最も中心的なプロセスは、基底領域から目標領域への写像プロセスと考えることができる。この写像プロセスは、4 項アナロジーでは、A : B 項の関係発見、その関係を C : D 項間に写像する、という直接的で全体的な対応がある。しかし、アナロジーによって問題を解決する場合は、基底領域と目標領域における具体的事例間の要素、要素間関係の対応は、抽象化したレベルにおいて成立し、しかも部分的な対応の場合が多い。すなわち、具体的な事例からスキーマを帰納することが必要となる。4 項アナロジーでは、基底領域 (A : B) に対する解 (D) は一義的に定まるが、複雑な問題解決におけるアナロジーでは、基底領域は複数ありうる。その中で、有効な

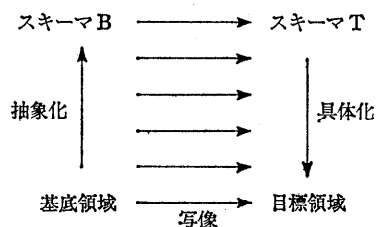


図-4 問題解決におけるアナロジーの実行プロセス

領域を選択できるのは、(a)目標との関連性と(b)もっともらしさ(plausibility)——が制約として働くためと考えられる。すなわち、アナロジーにおける基底領域の選択プロセスには、形式論的構造の制約に加えて、目標や文脈の制約が働いている。

こうした問題解決におけるアナロジーを明らかにする標準的な実験研究が、Gick & Holyoak<sup>37),38)</sup>の一連の研究である。彼らは、Dunker (50年前の思考心理学者)の放射線問題を用いてアナロジー課題を構成した。放射線問題とは、“腫瘍を治療するためには、強い放射線を照射しなければならない。しかし、正常な組織も破壊してしまう。どのような治療が考えられるか”(解：複数の弱い放射線を腫瘍に収束させる)という問題である。典型的な実験では、この放射線問題(目標領域)を解かせる前に、形式論的構造が共通する物語(たとえば、大隊を小隊に分けて、同時に要塞攻撃する)(基底領域)を、被験者に読ませる。ここで、“物語がヒントになります”という教示を与えた場合には、被験者の90%が、基底領域を利用できた。しかし、ヒントを与えない場合では、被験者の20%しか、基底領域を利用できなかった<sup>36)</sup>。このように、実験結果は、目標領域と基底領域の形式論的構造が共通するだけでは、アナロジーが自発的には起こりにくいことを示している。

被験者が基底領域に自発的にアクセスすることが難しい理由は、基底領域と目標領域の表面的な差異(非類似性)が大きいためと考えられる。表面的類似性とは、目標達成には、直接関係のない課題状況間の類似性である。しかし、基底領域の選択に影響を及ぼす。一方、構造的類似性は、目標達成に関連をもつ類似性である<sup>36)</sup>。そこで、Holyoak & Koh<sup>39)</sup>は、放射線問題を用いた実験で、以下のことを示した。また、山崎<sup>40)</sup>の結果もこれを支持している。

- (1) 基底領域と目標領域の表面的類似性が、基底領域の自発的な利用を促進する。
- (2) しかし、いったん、基底領域が選択されると、構造的類似性だけが、課題正答率に影響を及ぼす。

以上の研究は、被験者がアナロジーによって問題解決をする場合に着目すべきことは、領域間の

表面的類似性ではなく、構造的類似性であることを示した(そうでないと、不適切な基底領域を選択し、間違っ了解を導くことがある)。被験者に、構造的類似性に気づかせるためには、複数の基底領域を与え、これらの(事例間の類似性記述をさせて)スキーマを帰納(schema induction)させることが有効である。それが、自発的なアナロジーを促進する。また、鈴木・村山<sup>41)</sup>は、アナロジー写像を、準抽象化によって実用論的レベルの事例として可能にするシステムを考えている。

また、一つの基底領域が、目標領域のすべての現象に関して、適切な写像ができない場合がある。この場合には、目標領域を分割し、それぞれに、異なる基底領域から写像をおこない、それらを統合する方法がある。こうしたアナロジーの統合を、Collins & Gentner<sup>42)</sup>は、蒸発についての推論に関して、被験者の言語報告に基づいて検討している。また、Clement<sup>43)</sup>は、理工系の研究者がバネの問題を解くときに、一つのアナロジーに行きづまると、そのアナロジーを変形したり、別のアナロジーを生成することを、言語報告実験で明らかにしている。同様に、アナロジーやメタファの生成においても、複数のアナロジーやメタファでたとえることによって、一つの主題を多面的に表現、理解することがある<sup>44),45)</sup>。

さらに、Spiro, Feltovich, Coulson & Anderson<sup>46)</sup>は、単一のアナロジーが誤りを導きやすいことを指摘し、複数アナロジーを統合することを重視している。すなわち、先行するアナロジーの修正/補足などをするような、文脈依存的なアナロジーの選択と統合を考えている。人工知能でもBurstein<sup>47)</sup>が、3種類のアナロジー(箱、代数、人間)を用いてBASIC言語の代入文を学習するプログラムを提案している。また、Winston<sup>48)</sup>、Carbonell<sup>49)</sup>、Dershowitz<sup>50)</sup>などもアナロジーの修正について検討している。

Carroll, Mack & Kellogg<sup>19)</sup>は、こうしたアナロジーの使用に関する実用論的枠組みとして、構造写像と実用論的制約を考慮に入れたアナロジー推論の3段階を提起している。すなわち、(1)例示化、(2)精緻化、(3)統合(consolidation)である：

- (1) 例示化は、既知の基底領域を検索する自動的な活性化プロセスである。目標領域との表面的類似性、課題の類似性、目標の類似性に依拠し

ている。

(2) 精緻化は、例示化された比較の詳細な分析である。目標に方向づけられた構造写像がおこなわれる。

(3) 統合は、複数のアナロジーによる部分的な写像を、目標領域に関する一つのメンタル・モデルに統合するプロセスである。

以上概観してきた形式論的アプローチから実用論的アプローチへの展開において、最近重視されているのが、“制約”概念である。すなわち、現実のアナロジーでは、基底領域と目標領域の対応は完全ではなく、ミスマッチがある。こうした類似性の弱い基盤を支えているのが、目標、状況、文脈や、既存の知識の制約である。こうした制約が、情報や仮説の選択・解釈・統合を支え、アナロジーによる知識獲得や学習を促進する。

さらに、Holyoak & Thagard<sup>51)</sup>は、3.1の形式論的アプローチで明らかにした構造的制約に加えて、3.2の実用論的制約をも満たすようなアナロジー写像のコンピュータ・プログラム ACME (Analogical Constraint Mapping Engine) を提起している。ACMEでは、形式論的な情報、実用論的な情報、意味論的な情報をすべて制約としてとらえる。そして、並列制約伝播アルゴリズムに基づいて、CM2という超並列マシン上にインプリメントしている。ACMEは、基底領域と目標領域の対応づけを非常に高速におこなうことができる。それは、SMEでも用いられた例(水素原子と太陽系、流体の流れと熱の流れなど)について検討している。人工知能の立場からすると、状況、目標、文脈などの実用論的なヒューリスティックスをどの時点でいかなる表現で与えるか、を明確にすることが実用論的なアプローチの課題と言えよう。

最後に、認知心理学では、アナロジーによる知識獲得の発達的研究も、重要な領域である<sup>52)</sup>。たとえば、日本では、稲垣・波多野<sup>53)</sup>の擬人的アナロジーに関する一連の発達研究、湯沢ら<sup>54)</sup>の、日常的な活動(お手伝いをすると褒美がもらえる)のアナロジーの研究などがある。これらの研究は、幼児であっても、豊富な知識や経験をもつ基底領域(たとえば、自分の身体に関する経験や知識)に基づいてアナロジーができることを示している。

#### 4. ユーザ・インタフェース研究への応用

##### 4.1 インタフェースにおけるアナロジー

ユーザ・インタフェースにおけるアナロジーやメタファの研究は、認知工学(cognitive engineering)や認知人間工学(cognitive ergonomics)の重要なテーマとして、1980年代中ごろから盛んに研究されるようになってきた<sup>55)</sup>。

人とシステムの橋渡しをするユーザ・インタフェースにおいてアナロジーやメタファを用いることは、ユーザ・フレンドリィなインタフェース設計のための一つの手段である。

初めての装置を操作するとき、類似した装置を扱った経験を思い出せば、操作して見ることが可能。しかし、3.2で述べたように、人が適切なアナロジーに自発的に気づくことは難しい場合もある。したがって、インタフェースにアナロジーやメタファを用いた設計をすることは、人のもつ過去経験を最大限に活用することを支援する方法として位置づけることができる。

すなわち、アナロジーの使用は、ユーザのもつ過去の知識や経験を、現在の状況に結び付ける。そして、新しい装置への親近性を高め、装置の操作の学習を容易にする。そして、装置の構造と機能を表象するメンタル・モデルの形成を助ける。

こうしたインタフェースに用いられるアナロジーには、(a)システム自体の設計によって提供する場合(例:デスクトップ・メタファ)と、(b)マニュアルにおいて、説明のためにアナロジーを用いる場合がある。

##### 4.2 適切なインタフェース・アナロジー

インタフェースを使いやすくするアナロジーやメタファの条件には、3.1で述べたアナロジーの形式論的条件があてはまる<sup>29)</sup>。(a)透明性が高い。対応する領域間の対象物レベルでの類似性が高いこと。すなわち、対応が自然であるため、学習しやすく、分かりやすく、使いやすい。(b)同型性が高い。(たとえに用いる)基底領域と(たとえられる)目標領域間において(構成要素間の高次関係が対応する)同型性をもつこと。したがって、知識領域の整合的なシステムを写像できる。そして、目標となる知識や操作を正確に獲得し、実行することができる。

こうした形式論的制約に加えて、実用論的な制

約として、状況や文脈を考慮する必要がある。そのなかには、(a)ユーザが目標とするタスクの制約、(b)システムやツールなどの制約がある<sup>13)</sup>。

これらの条件を満たしているのが、コンピュータの操作環境(目標領域)を、机の回りの現実環境(基底領域)に類似させるデスクトップ・アナロジーである。Macintoshのディスプレイ上のアイコンは、システム内の情報や機能を、机上の具象物として表現している。デスクトップ・メタファを構成するアイコンは、机上の文具との写像性(類似性)が高く、用途も対応している。したがって、初心者でも、何をやるものかが分かる。たとえば、「ゴミ箱」は「いらぬものを捨てる」ところを示すことは、現実世界の知識に基づいて理解できる。

### 4.3 インタフェース・アナロジーの限界

アナロジーやメタファが導くエラーとして、主なものにつぎの三つがある。(a)基底(たとえば)領域において重要な情報が脱落している(過剰単純化)、(b)基底領域の情報为目标(たとえば)領域に関してエラーを導く(過剰一般化)、(c)基底領域の不適切な情報に焦点化をおこなう——である<sup>46)</sup>。

アナロジーやメタファは、基底領域と目標領域が対応する部分を強調している。しかし、実際に対応しているのは部分的で、重要な属性が対応していない(脱落している)場合がある。すなわち、アナロジーやメタファは、初心者が既有知識を用いて、大まかな理解をするときには役立つ。しかし、既有知識の制約は、完全な正しい理解の妨げになったり、誤りを引き起こしたり、インタフェースの設計に制約を加えてしまうことがある。たとえば、コンピュータで同じ作業を反復実行するとき、デスクワークのように繰り返していたら、コンピュータの長所である“繰り返し機能”を発揮できなくなってしまう。

インタフェース・アナロジーにおける基底領域と目標領域の不一致にはつぎの三つのレベルがある。(a)外見に不一致がある場合には、初期の学習が困難になる。しかし、いったん結び付きができれば、外見の不一致は大きな影響がなくなる。(b)手続きレベルの不一致は、操作の誤りを直接的に引き起こすことがある。(c)メンタル・モデル・レベルの不一致は、操作の誤りを間接的に引

き起こす。

こうしたアナロジーにおける形式論的レベルでの不一致がエラーを導くといえる。これを克服するためには、実用論的アプローチに基づいてアナロジー使用の状況や文脈に焦点を当てることが大切である。

たとえば、これらの対策としては、二つ考えられる。第一は、単一のアナロジーで説明可能な範囲内に、インタフェースの設計をおさめてしまう方法である。しかし、これでは、初心者用の単純なインタフェースしか設計できない。

第二は、単一のアナロジーの限界を複数のアナロジーの組合せによって乗り越えることである<sup>46),57)</sup>。こうした試みとしては、FRIEND 21(未来型分散情報処理環境基盤開発)プロジェクトにおいて開発を進めている、メタウェア(metaware)(複数のメタファを統合したインタフェース)がある。これは、ユーザのタスクの推移に応じて、適切なメタファに切り替わる多重メタファ環境である<sup>58)</sup>。また、布川・三宅・野口<sup>59)</sup>は、都市メタファを用いて、コンピュータ・ネットワークサービス環境を表現し、下位メタファである郵便局メタファ(電子メール)、役所メタファ(住所録)、図書館メタファ(データベース)を統合したインタフェースを構築している。

## 5. 認知言語学的アプローチ：概念とカテゴリ構造の研究

### 5.1 日常言語におけるメタファ的概念

認知言語学においては、Lakoff & Johnson<sup>14)</sup>、Lakoff<sup>15)</sup>が、日常的なメタファやアナロジーの分析に基づいて、メタファやアナロジーが、単なる言葉の綾ではなく、認識や概念の構造を支えていることを示している。たとえば、つぎにあげるメタファは、他の概念を表現するだけでなく、理解したり、構造化する基盤になっている。

(1) 方位的(orientational)メタファは、空間的關係(上下、内外、前後、深淺など)に関する身体的経験に依拠している。たとえば、「良いは上、悪いは下」という關係は、「気分が高揚する/落ち込む」という表現の基盤にある。

(2) 存在論的(ontological)メタファは、経験や抽象概念を、もの(entity, substance)として、とらえるものである。たとえば、「心は容器であ

る”という存在論的メタファは、“喜びにあふれる”，“頭がからっぽ”という表現の基盤にある。

(3) 構造的メタファは、経験や活動を、ほかの経験や活動で構造化する。たとえば、“人生は旅”というメタファは、“彼は分かれ道/行き止まりにいる”といった表現の基盤にある。

さらに、こうしたメタファやアナロジーに基づく概念は、字義どおりの概念と同じように、上位-下位関係をもっている。たとえば、字義どおりの“旅”の下位カテゴリには、陸路と海路があるとすると、それに対応するメタファでは、人生を“長い道のり”でたとえたり、“航路”でたとえたりする。このように、抽象的な概念は、構造化された複数の具体的概念を用いてメタファ的に定義される。彼らの提起した日常言語におけるメタファ的概念の分析は、日常生活におけるアナロジーに基づく推論を分析する手がかりになる。しかし、彼らの研究は、言語直観や言語資料に依拠したものであり、形式化、計量化されていない欠点がある。今後の課題は、実験による心理学的な検討である<sup>45)</sup>。

## 5.2 日常生活におけるアナロジーの分析と “アナロジー”概念

### 5.2.1 日常概念の構造

日常生活における概念は、必要十分条件では定義できないことがある。たとえば、アナロジーを研究する場合、形式論的アプローチをとる研究者は、アナロジーを形式論的に定義し、ほかの種類の推論と明確に区別することをめざしている。しかし、人が実際におこなうアナロジーは、典型的アナロジーあるいは完全なアナロジーとは限らない。ほかの推論との混合であったり、不完全なアナロジーであることが多い。これらの推論を、“アナロジー”と捉えるかには、研究者間でも相違がある。

このことは、“アナロジー”という概念が、Roschのいう自然カテゴリ(例：野菜、鳥)と同じ構造をもっていることを示す。それは、以下のような構造を仮定している<sup>60),61)</sup>。

(1) 概念には、原型(prototype)があり、その概念に属する事例は、原型とさまざまな程度で類似している

(2) したがって、概念に属する事例と属さない事例の境界はあいまいである。

(3) 概念に属する事例は、典型的な事例から非典型的な事例へ、さらにその概念に属さない事例へと連続的につながっている。すなわち、成員性のグレイド構造がある。

(4) カテゴリの水準(垂直構造)には、基礎レベル(basic level)があり、対象を認識(知覚、命名、イメージ化、想起などを)するための最適な水準がある。

さらに、最近では、概念構造の一貫性を支えているのは、世界に関する背景知識(background knowledge)やナイーブな“理論”であるとする主張が有力である<sup>62)</sup>。すなわち、各人がもつ“暗黙の理論”(implicit theory)が、カテゴリ内の事例や概念を関係づけ、構造化している。5.1で述べた概念は、メタファに基づく“理論”によって、構造化されていると考えることができる。こうした考え方は、カテゴリの事例を、類似性やそれを支える属性の共有によって説明する従来の考え方は、大きく異なる。

そこで、つぎに、研究者は、どのような“アナロジー”概念をもっているかを検討する。

### 5.2.2 アナロジー概念の構造

アナロジー概念の構造を明らかにするために、ICOT アナロジー・ワーキンググループ委員9名から、アナロジーの38事例を収集した。さらに、ワーキンググループ委員17名を評定者として、各事例の典型性評定を6段階尺度(1:まったく不適切な事例である-6:とても適切な事例である)でおこなった<sup>63)</sup>。その結果は、表-1に示すように、アナロジーの事例は、多くの評定者が典型的と判断する事例から非典型的なものまでグレイド構造をもつ。最も評定値の高い“料理”や“英訳”の事例であっても、“とても適切な事例である”と評価した評定者の比率は、17名中3名である。こうした結果が得られた理由として、つぎの2点が考えられる。

第一に、本研究で材料に用いたアナロジー事例は、日常生活から引き出した事例である。これらは、従来の研究で使われているような事例(例：太陽系と原子)とは異なり、領域間構造の対応(類似性)は完全ではない。また、領域間距離も小さい(“料理”の事例)。したがって、典型性評定がそれほど高くないと考えられる<sup>64)</sup>。

第二に、本研究の事例には、ほかの種類の帰納



表-1 日常生活におけるアナロジー事例と典型性評価

[料理]	ココロ・オ・パン (鶏肉の赤ワイン煮) の作り方が分からなかったで、料理の本を見たところ、鶏レバーのワイン煮が出ていた。そこで、レシピのレバーを鶏肉に代え、臭み消しのスパイスを加減したらうまくできた。(M=5.0, SD=0.4)
[英訳]	「君は水泳が大変うまい」という文を英訳するときに、「君はまったく芝居がうまい」を“You are a great actor”と訳した例文を見つけて、“You are a great swimmer”という訳を作った。(M=5.0, SD=0.4)
[火傷]	Brutus は傷ついたり火傷をしたりすると傷みを覚える。Tucitus も傷つくと傷みを覚える。だから、Tucitus も火傷すると傷みを覚えるだろう。(M=4.5, SD=0.5)
[単位]	私の友人は、「情報とコミュニケーション」という科目のレポートを毎回提出し、出席もしているで、「優」を取った。私もレポートを提出し、出席もしたので、「優」を取るだろう。(M=4.0, SD=1.2)
[しゃもじ]	箸箸が一本しかなく、それもほかで使っていたので、しゃもじを使って炒め物をかきまぜた。(M=3.5, SD=1.2)
[スキューバ]	研究室の後輩のI君は、先週末も先々週末もスキューバ・ダイビングに行ったので、今週末もスキューバ・ダイビングに行くものと推論した。(M=3.2, SD=1.3)

注 典型性評価の6段階尺度 (1:まったく不適切な事例である-6:とても適切な事例である)

推理とみなしうる事例が入ったために、典型性評価がそれほど高くないと考えられる。たとえば、「火傷」の事例は三段論法，“単位”は事例に基づく推論，“スキューバ・ダイビング”の事例は、帰納と演繹を組み合わせた推論として考えることもできる。

このように、日常概念として使用されるアナロジー概念は、形式論的に定義した推論形式に限定できない。不完全な形式であったり（たとえば、部分アナロジー）、他の推論形式と組み合わさっていることもある。

また、3. で述べたように、Gentner & Clement<sup>29)</sup> は、構造写像理論に基づいて、アナロジーと、メタファ、抽象化、単なる類似性などの違いを示している。しかし、属性の共有と関係共有の程度による区分は、相対的な定義であり、その境界はいまいであることを示している。

このようなことから、私たちのもつ“アナロジー”の日常的概念は、階層的構造で、明確に区分できるカテゴリでは、むしろ、Lakoff<sup>15)</sup> のいう放射構造のように、少数の典型事例を中心に、複数の事例が放射状に結び付き、ほかの推論とも連結をもつ構造として考えられる。

## 6. むすび

ここで検討してきた形式論的アプローチと実用論的アプローチは、相互背反的なものではなく、並立可能であるものと考えられる。すなわち、アナロジーの基本構造は、形式論的アプローチで定義し、実行プロセスを実用論的アプローチで説明することが有用である。さらに、日常生活におけるアナロジーを明らかにするためには、日常概念の構造を、認知言語学的アプローチによって明らかにする必要がある。すなわち、単一のアナロジーには限界があるように、単一のアプローチにも限界があり、複数のアプローチを統合することが、適切と考える。

**謝辞** 本稿の執筆にあたりまして、ICOT 類推ワーキンググループ (1990年4月-1992年3月) のメンバには、5.2 の典型性評価をはじめとして多大の協力をいただきました。主査の原口誠先生 (東工大)、幹事の有馬淳氏 (当時 ICOT, 現富士通研) をはじめとするメンバ全員に感謝いたします。

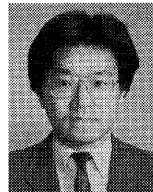
## 参考文献

- 1) Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.): *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge University Press (1989).
- 2) Helman, D. H. (ed.): *Analogical Reasoning: Perspectives of Artificial Intelligence, Cognitive Science, and Philosophy*, Kluwer Academic Publisher (1988).
- 3) 安西祐一郎, 神岡太郎: 類推と比喩 日本児童研究所 (編) 児童心理学の進歩, Vol. 25, pp. 53-78 (1986).
- 4) 楠見 孝: 推論 日本児童研究所 (編) 児童心理学の進歩, Vol. 32, pp. 89-115 (1993).
- 5) Sternberg, R. J.: *Intelligence, Information Processing and Analogical Reasoning*, Lawrence Erlbaum Associates (1977).
- 6) Brown, A.: *Analogical Reasoning and Analogy in Development, Learning, and Instruction*, In Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.) *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge University Press (1989).
- 7) Rips, J. L.: *Reasoning*, Annual Review of Psychology, Vol. 41, pp. 321-353 (1990).
- 8) Holland J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E. and Thagard, P. R.: *Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery*, MIT Press (1986) (市川他訳): インダクション: 推論, 学習, 発見のメカニズム, 新曜社 (1991).

- 9) Hesse, M.B.: *Models and Analogies in Science*, University of Notre Dame Press (1966), (邦訳: 高田訳 科学, モデル, アナロジー 培風館 1986).
- 10) Polya, G.: *How to Solve It*, Doubleday Anchor (1957), (柿内訳: いかにして問題をとくか 丸善, 1954).
- 11) Simon, H. A. and Read, S.: *Modeling Strategy Shifts in a Problem-Solving Task*, *Cognitive Psychology*, Vol. 4, pp. 86-97 (1976).
- 12) Gentner, D. and Gentner, D.R.: *Following Waters or Teaming Crowds: Mental Models of Electricity*, In Gentner, D. and Stevens, A. L. (eds.) *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates (1983).
- 13) Carroll, J. M., Mack, R. L. and Kellogg, W. A.: *Interface Metaphors and User Interface Design*, In Helander, M. (ed.) *Handbook of Human-computer Interaction*, Elsevier (1988).
- 14) Lakoff, G. and Johnson, M.: *Metaphors We Live by*, University Chicago Press (1980). (邦訳: 渡部他訳: 1986 レトリックと人生 大修館書店).
- 15) Lakoff, G.: *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*, University of Chicago Press (1987). (邦訳: 池上他訳 認知意味論 紀伊國屋書店 1993).
- 16) Sternberg, R. J.: *Component Processes in Analogical Reasoning*, *Psychological Review*, Vol. 84, pp. 353-378 (1977).
- 17) 子安増生: 知能, 三宅和夫他(編), 児童心理学ハンドブック, 金子書房 (1983).
- 18) 山 祐嗣: 知能の情報処理, 多鹿秀継(編)情報処理の心理学: 認知心理学入門, サイエンス社 (1992).
- 19) 佐野竹彦: アナロジー-推理プロセスの個人差, 心理学研究, Vol. 53, pp. 214-220 (1982).
- 20) 佐野竹彦: 関係変動型のアナロジー-推理のプロセス, 愛知教育大学研究報告 (教育科学), Vol. 38, pp. 211-220 (1989).
- 21) Sternberg, R. J. and Gardner, M. K.: *Unities in Inductive Reasoning*, *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 111, pp. 667-675 (1983).
- 22) Rumelhart, D. E. and Abrahamson, A. A.: *A Model for Analogical Reasoning* *Cognitive Psychology*, Vol. 5, pp. 1-28 (1973).
- 23) Rumelhart, D. E.: *Introduction to Human Information Processing*, John Wiley & Sons (1977) (邦訳: 御領訳, 人間の情報処理, サイエンス社, 1979).
- 24) Evans, T. G. A.: *A Program for the Solution of Geometric Analogy Intelligence Test Questions*, In Minsky, M. L. (ed.) *Semantic Information Processing*, MIT Press (1968).
- 25) Hofstadter, D. R.: *Metamagical Themes*, Basic Books (1985) (邦訳: 竹内・斉藤・片桐訳, メタマジック・ゲーム, 白揚社, 1990).
- 26) Gentner, D.: *Structure Mapping: A Theoretical Framework for Analogy*, *Cognitive Science*, Vol. 7, pp. 155-170 (1983).
- 27) Ortony, A.: *Beyond Literal Similarity*, *Psychological Review*, Vol. 86, pp. 161-280 (1979).
- 28) 楠見 孝: 比喩文の理解における語句間の類似性: 意味特徴の顕著性が比喩理解に及ぼす効果, 心理学研究, Vol. 56, pp. 269-276 (1985).
- 29) Gentner, D. and Clement, C.: *Evidence for Relational Selectivity in the Interpretation of Analogy and Metaphor*, *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 22, pp. 307-358 (1988).
- 30) Schumacher, R. M. and Gentner, D.: *Transfer of Training as Analogical Mapping*, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 18, pp. 592-600 (1988).
- 31) Gentner, D.: *The Mechanisms of Analogical Learning*, In Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.) *Similarity and Analogical Reasoning* (1989).
- 32) Gentner, D. and Toupin, C.: *Systematicity and Surface Similarity in the Development of Analogy*, *Cognitive Science*, Vol. 10, pp. 277-300 (1986).
- 33) Falkenhainer, B., Forbus, K. D. and Gentner, D.: *The Structure-Mapping Engine: Algorithms and Examples*, *Artificial Intelligence*, Vol. 41, pp. 1-63 (1989).
- 34) Rumelhart, D. E.: *Toward a Microstructural Account of Human Reasoning*, In Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.): *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge University Press (1989).
- 35) 三宅なほみ, 波多野諄余夫: 日常的認知活動の社会文化的制約, 認知科学の発展, Vol. 4, pp. 105-131 (1991).
- 36) Holyoak, K. J.: *The Pragmatics of Analogical Transfer*, *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 19, pp. 59-87 (1985).
- 37) Gick, M. L. and Holyoak, K. J.: *Analogical Problem Solving*, *Cognitive Psychology*, Vol. 12, pp. 306-355 (1980).
- 38) Gick, M. L. and Holyoak, K. J.: *Schema Induction and Analogical Transfer*, *Cognitive Psychology*, Vol. 15, pp. 1-38 (1983).
- 39) Holyoak, K. J. and Koh, K.: *Surface and Structural Similarity in Analogical Transfer*, *Memory & Cognition*, Vol. 15, pp. 332-340 (1987).
- 40) 山崎晃男: 類推による問題解決に及ぼす目標構造の同一性と写像類似性の効果, 教育心理学研究, Vol. 40, pp. 237-246 (1992).
- 41) 鈴木宏昭, 村山 功: 人間の学習におけるプラグマティックな表現の役割, 認知科学の発展, Vol. 4, pp. 79-103 (1991).
- 42) Collins, A. and Gentner, D.: *How People Construct Mental Models*, In Holland, D. and Quine, N. (eds.) *Cultural Models in Language and Thought*, Cambridge University Press (1987).
- 43) Clement, J.: *Analogical Reasoning Patterns in Expert Problem Solving*, *Proceedings of the Fourth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (1982).

- 44) 上野直樹, 楠見 孝: メタファーと意味: 主体-対象間の相互作用的観点から, 心理学評論, Vol. 30, pp. 281-303 (1987).
- 45) 楠見 孝: 比喩の生成・理解と意味構造, 箱田裕司(編) 認知科学のフロンティア II, サイエンス社 (1993).
- 46) Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, H. L. and Anderson, D. K.: Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-Induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition, In Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.) Similarity and Analogical Reasoning, Cambridge University Press (1989).
- 47) Burstein, M. H.: Concept Formation by Incremental Reasoning and Debugging, In Michalski, R. S. et al. (eds.) Machine Learning II, Morgan Kaufmann (1986).
- 48) Winston, P. H.: Learning by Augmenting Rules and Accumulating Censors, In Michalski, R. S. et al. (eds.) Machine Learning II, Morgan Kaufmann (1983).
- 49) Carbonell, J. G.: Derivational Analogy: A Theory of Reconstructive Problem Solving and Expertise Acquisition, In Michalski, R. S. et al. (eds.) Machine Learning II, Morgan Kaufmann (1986).
- 50) Dershowitz, N.: Programming by Analogy, In Michalski, R. S. et al. (eds.) Machine Learning II, Morgan Kaufmann (1986).
- 51) Holyoak, K. J. and Thagard, P. R.: A Computational Model of Analogical Problem Solving, In Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.) Similarity and Analogical Reasoning, Cambridge, England: Cambridge University Press (1989).
- 52) Vosniadou, S.: Analogical Reasoning Mechanism in Knowledge Acquisition: A Developmental Perspective, In Vosniadou, S. and Ortony, A. (eds.) Similarity and Analogical Reasoning, Cambridge University Press (1989). (土井・松原訳) 「知識獲得におけるメカニズムとしてのアナロジー推論: 発達の視点から」安西他(編) 「認知科学ハンドブック」, 共立出版 (1992).
- 53) Inagaki, K. and Hatano, G.: Young Children's Spontaneous Personification as Analogy, Child Development, Vol. 53, pp. 1015-1020 (1987).
- 54) 湯沢正通, 仮屋園昭彦, 前原いずみ: 日常的類推題における幼児と児童の知識の一般性, 発達心理学研究, Vol. 2, pp. 9-16 (1991).
- 55) 楠見 孝: 認知的インタフェースにおけるメタファーの役割. 情報処理学会情報メディア研究分科会資料, No. 90-5, pp. 35-42 (1993).
- 56) Falzon, P. (ed.): Cognitive Ergonomics: Understanding, Learning and Designing, Human-Computer Interaction, Academic Press. (1990).
- 57) 甲 洋介, 安西祐一郎: ユーザインタフェースと認知モデル, 人工知能学会誌, Vol. 2, pp. 141-149 (1987).
- 58) パーソナル情報環境協会: 第1回 FRIEND 21 成果発表会論文集, パーソナル情報環境協会 (1989).
- 59) 布川博士, 三宅延久, 野口正一: メタファーネットワーク: 都市メタファーを用いたネットワーク上でのサービス提供, 情報処理学会第42回(前期)全国大会 (1991).
- 60) Mervis, C. B. and Rosch, E.: Categorization of Natural Objects, Annual of Review Psychology, Vol. 32, pp. 89-115 (1981).
- 61) 楠見 孝: カテゴリとメタファー, 数理科学, No. 297, pp. 18-22 (1988).
- 62) Murphy, G. L. and Medin, D. L.: The Role of Theories in Conceptual Coherence, Psychological Review, Vol. 92, pp. 289-316 (1985).
- 63) 楠見 孝: アナロジー概念の構造: 例題の典型性評定に基づく検討, 新世代コンピュータ技術開発機構類推ワーキンググループ発表資料 (1992).
- 64) Kusumi, T.: Effects of Categorical Dissimilarity and Affective Similarity of Constituent Words on Metaphor Appreciation, Journal of Psycholinguistic Research, Vol. 16, pp. 577-595 (1987).

(平成5年3月2日受付)



#### 楠見 孝

1959年生. 1982年学習院大学文学部心理学科卒業. 1987年同大学院修了. 博士(心理学). 学習院大学助手を経て, 現在筑波大学社会工学系講師. 研究テーマは, メタファー, 概念, 不確定状況における推論の認知心理学的研究である. 分担著「メタファーの心理学」(誠信書房, 1990), 「認知科学のフロンティアII」(サイエンス社, 1992), 「認知科学ハンドブック」(共立出版, 1992). 日本心理学会, 日本認知科学会各会員.



#### 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.