

# 認知科学からみた概念の表象と構造

Representations and structures of concepts

松香敏彦

Toshihiko Matsuka

千葉大学・文学部

Department of Cognitive and Information Science, Chiba University

The present paper introduces some key theories and phenomena about “concept” known among cognitive scientists to researchers in Artificial Intelligence. First, how natural categories are internally represented in our mind is discussed. It may sound counterintuitive, but many behavioral and modeling studies indicate that categories are represented by collection of unsorted exemplars, but not rules nor prototypes. Second, the hierarchical structure of categories is discussed. Although people generally can use taxonomic relations in inferences and reasoning, there are some evidences that category hierarchy is not stored in our memory, but is computed during inferences and reasoning. Third, two theories about symbol systems, namely amodal symbol systems (ASS) and perceptual symbol systems (PSS) are discussed. While a modular and amodal semantic memory is the main vehicle of knowledge in ASS, multi-modal perception, action, and affection in the brain’s sensory-motor system is the key vehicle in PSS. Although, many theories on categorization and concept in cognitive science are built on the basis of ASS, its limitation and PSS’s potential advantages are discussed.

## 1. はじめに

本稿は、認知科学の分野で蓄積された概念の表象と構造についての幾つかの興味深い学説や現象を人工知能研究者に紹介すること目的とする。まずはじめに、用語を整理しておく。これまでの認知科学の慣例にならぬ、あるまとまりのある個々の集合を「カテゴリ」とよび、カテゴリの内部表象およびカテゴリに関する知識を「概念」と呼ぶ。

## 2. 事例的表象

人間は自然にそしてほぼ自動的にあらゆる種の情報をカテゴリ化している。カテゴリ化されたコンパクトな情報を用いることによって、思考、推論、意思決定など、我々は様々な高度認知を行っている。その重要性から認知科学や心理学では、カテゴリがどのように頭の中で表象・形成され、また、どのようにカテゴリ化が行われているかが研究の対象となっている。アリストテレスの時代から1960年代までは、カテゴリは必要十分条件（規則）によって表象されると考えられてきた。多くの学問では、混同が起きないようにさまざまなものが定義されているが、それらは内包的記述である規則であることが多いことから、この考えは長い間支持されていた。しかし、カテゴリ  $X$  の全ての事象・事例が条件セット  $R$  を満たし、かつ、その条件セット  $R$  を満たすことのないカテゴリ  $X$  に属さない事象が1つもない、といった必要十分条件を全てのカテゴリにおいて定義することが困難であることから、規則による自然カテゴリの概念化の可能性は否定されている [4]。

行動実験や計算機シミュレーションの結果から、現時点で有力な説の一つと考えられえているのが事例説である [3]。事例説では、カテゴリ化される入力記憶に残る今まで経験してきた様々な事例との心理的類似性によってカテゴリ判断される。つまり、事例説とは、記憶の処理が複雑・膨大となる「事例を

記憶する」ことによる外延的な表象である。よって、規則やプロトタイプなどの内包的表象とは異なり概念としてカテゴリの抽象化や要約を行わないとされている。しかし、記憶に残る事例を参照することによって、各カテゴリの統計的特性を推論することを可能としている。例えば、事例を参照することによって、プロトタイプを直接学習することなく、カテゴリの典型性効果を説明することを可能し、同時に、大きい鳥はさえずらないが、小さい鳥はさえずる、など特徴間の相関に関する推論も説明可能としている。

また、記憶された事例を基準とするため、線形分離できない複数のカテゴリの弁別が可能である。更に、どのように複雑な境界をもつカテゴリであっても、全ての構成員が記憶できる程度に少ない個々から構成されるカテゴリの場合は、「同定」によって学習可能になるといった非常にパワフルな表象でもある。

事例説は自然カテゴリの表象のモデルとしては有効なものも、事例説のみで非自然カテゴリを含む「概念」全般を説明することは難しい。前述のように、定義による学問の体系化には規則が不可欠である。また、「火事の時に家からもって逃げる」といった目的に応じ自発される ad hoc カテゴリは、アルバム、財布など外延的ではあるものの、学習されるものではなく、事例説で説明されるものとは異なる、他の知識によって生成されるカテゴリ化だと考えられる [4]。

## 3. 階層性

### 3.1 基本カテゴリ

多くのカテゴリは階層的な性質をもつとされ、その中には「基本カテゴリ」とよばれる、最も一般的に共有・使用されている階層があるとされている。たとえば、「犬」という概念は基本カテゴリだと言われている。ある犬を見た時、犬の種類（下位カテゴリ）である「柴犬」や上位カテゴリである「動物」などと認識・処理されるのではなく、我々の多くはその刺激を「犬」と処理する。基本カテゴリは上位カテゴリに比べ「説明力」があり（犬間で共有されるの特徴は動物間で共有さ

連絡先: 松香敏彦, 千葉大学・文学部, 〒263.8522 千葉県千葉市  
稲毛区弥生町 1.33, 043.290.3578 (voice), 043.290.2278  
(fax), matsuka@chiba-u.jp

れる特有の特徴よりも多い) かつ、下位カテゴリに比べ「弁別能力」がある(犬と猫の違いは、柴犬と秋田犬の違いより大きい)。Category utility と呼ばれる情報理論に基づいた指標を用いて複数の階層のカテゴリを比較したところ、基本カテゴリと考えられている階層が最もその指標が高いことが示されている [2]。また、実際に基本カテゴリは、自由命名課題において他のレベルのカテゴリより高い頻度で想起され、文章においてもより多く用いられていることが示されている。

### 3.2 階層構造の表象

概念が階層的な性質をもつことは認知科学においては共通の理解となっているが、階層構造の表象については複数の説がある。一方は、階層構造は知識として記憶されているというもので、もう一方は階層構造は算出されるというものである。

しかし、算出されるとはどのようなものだろうか。前述のように、階層が低くなるほど、カテゴリ内で共通する特徴が増える(犬の特徴 vs. 動物の特徴)。もしカテゴリ X で共通する特徴がカテゴリ Y で共通する特徴の部分集合であれば、X は Y の上位カテゴリであるし、もし、X で共通する特徴は、Y で共通する特徴プラス他の特徴を含む場合、X は Y の下位カテゴリである [4]。

論理推論課題で、典型的な下位カテゴリ(鳥における雀など)と非典型的な下位カテゴリ(ペンギン)に比べ、より強固な推論だと感じたり、推移性を逸脱したりするなど、静的である記憶された階層性では説明不可能な現象が報告されていることから、計算方法に関する一般化された知見はないものの、階層が知識として記憶されているといった考えは疑問視されている [5]。

階層構造が知識として獲得されているということは、上位と下位カテゴリの包含関係を獲得していることであるため、規則的な概念と性質は共通している。一方、カテゴリの階層構造は算出されているということは、必ずしも事例的な表象である必要はないが、一部の知識は算出されるものであるといった意味では事例説と性質は共通している。

## 4. 記号体系

前述の二つの項目を含む多くの認知科学研究は、知識をアモダールでモジュラーな意味的記憶なものと仮定し行動実験や計算機シミュレーションを介し発展してきた。Barsalou[1]は、このアモダールでモジュラーな意味的記憶の記号体系を amodal symbolic systems (ASS) と呼び、ASS では知覚されたマルチモーダルな状態は、知覚状態と全く異なるモダリティのない構造による表象システムに変換され、認知と知覚の関係を排除していると非難している。また、知覚に依存しないため記号の定義の自由度が高すぎてしまい、定義次第によって全てのを説明できる体系であることを批判している。それに対し、Barsalou[1]は Perceptual symbol systems (PSS) とよばれる記号体系とそれに関わる認知処理に関して興味深い説を唱えている。

前述にあるように、多くの認知科学の知見は ASS に基づいた研究から得られていて、また現時点でも ASS は幅広く(明示的もしくは暗黙的に)基礎を担っている。それに対し、PSS の理論は壮大であり、また操作定義が難しい。よって、行動実験も困難なこともあり、限られた支持しか得られてない。しかし、一方で PSS の理念やその理念から発生する ASS への問題提起などには興味深く妥当なものなどもあり、認知科学的アプローチを批判的思考で再考する意味も含み、以下 PSS を紹介する。

PSS では、認知と知覚の根底には共通の表象システムである Perceptual symbol (PS) があるとされている。脳内の sensory-motor system の知覚状態の部分集合が表象である PS の基礎となっている。よって、内部表象はモダリティがあり、かつ知覚状態に類似している。PS は写実的でも全体的でもなく、選択的注意を介し概略的であり、概略の組み合わせによって複雑な表象を可能としている。また、ASS と異なり PSS は知覚に深く関係していることから、時空間的な概念を自然と組み込んでいる。

関連する PS は独立に存在するわけではなく、同一のカテゴリに属するべき PS は1つ系を形成し、各系は simulator と呼ばれている。すなわち各 simulator は各カテゴリに対応する。そして、もしあるカテゴリに対応する simulator が、ある入力に対し十分な simulation の結果をもたらした場合、その入力はそのカテゴリの成員と認識される。Simulator は必ずしも完全な情報を必要することはなく、むしろ通常はマルチモーダルである PS のうち限られた情報を用いて動的に simulation を行っているとされている。simulator のメカニズムの詳細は明記されていないものの、PSS では simulator とした構成要素を組み込むことによって、概念に関する多くの現象を説明することが可能であるとされている [1]。

### 4.1 PSS による事例的表象と階層構造の説明

事例説によるカテゴリの表象とカテゴリの階層構造に関する知見は ASS を基とする知見ではあるものの、必ずしも PSS とは相反するものではない。まず、基本カテゴリを PSS によって説明する。simulator によって当てはまりやすさ(simulation のし易さ)が異なり、ある特定の simulator は他の simulator より当てはまり易く、当てはまり易い simulator が基本カテゴリであると解釈できる。また、上位や下位の認識は、当てはまり易さの度合いと同時に simulator で用いられる特性の量によって行われると解釈できる。また、PSS における simulation による階層の認識は、ASS による階層構造は算出されるといった知見と一致する。

つぎに、事例説と PSS の関係を考えてみる。ある simulator にある PS の集合とあるカテゴリに属する事例の集合は同様であると解釈できる。しかし、事例説によるカテゴリの表象では、事例の集合が具体的にどのように利用されるのかは言及されていないのに対し、PSS 理論では、simulator が PS をどのように利用するのかを定性的に説明し、また simulator 間(カテゴリ間)の連携にも踏み込んで説明している。

## 参考文献

- [1] Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioural and Brain Science*, 22, 577-660.
- [2] Corter, J. E., & Gluck, M.A. (1992). Explaining basic categories: Feature predictability and information. *Psychological Bulletin*, 111, 291-303.
- [3] Medin, D. L. & Schaffer, M. M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, 85, 207-238.
- [4] Murphy, G. L (2002). *The big book of concept*. MIT, Cambridge, MA.
- [5] Sloman, S. A. (1993). Feature-based induction. *Cognitive Psychology*, 25, 231-280.