

氏 名	ひ だか しょう へい 日 高 昇 平
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 282 号
学位授与の日付	平 成 19 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	情 報 学 研 究 科 知 能 情 報 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	語彙獲得過程におけるカテゴリ化空間の幾何学的モデル

論文調査委員 (主 査) 教 授 乾 敏 郎 教 授 黒 橋 禎 夫 教 授 齋 木 潤

論 文 内 容 の 要 旨

本論文の目的は、自然名詞および新奇名詞のカテゴリ化の計算論的メカニズムを解明する事である。カテゴリ学習、名詞の獲得、画像の命名、特徴の評定など、様々な心理学的研究から、人は基本カテゴリと呼ばれる一群の名詞（e.g., 花, 鳥, 魚など）を効率的に操作できる事が知られている。また, 2, 3 歳児は新奇名詞の付与された新奇事例を, たった一事例からでも正しく他の事例に汎用する事ができ, これを即時マッピングと呼ぶ。このような効率的なカテゴリ化の背後には, 名詞カテゴリの意味的な構造化があると考えられ, この構造をカテゴリの凝集性と呼ぶ。本論文では, 自然名詞および新奇名詞のカテゴリ化の効率性と, その効率化によって生じる意味（特徴空間）の幾何学的構造を関連づけるモデルの提案を行った。

第一章では, カテゴリ学習の理論的な背景と幼児の名詞獲得の実験的な研究について概説し, 本論文の位置づけを行った。

第二章では, 本研究が対象とする名詞カテゴリの特徴空間を明確にするために, 言語的な尺度を用いた評定実験を行った。第三章以降の理論的な研究では, 多次元特徴によって評定された名詞カテゴリのデータの特定の側面に焦点を当てて議論を展開した。

第三章では, カテゴリ凝集性の発生メカニズムを説明するモデルの提案を行った。特定の自然カテゴリは特定の特徴で記述できるが, また別のカテゴリは別な特徴で記述される (Murphy & Medin, 1985)。自然カテゴリの固有 (凝集性) の性質のために, これまでの研究では, カテゴリ凝集性の定量的な定義が確立されていなかった。これに対し, 本研究はカテゴリ凝集性を, カテゴリの特徴空間の曲面性 (曲率分布) によって定量化する尺度を提案した。さらに, この定義の下で, カテゴリ凝集性が発生するためには, (1) 個々のカテゴリが高い識別性を持ち, かつ (2) 少数のカテゴリで特徴空間上の事例を網羅するという一般性を持つ事が必要である事を示した。

第四章では, 第三章で提案した計算理論の骨格であるカテゴリ基底の妥当性を, 幼児の新奇語の獲得パタンの観点から検討した。提案モデルは成人のカテゴリ学習理論を根拠に, 特徴空間上で同心円状のカテゴリ尤度関数を仮定した。一方, 語彙発達の先行研究では, 超平面 (多次元の閾値関数) によるカテゴリ尤度の表現を採用している (Samuelson, 2002 など)。両者を比較した結果, 異なる性質を持つ幾つかの名詞コーパスに対して, 提案モデルがより安定的に幼児の新奇語の汎用を説明できる事が示唆された。

第五章では, 階層的な特徴構造の発生とカテゴリ効率化の関係を探った。発達過程の多くの認知的課題 (物体の分節化・個別化, 並び替え, カテゴリ化など) で, 乳幼児は物体の形状を他の特徴に対して重視する事が報告されている。また逆に, ある非典型的な発達群において, このような形状の優位性が消失する事も知られている (Jones, 2003)。このような現象を説明するために, 視覚的に呈示される物体を分節化・個別化する事で物体表象を形成するモデルを提案した。このモデルによるシミュレーションでは, 形特徴の優位性が生じるためには, 少ない表現素子によって物体を効率よく表象する必要があり, そうではない場合に形特徴の優位性が消失する事が示された。この結果から, 非典型的な発達群の認知的容量に対する

具体的な予測を提案した。

第六章では、幼児の新奇語獲得における文脈依存的なカテゴリ化についてのモデルを提案した。ここでは、文脈によって変動する成分と、文脈に中立的な成分を区別し、両者を一つの特徴空間の系で表現するモデルを考察した。幼児の新奇語の汎用は、名詞に付加する統語フレームによって変化する。例えば、日本語の文脈で、「リフが“いる”(“ある”)」と新奇名詞「リフ」が導入された場合、「いる」または「ある」はリフの動物性を暗示する効果がある。本研究のモデルでは、このような文脈効果が、統語フレームを識別するのに最適な特徴空間の射影として表現できる事を示した。

第七章では、以上の全ての研究で共通して議論されてきた「カテゴリ化の効率性」と「特徴空間の幾何学的性質」についてまとめ、特定の幾何学的性質を持つ特徴空間を持つために必要な発達の条件と関連付けた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、自然名詞および新奇名詞のカテゴリ化について、名詞カテゴリの特徴評定実験、数理解析、計算機シミュレーションにより研究した成果をまとめたものである。得られた主要な研究成果は次の通りである。

- 1) 特徴空間上のカテゴリ分布に基づいて、カテゴリ凝集性の定量的な尺度を提案した。また、日本語・英語を母語とする成人の自然カテゴリの評定実験を行い、その分析結果として初期に獲得する名詞カテゴリが凝集的である事、またその上位カテゴリが凝集的ではない事を示した。
- 2) 1) で提案したカテゴリ凝集性の定量的な尺度を基準として、凝集的なカテゴリの発生メカニズムを説明する計算論的モデルを提案した。具体的には、少数のカテゴリ学習（すなわち心理実験など数時間単位の学習）に関するカテゴリ化理論の提案、およびより大域的なカテゴリ学習（言語学習など）の数理的な関係性の明確化を試みた。また、提案モデルでは、先行研究から得られた個々のカテゴリ表現を基礎に、カテゴリの識別性と一般性を基準とするコスト関数の最適化によってカテゴリの集団的な特性が現れることを示した。
- 3) カテゴリ凝集性を説明する上記の提案モデルにより、幼児の示す典型的な新奇語汎用行動を説明できる事を示した。幼児は新奇な1事例に与えられた新奇名詞を、即座に他の事例に汎用する事が知られている。本論文の各章では、新奇語汎用の「即時性」、「対象の種類特異性」、「文脈依存性」、「非典型的な発達群の非典型的な汎用パターン」などの各種の側面を説明する計算論的なモデルを提案した。これらのモデルでは、カテゴリ化空間の幾何学的性質、およびその構造とカテゴリ化の効率性が特定の新奇語汎用パターンを導く事を示した。

本論文では、特に、具体的な新奇語の汎用メカニズム（成果3）の背景として、カテゴリ化空間の幾何学的な構造（成果2）が重要である事を示した点が評価できる。また、総合考察では、新奇語汎用における各種の側面を、カテゴリ化空間の幾何学的な特性と対応付けて（例えば、即時性はカテゴリ化空間の曲面性、文脈依存性はカテゴリ化空間の回転・射影など）、それに必要な認知的発達について考察している。従来の研究にはないこのような幾何学的な洞察は、言語・概念発達の新たな理論構築に大きく貢献すると考えられる。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成19年9月25日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。