

機関番号： 12501
研究種目： 若手研究 (B)
研究期間： 2008 ～ 2010
課題番号： 20700235
研究課題名 (和文) 行動実験と計算モデリングによるカテゴリー学習における人間の認知情報処理の解明
研究課題名 (英文) Investigation of human cognitive processes in category learning by empirical and computational modeling studies
研究代表者
松香 敏彦 (MATSUKA TOSHIHIKO)
千葉大学・文学部・准教授
研究者番号： 30466693

研究成果の概要 (和文)：本研究ではカテゴリー学習において、学習者の個人の目的が獲得される概念・知識に影響を与えること、また、ある概念は単一に表象されているのではなく、複数の表象をもちうるということが、行動実験によって明らかにした。これらの状況に応じた知識を獲得する能力、複数の表象を持つ認知メカニズムが、人間の適応性を要素であることを計算機シミュレーションによって示した。

研究成果の概要 (英文)：In the present research, we showed that acquired knowledge in category learning is heavily dependent on each individual's objectives of learning. We also showed that a category can be internally represented in more than a single way. The results of computer simulations suggested that the multiple representation system and situation-adaptive learning behaviors make the category, or more generally, knowledge usage in human very flexible and adaptive in the uncertain world.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：認知モデル、カテゴリー、概念形成

1. 研究開始当初の背景

我々人間は、思考・推論・伝達など高次認知において、カテゴリー的に組織された知識を応用していると考えられている。認知科学においては、カテゴリー化された知識が高次認知の基礎と考えられており、それについてさまざまな手法で研究されてきた。特に、数理・計算モデルを用いた行動実験のシミュレーションでは、カテゴリー化・カテゴリー学習についての学説が定量的に検討され、さまざまな人間の情報処理の過程が明らかになってきた。だが、これまでの計算モデルでは、

カテゴリー化に関する人間の情報処理に重点が置かれ、学習アルゴリズムの記述的妥当性は重要視されてこなかった。例えば、比較的少数の事例で構成され、複雑なルールによって分けられるカテゴリーについては、事例の記憶に基づいて判断し、逆に多数の事例からなるカテゴリーについては、抽象化されたプロトタイプに基づいて判断することなどは明らかにされたが、どのようにしてその内部表現を獲得したか等の学習過程においての計算モデル研究は遅れており、状況に非依存かつ連続的にエラーを最少化するよう

な規範的アルゴリズムが一律に応用されてきた

2. 研究の目的

本研究では、こういった傾向を打破すべく、カテゴリー学習における認知情報処理にかかわる行動実験をおこなう。また、その実験データを用いて、探索的モデリングを行い、カテゴリー学習の新しい解釈・見解を模索しつつ、更なる行動実験の計画を立てる。このようにして、実験からモデル、モデルから実験の反復によって研究を進める。特に、計算モデルにおいては、学習アルゴリズムの記述的妥当性に焦点をあて定量的に高次認知過程の学説を評価していく。

特に本研究では、次の人間のカテゴリー学習に関わる2つの仮説の検証に重点を置く。

(1) カテゴリー学習は知識の最適化である：既存の計算モデルは、傾斜降下法を応用したエラーを最小化する規範的アルゴリズムが一律に用いられている。つまり、既存のモデルでは、カテゴリー学習は状況に依存しない規則的な知識の更新とみなされている。しかし、われわれ人間の学習は複合的かつ状況・目的に依存したものだということが解ってきた (Markman, Maddox & Baldwin, 2005; Matsuka & Corter, 2008)。例えば、一般的な状況で人間は、簡潔だが“ある程度”正確なカテゴリー知識を習得する傾向があるように、簡素化と精度化といった複数の目的を同時に達成することが可能であることもわかってきた。また、重病の診断等、知識の正確性が重要な場合はその逆で、知識が複雑化しても、少しでも正確な知識を習得すると考えられるように、人間は状況に対応して学習をすると考えられる。このように、本研究では複数の異なるタイプの学習法がカテゴリー知識の習得に関わっているととらえている。一つは教師あり学習で、より客観的に正確な知識を得るのが目的である。もう一方は、ある種の強化学習であり、個々の主観的状況判断をもとに、より状況に見合った知識を形成していくことが目的である。つまり、カテゴリー学習はこれら2種類の学習法が相互作用されて状況に応じた正確な知識の習得、すなわち学習は知識の多目的かつ状況的最適化と仮説し、その検証をおこなう。

(2) カテゴリー知識は概念群によって構成されている：既存のカテゴリー化・学習の数理・計算モデルでは、一つのカテゴリーは単一の概念で構成されているとみなされている。ここでは、単一の概念とは一つのカテゴリー法または分類法とし、例えば、GCM やALCOVE などでは「犬」というカテゴリーの知識は一つのベクトルで表されており、それらのモデルはそのベクトルによる単一の分類法しか持たない。しかし、人間は複数の分

類法を習得していることが解ってきた (e.g. Bourne, Healy, Parker, & Rickard, 1999)。例えば、医者患者を診断するにあたって、複数の特性・情報に注意を向けより正しい診断をすると考えられるが、その診断を説明する場合には、患者に分かり易い情報だけを用いた端折った分類法を応用していると考えられるように、人間は一つのカテゴリーに対して複数の分類法、すなわち概念群を習得しているといった仮説を本研究では検証していく。

3. 研究の方法

上記の2つの仮説を検証するにあたり、教師ありカテゴリー学習実験を用いた。一般的なカテゴリー学習研究では、主に学習曲線のみが検証されてきたが、それらでは我々の仮説の検証が不可能であるため、新規の事例を用いた学習後の知識の一般化テスト (generalization test) とカテゴリー学習において重要だとされる選択的注意 (selective attention) のデータも収集した。本研究では、Information Board と呼ぶコンピューターインターフェイス (図1) を開発し、被験者の特性観察時間を、その特性に向けられた選択的注意と定理し、全学習過程および一般化テストにおいて、選択的注意の分散データを記録した。



図1 MouseLab Interface

(1) 第一の仮説「人間のカテゴリー学習が状況に依存した知識の最適化である」の検証は、同一のカテゴリー構造と同一のフィードバックスタイルを用いて、被験者の置かれた状況・目的のみを独立変数として操作した。具体的には、一つのコンディションにおいて、「獲得された知識は新たな刺激の分類によって行われる」と教示し、もう一方のコンディションでは、「獲得された知識は新たな刺激の持ち得る特徴の推論によって行われる」と教示し、注意の分散および一般化テストの結果に違いを比較した。

(2) 第二の仮説「カテゴリー知識は概念群

によって構成されている」は、学習過程でも選択的注意の分配と終了後の一般化テストにおける注意の分配の比較、そして一般化パターンをもちいて検証した。使用した刺激はある2つの特徴次元が強い相関があり、どちらか一方でカテゴリー分類を行えるものであった。汎化テストにおいて、その2つの特徴次元の内、学習課題ではより注視された次元の情報を利用不可能な状況を作り、汎化パターンを分析した。

4. 研究成果

(1) 行動実験

① カテゴリー学習の先行研究においては、学習の目的の差異は、獲得される知識に影響は与えられないと暗黙的に考えられていたが、本研究の行動実験では、全く同じ課題・情報を与えられた場合においても、各実験参加者が持っていた目的によって大きく変化することが証明された。具体的には、将来的に分類することのみを目的とした実験参加者は分類に必要な最低限である情報を判別・獲得し、新規な刺激においてもそれらを適用していた。逆に、将来的に、カテゴリー情報を基に次元特性を推論することを目的とした実験参加者は、例え学習課題がカテゴリー分類であったとしても、カテゴリー分類において余り有効でない次元間の相関情報を理解しようとし、比較的高い精度で獲得していた。

このように、学習課題が同一であり、与えられたフィードバックも同種であったばあいでも、人間の自分自身の学習への評価は「課題の誤差」のみを用いているのではなく、個々の主観的状況判断も用いられていることが示された。

② 2つの特徴次元に強い相関があるカテゴリー刺激を用いた実験では、多くの実験参加者が、どちらか一方の次元を用いてカテゴリー学習課題を遂行していた。汎化課題において、その2つの特徴次元の内、学習課題ではより注視された次元の情報を利用不可能な状況を作り、カテゴリー分類課題を与えたところ、チャンスレベルより有意に高い精度で正答を導いていた。つまり、学習課題で顕在化された認知行動とは違う認知行動が汎化課題では顕在化されることが分かった。このことから、人間は一つのカテゴリーに対して複数の分類法、すなわち概念群を習得していることが示唆された。

(2) 計算モデル：先行研究の結果や本研究の行動実験の結果を基に、確率的最適化法を応用したカテゴリー学習モデルを構築した。

① Particle Swarm Optimization (PSO) などの確率的最適化法を用いてより記述的な計算モデルを提案・開発した。人間の高次認

知モデルとしての PSO は、学習すべき係数の空間上で particle を多数配置し、有用な係数群を同時に学習する。解探索に用いられる解候補である particle を方略のアイデア、swarm をアイデア群または概念と解釈すれば、多数の方略を保持することから成り立つこのアルゴリズムは、複数のアイデアを保持しながらアイデア間を相互参照しながら学習を行っていると考えられる。実際に PSO を用いた認知モデルのシミュレーションでは、既存の勾配法を用いたカテゴリー学習モデルでは不可能と考えられている多様な方略の同時学習が可能であることが示された。また、PSO を用いることにより、他の確率的最適化法による認知モデルでは触れられていないアイデア間の構造もモデル化し検証をおこなうことが可能になった。既存のモデルでは全てのアイデアは同等の情報処理過程が適用されるが、PSO では通信構造の制約を設けることによって、アイデア間、つまり概念の構造が概念学習へおよぼす影響も同時に検証できるようになった。通信制限を設けた構造の PSO 型アルゴリズムは、全相互通信的な従来の PSO 型のものに比べ、構造的に簡易であるとともに、概念学習の解釈の面でも優れたモデルとなることが期待できる。また、Swarm のネットワーク構造の違いによって獲得された知識の特性に差異がみられたため、知識の構造が人間の概念学習における認知メカニズムに影響を与えている示唆された。

② ①では教師あり学習課題を想定してモデル・シミュレーションをおこなってきたが、2年度はコミュニケーションを介した教師無し学習をモデル化し、シミュレーションをおこなった。その結果、一般的な人間社会のネットワークと言われている、small world network の構造をもつ社会がより複雑なネットワーク構造をもつ社会やより簡素の構造をもつ社会より、多様性のある「十分正しい」知識を獲得・保持する傾向があることが分かった。また、個人の認知的制約（正しく記憶できる情報量の限界）は、社会全体においては、むしろ情報の「正確度」を高めるといった、シミュレーション結果が得られた

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

- ① Honda, H., Abe, K., Matsuka, T., & Yamagishi, K (In press). The role of familiarity in binary choice inference. *Memory & Cognition*.
- ② 松香敏彦・本田秀仁・吉川詩乃 (2010). プロトタイプ理論再考. 『認知科学』 17, 95-109.
- ③ Matsuka, T., Honda, H., Kiyokawa, S.,

Chouhourelou A (2009). On the knowledge organization in concept formation: An exploratory cognitive modeling study. In Artificial Neural Networks, LNCS Vol. 5768 (pp. 678 - 687). Berlin: Springer-Verlag.

- ④ Matsuka, T., Sakamoto, Y. & Chouhourelou, A. (2008). Modeling a flexible representation machinery of human concept learning. *Neural Networks*, 21, 289-302.

[学会発表] (計 14 件)

- ① 松香 敏彦 概念学習における知識の多様性。日本認知科学会 2010. 9. 17-19 神戸大学
- ② Matuka, T., “Kansei-driven algorithm as a descriptive model of human learning.” The 3rd International Workshop on Kansei, ACROSS Fukuoka, Fukuoka-city, Feb. 22-23 2010
- ③ 松香 敏彦 概念生成における知識構造の探索的モデル研究。日本心理学会 2008. 9. 19-21 北海道大学

[その他]

ホームページ等

<http://muscat.L.chiba-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松香 敏彦 (MATSUKA Toshihiko)

千葉大学・文学部・准教授

研究者番号：30466693