

# Comparative cognitive study on abstract concept learning : Focusing on numerical discrimination and relational same / different learning

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/42244">http://hdl.handle.net/2297/42244</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# 学 位 論 文 要 旨

Dissertation Abstract

学位請求論文題名 Dissertation Title

抽象概念の学習に関する比較認知研究 — 数的弁別および同異の関係学習を用いた検討 —

---

(和訳または英訳) Japanese or English Translation

Comparative cognitive study on abstract concept learning:  
Focusing on numerical discrimination and relational same/different learning

---

人間社会環境学 専 攻 (Division)

氏 名 (Name) 上條 槇子

---

主任指導教員氏名 (Primary Supervisor) 谷内 通

---

(注) 学位論文要旨の表紙

Note: This is the cover page of the dissertation abstract.

## Abstract

The present study examined rats' abilities to learn abstract properties of stimuli through numerical and relational discrimination learning. In Experiments 1 and 2, rats were trained to respond to a third object in an object row. Rats could learn the task and showed transfer of learning to novel stimuli to a certain extent. These results suggest that rats can learn abstract numerical concepts but it is domain-restricted. In Experiments 3, 4, and 5, rats were trained to discriminate same/different relationships of stimulus sets of object or pictorial stimuli. Rats mastered the discrimination tasks and showed significant transfer of the learning to novel test stimuli after they were trained with many different training stimuli. However, rats showed chance performance to novel test stimuli after training with small variations of stimuli. These results suggest that rats shifted learning strategy from non-conceptual stimulus-specific learning to abstract conceptual relational learning. In Experiment 6, human same/different discrimination of pictorial stimuli was examined. Reaction time data suggests that human participants can calculate entropy from multiple pictorial stimuli and utilize it as discriminative cue. From a comparative view point, implication of the results were discussed in terms of a hierarchy of learning strategies of stimulus-specific learning, quantitative entropy processing, domain-restricted concept learning, and abstract concept learning.

## 論文要旨

ヒトや動物は多くの情報に囲まれながら生活をしているが、使用可能な認知資源には限りがあり、すべての情報を貯蔵していくことは不可能である。多くの情報を効率的に得るために、我々はカテゴリ化を行い、概念を形成することができる。それぞれの事象は区別されているにも関わらず、同じラベルをつけて分類することを“カテゴリ化”という。カテゴリ化を経て、ある一群の事象に対して共通の反応が示されるようになることを概念の形成と呼ぶ。概念の形成は、ヒトや動物が環境に適応し暮らしていく上で重要な認知過程である。

概念には、自然概念、数概念、関係概念などがある。自然概念は様々な刺激間に共通する属性が物理的な特徴を持つが、数概念や関係概念については、刺激の物理的特徴によらない抽象的な表象を形成する必要がある。数概念は、形、色、大きさなど様々な次元の物理的特徴において異なる多様な刺激の集合に対して、共通の数的ルールを用いて処理する概念である。また関係概念も、刺激の絶対的な物理的特徴ではなく、2つかそれ以上の刺激間の相互の関係性を処理する概念である。本研究では、この数概念と、関係概念の一つである同異概念に焦点を当てた。同異概念とは、2つかそれ以上の事象において、同一性、または相違性という関係性を見出し、処理する概念である。数概念と同異概念は認知発達においても相互に関係することが指摘されている。本研究では、数概念および同異概念の学習能力の起源について明らかにするため、比較認知心理学的研究を行った。

第1章では、ヒトと動物におけるカテゴリ化、数概念、関係概念の種類と説明仮説について解説するとともに、先行研究についてレビューを行った。さらに、それらの先行研究における問題点を指摘し、本研究で取り組むべき課題について説明した。数概念の獲得においては、ヒトの幼児や動物が共通に持つ基礎的な数的能力についての理論が提唱されている(Brannon & Roitman, 2003; Spelke, 2011)。動物を対象とした数概念研究は、主に基数性と序数性の証明に焦点が当てられている。これまでのところ、基数概念の高度な抽象性を示す証拠や序数性の理解についての証明は霊長類と鳥類のみに限られている。また、抽象的な同異概念の獲得も霊長類と鳥類においてのみ明確に示されてきた。一方で、複数の刺激の同異関係がもたらす情報量をヒトと他の多様な動物が共通して処理することが示されつつある。このように、ヒトと他の多様な動物における抽象概念学習過程の共通性と相違点、さらにはその系統発生的起源を明らかにするためには、霊長類と鳥類以外の動物、特に霊長類と鳥類以外を系統発生的につなぐ非霊長類の哺乳類動物における抽象概念の学習過程について明らかにする必要がある。そこで、本研究では、非霊長類の哺乳類の中でも代表的な実験動物であるラットを対象とし、数概念と同異概念の獲得可能性について検討した。また、ヒトと動物に共通する量的同異弁別過程としてのエントロピー処理過程について検討するため、大学生を対象とした視覚刺激セットのエントロピー弁別について検討することとした。

第2章では、ラットを対象とした数概念の獲得可能性について検討した2つの実験的研究を報告した。ラットにおける数概念に関する先行研究では、数える対象が1種類の刺激のみ(トンネル型の刺激や純音、体への接触など)に限られ、様々な刺激に適用可能な基数性の明確な証明には至っていない。そこで、実験1と実験2では、形状・色・大きさ等の多様な次元において異なる物

体刺激を用いた数的弁別課題の学習可能性、および新奇刺激への学習の転移を検討することで、抽象的な基数性の獲得可能性を検討した。実験 1 では、Wistar 系ラットを被験体とし、11 個のゴールボックスの前に並べられた 4-6 個の同一の物体刺激から、“左から 3 番目”を選択するよう訓練した。3 種類の刺激を用いた訓練を学習後、抽象的な概念の獲得を示す新奇刺激への転移を検討したところ、有意な転移が確認された。この弁別反応は、物体配列の相対的位置や嗅覚手がかり、配列の右からの計数の可能性は排除された。しかし、訓練やテストにおける遂行成績の低さや、転移を示したのが 5 匹中 2 匹という少数例に留まる、という問題点が残された。実験 2 では、実験 1 で得られた遂行成績結果をさらに上昇させること、より多くの個体を用いてラットにおける数概念獲得の個体間一般性の確認することを目的として、装置と手続きを改良して再検討を行った。霊長類や鳥類の同異概念研究では、訓練に使用される刺激例数の増加にしたがって、具体的な手がかりに基づく刺激特異的な学習から抽象的な概念学習へ移行し、新奇刺激への転移率が上昇することが知られている。実験 2 では、訓練における刺激数を漸次増加させることで、抽象的な数概念の獲得を促すことを試みた。また、新奇なテスト刺激には新奇恐怖や探索反応による影響が予想されたため、同じ刺激を用いたテストを反復することで新奇刺激に対する親近性の影響を検討した。さらに訓練刺激と同様に分化強化されるテスト刺激を用いることにより、テスト刺激に対する強化スケジュールの効果を検討した。被験体には視覚能力が比較的に優れる Long-Evans 系ラットを用いた。10 個のゴールボックスの前に 1 列に並べられた 4-6 個の同一の物体の中から、左から 3 番目の物体を選択させる報酬訓練を行った。その結果、ラットにおいて 6 種類という多様な刺激における数的な弁別能力が可能であることが示された。しかし、新奇刺激に対する転移は部分的なものであり、領域制約的な抽象概念を獲得した可能性が示唆された。

第 3 章では、ラットを対象とした同異概念形成に関する 3 つの実験的検討について報告した。ラット関係性弁別学習の新奇刺激への転移を示した例はこれまでにはないことから、ラットが抽象的な水準での同異概念の学習能力を有するかどうかについては不明である。実験 3 では、従来の研究とは異なる方法によりラットにおける同異概念の獲得可能性を検討した。具体的には、物体刺激を用いた同異弁別学習の獲得と新奇刺激への転移について検討した。刺激セットは 4 個の物体で構成され、同刺激セットと異刺激セットを同時提示し、いずれかの刺激セットを選択することを訓練した。特に、刺激セットに含まれる刺激の種類を漸増させることで、抽象的な同異概念学習を促すことを試みた。その結果、ラットは 8 種の刺激を用いた同異弁別が可能であり、さらに、新奇な物体を用いた転移テストにおいても、チャンスレベルを有意に超える遂行が示された。この結果は、ラットが物体刺激間の抽象的な同異関係を学習可能であることを強く示唆する結果である。しかし、同刺激セットと異刺激セットを同時提示したことにより学習方略の特定が困難であったことや、物体刺激を使用したことによる嗅覚手がかりの利用可能性が排除できない等の問題が残った。この結果を受けて、実験 4 では、提示された刺激セットが同セットであるか異セットであるかに応じて異なる反応をラットに求める条件性位置弁別課題を新たに考案した。これにより、同刺激と異刺激のそれぞれに対する学習傾向を個別に評価することが可能になった。また画像刺激を用いることにより、1)刺激の多様性の操作性の向上、2)刺激の嗅覚手がかりの利用可能性を排除、3)霊長類・鳥類と類似する実験場面の設定、4)実験時間の短縮化を試みた。ラットは 4 つの画像からなる刺激セットによる同異関係の条件性位置弁別課題を学習可能であり、その後に行われた転移テストにおいても新奇刺激に対する有意な遂行が認められた。同じラットを用

いて2刺激からなる刺激セットを用いた検討においても、同様の結果が再現された。この結果は、ラットが霊長類・鳥類と類似する場面において、2刺激間の抽象的な同異関係に基づいた学習を行うことを示す結果である。一方で、実験4では、4刺激からなる刺激セットの訓練後に2刺激セットの訓練を行った。同セットと異セット間のエントロピー値の差異は、2刺激よりも4刺激の場合に大きくなる。このため、4刺激セットでの訓練が刺激セットの情報量であるエントロピー値を手がかりとした学習を促進し、2刺激セットの学習過程に影響した可能性が考えられる。このことは、霊長類や鳥類を対象とした先行研究との学習過程の直接的な比較を困難にすると考えられる。また、霊長類や鳥類の同異概念研究では、訓練に使用される刺激例数が少ない場合には、抽象的な同異関係の学習ではなく、具体的な刺激配列等の形態手がかりに基づく刺激特異的な学習が生じることが知られている。そこで、実験5では、最初から2刺激からなる刺激セットを用いて同異弁別を行うとともに、訓練に用いる刺激数を漸増させながら転移テストを反復して実施した。もし、ラットにおいても、霊長類や鳥類と同様に、学習しなければならない刺激例数が少ない場合には刺激特異的な手がかりの学習を行い、刺激例数の増加に伴って抽象的な関係概念の学習が発現するのであれば、訓練初期の少数の刺激による学習後の転移テストでは、新奇なテスト刺激に対しては適切に遂行できないことが予測される。結果として、ラットは2刺激からなる刺激セットの条件性位置弁別学習を習得可能であった。また、2または4種類という少数の刺激による訓練後の転移テストでは、ラットの遂行は偶然による水準を超えないことが示された。この結果は、少数の種類訓練刺激が用いられた場合には、ラットにおいても刺激特異的な学習傾向が優勢であるという霊長類・鳥類と類似した結果を得た。

第4章では、大学生を対象とした視覚刺激セットのエントロピー弁別過程に関する実験について報告した。ヒトは抽象的な同異の二値的弁別が可能である。その一方で、ヒトを含む動物の同異弁別において、エントロピーで表される刺激の量的な多様性に関する処理過程が普遍的に関与することが指摘されている(e.g., Young & Wasserman, 1997, 2001)。6水準のエントロピー値をとる視覚刺激セットを用いて、エントロピー値2.0を閾値として異なる反応を求める弁別学習の獲得と、反応時間による処理過程の検討を行った。その結果、ヒトは視覚刺激のエントロピー値について弁別が可能であることが示された。ヒトが複数刺激のエントロピーを処理することは、閾値に近い刺激セットにおける反応時間が遅くなるという結果からも支持された。

第5章では、これら6つの実験について総括し、今後の課題や展望について述べた。本研究では、概念学習課題においては、刺激特異的な学習、エントロピー処理に基づく量的な概念学習、領域制約的な概念学習、および抽象的な概念学習という水準の異なる学習過程が関与することが示された。ラットは、刺激特異的な学習傾向が優勢であるが、訓練に用いる刺激例数等の条件次第で抽象的な水準での概念学習を行う可能性が示唆された。またヒトを対象とした実験6の結果より、ヒトにおいても動物と同様なエントロピー処理を行うことがより明らかにされ、ヒトと動物に共通した認知処理過程が存在することを示唆する結果が得られた。今後、本研究によって明らかになった概念学習過程について多様な動物種を比較することにより、概念学習の系統発生的起源について明らかにすることが必要である。また、このような概念学習過程の理論的枠組みは、概念学習の個体発生に関する発達的研究にも有効であると考えられる。概念学習の種間比較研究と発達研究への展開を通じて、概念学習過程の生得性と後天的学習の意義に関する詳細について明らかにしていく必要がある。

# 学位論文審査報告書

平成27年 2月 2日

## 1 論文提出者

金沢大学大学院人間社会環境研究科

専攻 人間社会環境学

氏名 上條 慎子

## 2 学位論文題目 (外国語の場合は、和訳を付記すること。)

抽象概念の学習に関する比較認知研究—数的弁別および同異の関係学習を用いた検討—

## 3 審査結果

判定 (いずれかに○印) 合格 ・ 不合格

授与学位 (いずれかに○印) 博士 (社会環境学・文学・法学・経済学・学術)

## 4 学位論文審査委員

委員長 谷内 通 (印)

委員 松川 順子

委員 萱原 道春

委員 岡田 努

委員 小島 治幸

委員 \_\_\_\_\_

(学位論文審査委員全員の審査により判定した。)

## 5 論文審査の結果の要旨

本論文は、数概念および同異概念の学習について検討した実験研究をまとめたものである。特に、概念学習能力の進化について明らかにするという比較認知の視点に基づき、ラットを対象とした研究を行っている。動物における抽象的な概念の学習可能性については、特に 1970 年代から自然概念、1980 年代から数概念、1990 年代後半から関係概念に関する比較認知研究が盛んになった。概念学習はヒト以外の動物にとっては難易度の高い学習であるため、長期にわたる訓練が必要である。このため、自動化された装置による視覚刺激を用いた実験が中心となったことから、視覚優位のサルやハトについて検討されてきた。しかしながら、霊長類と鳥類で示されてきた概念学習能力が、共通の祖先から受け継がれたものであるのか（相同）、それともそれぞれが独自に類似の能力を進化させた結果であるのか（相似）という問題について検討するためには、第 3 の視点として、非霊長類のほ乳動物における概念学習能力と性質について検討することが重要である。本論文はこのような視点から、非霊長類のほ乳動物の中でも代表的な実験動物であるラットにおける概念学習能力を検討することを目指したものである。

第 1 章は、ヒトにおける概念学習の分類と主要な説明理論について解説している。特に、カテゴリ化、数概念、関係概念に関する先行研究についてまとめている。カテゴリ化では成員同士は一定の知覚的類似性を共有するが、数概念や関係概念では成員同士は知覚的な類似性を必ずしも持たないことから、より抽象度の高い概念であること、発達過程における数概念と関係概念の関連性が指摘されていること等に基づき、本論文がこれらの概念学習を研究対象として選択した理由が述べられている。数概念については、基数性と序数性の視点から、霊長類、鳥類、げっ歯類、およびその他の種における先行研究をレビューし、霊長類や鳥類では数弁別学習が訓練刺激から新奇なテスト刺激に転移することから、抽象的な基数の学習について明確に証明されていること、および序数性についてもこれを示す証拠が示されつつあることを説明している。一方で、げっ歯類の研究では、数弁別学習の多様な刺激への転移について十分に検討されていないことから、基数性の証明が十分ではないこと、また序数性については検討例がないことを示し、げっ歯類における基数性の検討という本研究の目的の 1 つを導き出している。関係概念については、特に同異概念の比較研究についてレビューし、見本合せ課題を用いた初期の研究は必ずしも同異概念の証明には成功していないこと、近年の霊長類や鳥類の研究では抽象的な同異関係の学習について証明されてきているのに対し、げっ歯類では否定的な証拠のみが報告されていることを示し、本研究のもう 1 つの目的であるラットにおける同異概念の獲

得可能性に関する研究の必要性を導き出している。さらに、刺激の多様性の指標であるエントロピーの処理に基づく同異弁別学習について、ヒト、ヒヒ、ハトの研究を紹介し、同異概念学習の基礎過程として広い範囲の動物にエントロピー処理過程が関与している可能性を指摘している。

第2章は、ラットにおける基数概念の獲得可能性について検討した実験1と実験2の結果について報告している。物体数の弁別訓練を通じて、ラットが空間配置等の特定の物理的手がかりに還元できない様式で、一列の物体の中から3番目の物体を選択可能であることを見いだしている。また、新奇な物体刺激を用いた転移テストにおいても一部で有意な遂行を認め、ラットにおける抽象的な基数概念の学習可能性について示した。一方で、このような数的弁別行動の新奇刺激への転移が部分的であったことから、ラットが獲得する数概念が、同異概念研究において最近提案されている領域特異的な概念学習の水準に留まる可能性について論じている。

第3章は、ラットにおける同異概念の学習可能性について検討した3つの実験について報告している。実験3では、2区画のそれぞれに4つの物体からなる刺激セットを配置し、一方はすべて同じ物体から構成される同セット、他方はすべて異なる物体から構成される異セットとした場合の報酬訓練により、ラットがこのような弁別課題を学習可能であること、および、新奇な刺激のみによって構成されたテスト刺激に対しても適切に反応可能であることを示し、ラットが物体刺激セットの抽象的な同異関係を学習可能であることを報告している。実験4では、各種のアーティファクトを除外する目的から、刺激を液晶モニタによる映像刺激とした条件性位置弁別学習について報告している。ラットは、画像刺激の同異に応じた反応を学習可能であるとともに、このような学習が新奇な刺激にも転移することから、抽象的な同異関係を学習可能であることを示している。実験5では、訓練刺激の多様性を漸増させる実験の途中経過について報告している。訓練刺激数が少ない場合には、新奇刺激に対する同異弁別の転移は認められないことから、ラットの同異弁別学習は訓練刺激の多様性の増加に応じて、刺激特異的な学習から抽象的な関係概念の学習へと移行する可能性について示唆している。

第4章では、大学生を対象とした視覚刺激のエントロピー水準の弁別学習について報告している。画面上に提示される16個のアイコンの多様性を変更することにより、刺激セットの絶対エントロピー値を0.5-3.5の範囲で操作した。その結果、絶対エントロピーが1.5以下と2.5以上の刺激について異なる反応を行う弁別学習が可能であることを示した。弁別の基準となる閾値付近で反応時間が遅くなることから、ヒトにおけるエントロピー処理を示唆している。

第5章は、研究の総括として、得られた実験結果についてまとめるとともに、残された問題について今後どのような検討が必要であるかを論じている。特に、同異概念については、物理的刺激特徴あるいはその配列を手がかりとした刺激特異的な学習、適用対象にある程度の柔軟性を持つものの特定の範囲に限られる領域特異的な概念学習、抽象的であるが刺激の多様性に規定される量的な概念学習、および、刺激様相や刺激の多様性という量的側面にとらわれない真に抽象的な概念学習、という異なる水準の学習様式が関与する可能性について整理している。また、動物や新生児を対象とした先行研究を含めた考察から、刺激の多様性であるエントロピー処理は、生得的で多様な種に普遍的に認められる処理過程であるという仮説を提案している。

本研究については、特に以下の2点を高く評価できる。第1に、これまで十分な検証が行われてこなかったげっ歯類の数概念能力の抽象性について検討した点である。結果として、高い抽象性は示されなかったものの、霊長類や鳥類と比較可能なデータを提供することで、種間比較を可能にする基本的な知見を提示し、国際誌を含む2本の査読付論文として公刊している。第2に、霊長類や鳥類と比較可能な形式で、げっ歯類が抽象的な同異概念を学習可能であることを初めて示した点である。オリジナルの装置による長期の訓練を通じて得られた非常に貴重なデータであり、既に研究3については論文として公刊されているが、研究4と研究5については、研究5の完成を待って、より重要な論文として公刊されることが見込まれる。

一方で、いくつかの要望も指摘された。第1に、同異概念実験に関する実験結果については、対立仮説の検証の余地が残されている。例えば、訓練刺激の多様性と転移成績の関連について、著者は刺激特異的な学習に必要な記憶負荷の増加が概念学習を促進するという仮説を提案しているが、一方で、訓練刺激の多様性の増加はテスト刺激との間で具体的な刺激特徴の共有可能性を高めることから、刺激般化の増大に基づく説明も可能であると考えられる。今後、より精緻な理論的検討が望まれる。第2に、同異概念学習の基礎過程としてエントロピー処理を仮定する著者の仮説は大変興味深いものの、第4章で報告された大学生のエントロピー弁別実験とラットにおける同異概念実験の関連性については、論文中では必ずしも明確に接続されていない。このため、統合された1論文の構成としては、やや分かりにくい印象を受ける。

以上のように、いくつかの要望も指摘されたが、概念学習に関する多面的な分析に基づいて、多くの重要な学術的発見を得たことは非常に高く評価できる。また、これらの研究成果は国際学会を含む多くの機会において報告されるとともに、既に査読付き論文として公刊され、学界の評価を得てきている。以上から、審査者全員一致で本論文を合格と判定した。