

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330174

研究課題名(和文)対象の相対的關係認知に関する実験的検討

研究課題名(英文)Experimental study on relational concept based on the relative feature of the stimuli

研究代表者

山崎 由美子 (Yamazaki, Yumiko)

慶應義塾大学・付置研究所・特任教授

研究者番号：20399447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：2つの対象を区別する際、大きさの違いのような両者の相対的關係に基づいて選ぶ「移調」が示されるか、コモンマーモセットを用いて検討した。大きさの異なる正方形を用いて検討した結果、マーモセットは移調を示し、新奇な刺激対に対しても訓練された相対的關係に基づいて反応した。さらにこの反応が、訓練された刺激に限定されず一般的に応用されるような關係概念であるかどうか、新奇な形の刺激対でテストしたところ、マーモセットはここでも2刺激の相対的特徴に基づく移調を示した。形が異なり類似性に基づいた刺激般化が成立しないような場合、外周長を手掛かりにして反応することが初めて示された。

研究成果の概要(英文)：I examined whether common marmosets could discriminate the stimulus pairs based on relative features (such as larger or smaller size). By training them using squares with different sizes, the marmosets successfully acquired the task, and showed its generalization to different sizes (transposition). Then to know whether this type of response could be generalized to novel stimulus pairs having no features in common, they were presented with five different shape pairs, together with the trained one. They responded to them based on the current relevant feature of the training stimulus, so they used relational concept of the relative sizes. When they could not use shared features, they showed relational concept more with the novel stimuli having the similar outer length from the training ones. Thus, the present study clearly illustrated the common marmosets' ability of transposition, which was able to be expanded to a relational concept of the relative size.

研究分野：実験心理学

キーワード：般化 弁別 移調 実験心理学 概念

1. 研究開始当初の背景

ヒトを含めた動物は、様々な対象を区別したり分類したりする能力を持つ。これらは刺激弁別という基本的能力を基盤としており、カテゴリーを形成することもできる。カテゴリーはそのメンバーの数が限られている場合もあるが、木や鳥や花といった自然概念のように、メンバーの数が膨大で変動性もある概念も形成できる。

カテゴリー形成や自然概念は基本的に、メンバーが共有する特徴の類似性を基盤とした刺激分類である。新しい刺激を目にした時に、その個体は今まで学習したカテゴリー、自然概念の中心的な傾向や、プロトタイプに基づいて、メンバーであるかどうかを判断する(Jitsumori, 1996 など)。類似性によるということは、刺激の色、大きさ、特徴の配置といった、物理的な絶対的特性に注目して分類をしていることを意味する。

しかし、実際の環境に存在するものには個々の変動性が大きいので、絶対的な物理的特徴に依存した認識の仕方では対応が難しくなる場面がある。そのための対応策として般化がある(図1上段参照)。これは通常、刺激の物理的屬性の一つの次元上において、反応する範囲を拡大させることに対応する。例えば、1000Hzの音に反応するように訓練されれば、1000Hz以外の音、例えば1200Hzや800Hzにもある頻度の反応を産出するようになる(Jenkins & Harrison, 1960)。このような般化は、弁別行動に必然的に付随する特性であり、物理的類似性ベースの弁別行動を訓練刺激以外に適用する代表的な行動的仕組みであるといえる。

この般化の仕組みは、複数の刺激が同時に存在して、両者の相対的な関係から判断が必要とされる場合にも用いられている。その代表例が**移調 transposition**と呼ばれる現象である(図1下段参照)。典型的には、被験者が1対の刺激のうち一方を選ぶ弁別訓練を受ける。このとき、直径3cmと6cmの円が画面上に同時に提示されており、被験者は6cmの円を選ぶと正解とされる。この課題に正しく反応できるようになった後、テストとして6cmと9cmの円が提示される。9cmは被験者にとって新奇な刺激になる。もし、訓練において

被験者が6cmの円という絶対的特徴を学習していたら、テストでも6cmの円を選ぶはずである。一方、訓練で「より大きい」円を選ぶことを学習していたならば、テストでは9cm直径の円を選ぶはずである。これまでにラット(Lawrence & Derivera, 1954)、アシカ(Schusterman, & Krieger, 1986)、ハト(Lazareva, Miner, Wasserman, & Young, 2008)などがテストされてきて、ほとんどの場合、これらの動物は相対的特徴に基づいて反応したことが示されている。すなわち、ヒトのみならず動物は、対象が何であれ、その絶対的な物理的特性にのみ注意するのではなく、何らかの次元での両者の相対的關係についての関係概念を有することを示唆している。関係概念とは対象にしばられず、複数の対象間の関係を表象することに相当し、例としては異同概念、推論的推移律、刺激等価性などがあげられる。ヒト以外の動物がこれらの能力を有する証拠はあるが、拡張性、場面非依存性などを考慮すると、数ある概念の中でもヒトに特に発達しているということが出来る。

本研究で用いるコモンマーモセットは小型の新世界ザルで、基本的な脳の構造を我々と共有し、その生態は音声・嗅覚を用いた社会的コミュニケーションに大きく依存する(Yamazaki & Watanabe, 2009)。その認知能力については、マカク属のサルにはほとんど見られない模倣(Voelkl & Huber, 2000)、協力行動(Burkart et al., 2007)が観察できることが知られており、このような面についてはむしろマカク属のサルよりもヒトの認知能力を探るための霊長類モデル動物としてふさわしい(Yamazaki & Watanabe, 2009)。コモンマーモセットにおいて何らかの関係概念形成能力を検討した例はまだないが、このようなヒト類似の認知特性を持つ動物を利用することにより、これまで別の動物では得られなかった新たな切り口が得られる可能性を有すると思われる。

これまで、応募者は比較認知神経科学の観点から、ヒトとヒト以外の動物との間で両者の間の溝をなしているような認知能力について興味を持ち、実験的検証を行ってきた。例えば、刺激等価性はヒトに優位に見られ、類似性を持たない任意の刺激ヘルールを般化させる現象であるが、応募者はハトとカラスにおいて、多数の例を経験しても刺激等価性が般化しないことを確認した(Yamazaki, 2004)。一方、系列中の共通構造を抽出し、他の系列へと当てはめることは、ジュウシマツにおいて可能であった(平成17-18年度科研費若手研究(B)「鳥類における系列反応の抽象構造解析と遂行時神経活動の測定」)。コモンマーモセットにおいては、訓練を行うことにより複合刺激を要素に分解し、文脈に応じてそれらを選択することができた(「再結合般化を支えるメカニズムの基礎的研究」平成22-23年度科研費若手研究(B))。これら

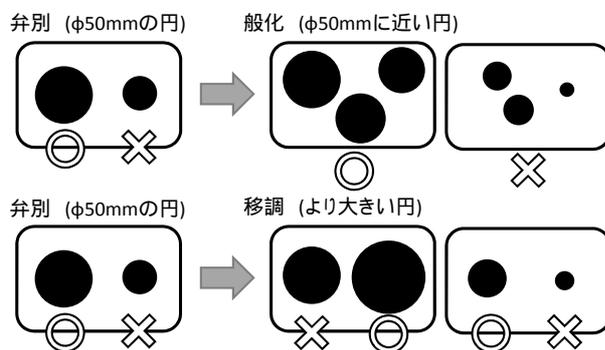


図1. [上段] 弁別と般化. [下段] 弁別と移調. と×はそれぞれ正解、不正解となる刺激を示す。

の知見と、前述のヒト以外の動物での移調の成功例から、ヒト以外の動物におけるルールの抽象能力は、一様に可能不可能を論ずることはできず、神経科学的要因、生態学的要因などにより大きく影響を受けると考えられる。これまで高次の認知機能に絞って検討を重ねてきたが、コモンマーモセットの一般的な表象能力についての研究は国内外を問わず少ないため、本研究のように比較的単純な実験設定を用いることにより、その基本的な般化能力を知ることは価値があると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、移調のような関係概念がコモンマーモセットに成立するかどうかを、弁別学習課題を用いて検討することを目的とした。大きさの異なる刺激の弁別訓練の後、相対的な大きさに基づく反応が可能かを確認した後、新奇な刺激群に対しても、訓練された相対的な大きさの随伴性が般化するかどうかをテストした。もし般化が見られれば、関係概念という比較的抽象度の高い概念がヒト以外の動物にもみられるという証左になる。

これまでの移調の実験では、テスト図形の形は訓練から保存されているため、動物が一般的な概念として移調を示していたのか、同じ形という知覚的類似性がある中で限られた関係についてのみ表象しているのかの区別がついていなかった。本研究課題では、後者の点、つまり、移調が一般的な関係概念として獲得可能かどうかということについて、実験的に検証することも目的とした。

3. 研究の方法

(1) 馴化訓練と反応形成

最初に、被験体を一日一回、約 20 分間、飼育室から実験装置へと移動させ、実験者から餌を食べることを数日間行った。このとき、移動による不安などのストレスを軽減させ、装置への馴化を促進させるため、被験体の同居個体を隣のケージに置いた。この措置の有効性は、申請者による先行研究で確認済みであった(Yamazaki et al. 2011)。実験装置において繰り返して phee コールを発するなどの不安様行動が見られなくなった後、繰り返し装置から強化子(報酬)として甘味のついた液体を提示し、これにも馴化させた。続いて、液体の提示時にランプ点灯と音の提示を組み合わせることにより、光と音を条件性強化子として、後の訓練やテスト時に、毎回餌を出さずに正解を教示するための準備手続きを行った。被験体はケージの中を動き回るので、少しでもタッチパネルに近づいた行動に随伴して提示する。この基準を逐次的に変えていき、最終的にタッチパネルに対して、装置が反応を検出できるレベルの強さで押す反応を形成した。タッチパネルへの反応が安定した後、直径 7cm の白色円を、緑色を背景としたモニタに提示し、この円の範囲内の反応のみ強化した。その後、この円の直径を

2cm にまで小さくし、さらに円をモニタ上のあらゆる位置に提示してもそれを追いかけて反応できるまでの行動を形成した。最後に、次に行う弁別訓練時の試行を開始させる反応を形成した。すなわち、モニタ中央にマーモセットの絵(4cm 四方)を提示し、これにタッチした後、モニタ上のランダムな位置に提示される白色円をタッチさせ、強化子を得るという系列を訓練した。これを 1 日 1 回 60 試行行った。

(2) ベースライン弁別訓練

上記訓練により反応が安定した後、一対の刺激の弁別訓練を行った。刺激には大きさの異なる 3 種類の正方形のうち(それぞれ大きい順に L, M, S サイズとする)の 2 つ、L と M か S と M のいずれかの対を用いた。例えば、L と M を用いた弁別訓練で、はじめ M(2 つの刺激の「より小さい」方)への反応が強化される訓練では、試行開始の反応がなされた後、モニタ上のある位置に 2 つの刺激が提示された。被験体の課題に対する注意を高めるために、刺激の提示位置はランダムな順番で毎試行変えられた。被験体が M の正方形に反応すれば餌提示による強化、L の正方形に反応した場合は 4 秒間の実験ケージ内の消灯と、反応が無効となるタイムアウトが課された。このような試行を 1 日 1 セッション、60 試行を行った。

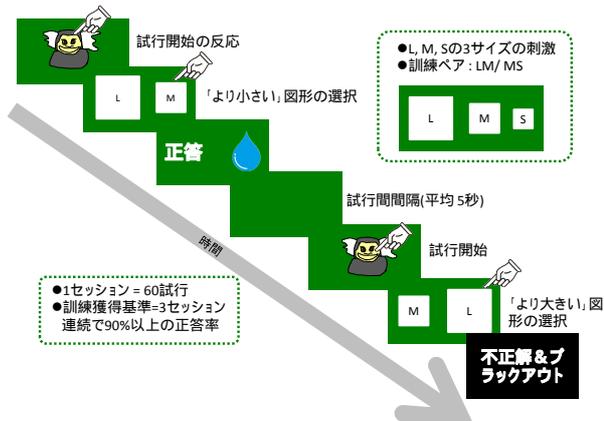


図2. ベースライン訓練試行の時間的経過, 用いられた刺激対(右上), 及びセッションの構成と獲得基準(左下).

(3) 逆転訓練

この弁別訓練が 3 セッション連続で 90% 以上の正答率となったら、次のセッションでは強化される反応を逆転させた(第 1 回逆転)。すなわち、図 2 の例では L への反応が強化、M への反応が消去となった。一時的に正答率が下降するが、再び上昇してくることが予想できた。1 セッション 90% 以上の正答率を示したところで再び次のセッションで反応強化随伴性を逆転させた(第 2 回逆転)。このような逆転手続きを、第 5 回逆転まで行った。逆転後の成績において、10 反応正答するまでの試行数が、逆転手続きの学習評価として用いられた。

(4) 移調テスト

逆転手続きによって、被験体が安定して成績を上昇させることができるようになったところで、移調テストを行った。移調テストでは、訓練で用いなかった刺激を1つ挿入した。図2の例では、正方形を用い、テスト試行においてMとSを提示した。第5逆転時には、Lへの反応が強化される試行であるので、このベースライン訓練試行に、テスト試行を挿入した。テスト試行においても、ベースライン訓練試行と同様の随伴性(「より小さい」への反応が強化される)が示された場合(この場合はsへの反応)、被験体は移調を示したといえる。一方、ベースラインと同様、Mへの反応が示された場合、被験体は刺激対の相対的な大きさに基づいたというよりは、訓練時の随伴性をそのまま移した結果と判断される。このような移調テストは、それぞれの逆転後の随伴性の文脈において、それぞれ2回ずつ行われ、「より大きい」「より小さい」に基づいて反応するかどうか調べられた。

(5) 形般化テスト

この「より大きい」「より小さい」が、特定の訓練刺激ではなく、一般的に適用可能な概念として獲得されているのかどうかを、「形般化テスト」で調べた。形般化テストでは、被験体にとって新奇な5種類の形をテストセッションで提示し、ベースライン訓練の「より大きい」あるいは「より小さい」の関係がテスト刺激にも転移されるかどうかをテストした。テストは1セッション60試行中、40試行をベースライン訓練、20試行をテスト試行とし、各テスト刺激を4回ずつ提示した。このようなテストセッションを2回行った。もしも般化が認められた場合、形刺激のどの要素が弁別手がかりとして用いられたかについて、相関係数を用いて検討した。例えば、形刺激の外周長、面積、角の数、などが制御特徴として考えられた。

4. 研究成果

すべての用いられた被験体において、大きさの異なる図形間の弁別が可能であった。最初の弁別の獲得後、随伴する結果を逆転させる逆転学習では、逆転を繰り返すうちに正答数の急激な上昇が見られるようになり、いわゆる「学習セット」の形成が認められた。このことから、ヒト、類人猿に見られるような高次の学習能力を示す証拠がコモンマーモセットにも示されたと言えた。テストにおいて、訓練とは異なる大きさの図形が提示されたとき、被験体は訓練履歴ではなく、相対的な大きさに基づく選択、つまり移調による反応を示した。したがって、ここでもまた、ヒトや類人猿で見られるような関係に基づく反応が、コモンマーモセットでも示された。さらに、この移調による反応が様々な刺激に対して応用可能なものであるか、あるいは

訓練対	移調テスト試行で予測される反応パターン	
	強化履歴に基づく	移調
より大きい+	選択: S M S	M M S
より小さい+	M M S	S M S

図3. 弁別訓練で用いられる刺激対(左)と、移調テスト試行で用いられる対および強化履歴と移調のそれぞれから予測される反応(右)。

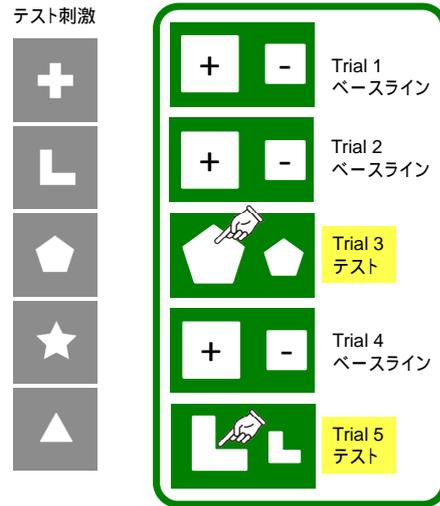


図4. 形般化テストで用いられた新奇刺激(左)と、L正解 vs. M不正解をベースラインとしたテストセッションの構成(左)。

訓練刺激に限られたものかどうかを調べるために、5種類の新奇な図形刺激を用いてテストを行ったところ、訓練刺激対と同じ相対的な大きさに基づいた反応が示された。つまり、コモンマーモセットは関係に基づく反応を概念として有し、未知の対象に対しても応用することができた。5種類の刺激対に対する反応には違いがあったため、この違いが何に基づくのかを、刺激の物理的特徴から検討を行ったところ、訓練刺激に近い外周長を持つ刺激により高い確率で相対的な大きさに基づく判断を行っていることが分かった。

以上の結果から、本研究は、コモンマーモセットが相対的な大きさという抽象的な関係概念を獲得可能で、様々な刺激に応用させることができるということを示すことができた。これまで移調がどのようなメカニズムで示されるのかは未知であったが、手掛かりが極めて限られる場合、コモンマーモセットでは外周長という次元を使用し、一般的な学習メカニズムである般化として反応することが明らかになった。移調は半世紀以上にわたって検討されてきた研究トピックであるが、その詳細が初めて明らかにされたということの意義は大きい。また、詳細な変数が明らかになったことにより、関係概念の行使という複雑な認知過程の背景にある脳神経基盤を、脳画像研究や神経活動記録などにより解析するための基盤データが得ら

れた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. Yamazaki, Y., Saiki, M., Inada, M., Iriki, A., & Watanabe, S. (2014). Transposition and its generalization in common marmosets. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, **40**, 317-326. DOI: 10.1037/xan0000027. (査読あり)
2. Hashimoto, T., Yamazaki, Y. (Corresponding author), & Iriki, A. (2013). Hand preference depends on posture in common marmosets. *Behavioural Brain Research*, **248**, 144-150. DOI: 10.1016/j.bbr.2013.04.001. (査読あり)

〔学会発表〕(計 6 件)

1. 山崎由美子・齊木正門・稲田正幸・入来篤史・渡辺茂 (2015). マーモセットによる関係概念の般化. 第 38 回日本神経科学大会 (神戸国際会議場 (兵庫県・神戸市), 7 月 30 日).
2. 山崎由美子・齊木正門・稲田正幸・渡辺茂・入来篤史 (2013). コモンマーモセットによる、刺激提示位置を手がかりとした見本合わせにおける遅延時間の効果. 日本動物心理学会第 73 回大会 (筑波大学 (茨城県・つくば市), 9 月 14 日).
3. Yamazaki, Y. & Iriki, A. (2013). Inference and related brain functions in animals. Decision-Making, Logic and Cognition (In Honor of the Academic Achievements of Prof. Shigeru WATANABE) (慶應義塾大学 (東京都・港区), 2 月 26 日)
4. Yamazaki, Y. (2012). Cognitive characteristics of common marmosets. NTU-CHC Human Cognition Workshop (Nanyang Technological University (Singapore), 11 月 12 日).
5. Yamazaki, Y., Saiki, M., Inada, M., Watanabe, S., & Iriki, A. (2012). Generalization of shape discrimination in the common marmosets (*Callithrix jacchus*). Neuroscience 2012 (New Orleans (USA), 10 月 16 日).
6. 山崎由美子・齊木正門・稲田正幸・入来篤史・渡辺茂 (2012). コモンマーモセットによる同時弁別学習と般化. 日本動物心理学会第 72 回大会 (関西学院大学 (兵庫県・西宮市), 5 月 13 日).

〔図書〕(計 2 件)

1. 山崎由美子 (2014). 第 2 章 言語の基盤となる推論能力. 今井むつみ・佐治伸郎(編). 岩波講座 コミュニケーションの認知科学 1. 言語と身体性 (pp. 35-62). 東京, 岩波書店.

2. Yamazaki, Y., Saiki, M., Inada, M., Watanabe, S., & Iriki, A. (2012). Reversal learning and generalization in the common marmosets (*Callithrix jacchus*). In S. Watanabe (Ed.), *CARLS series of advanced study of logic and sensibility*, Vol. 5 (pp. 29-41). Tokyo: Keio University Press.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 由美子 (Yumiko Yamazaki)

慶應義塾大学・付置研究所・特任教授

研究者番号: 20399447