

表象操作能力の比較認知科学的検討

高木 佐保

要旨

我々ヒトは、高度に発達した思考能力を持つ。目前にある出来事に対する思考はもちろんのこと、今ここにない事象に関しても思いを馳せることができる。このような高度な思考能力がどのように進化したのかを探るためには、現存する多様な動物種でどのような思考能力を持っているのか比較・検討を行うしか方法はない。

第1章では、ヒト以外の動物（以下、動物）の思考能力に関する先行研究について概観した後に、3つの問題提起を行った。1点目として、非言語的な“思考”の定義がなされていないことから、様々な課題間での動物の思考の比較・検討が困難であった点が挙げられる。そのため、散発的な報告に留まっており、課題間での体系的な議論が進んでいない。本稿では藤田（2004）の枠組みを利用し、思考および推論を“内的表象の操作過程”と定義することで、従来は別個に議論されてきた課題間での比較研究を可能にし、様々な文脈で、動物の高次表象の操作に関して体系的に検討した。2点目として、課題の不適切性が挙げられる。これまでの課題は、ヒトとの比較に焦点を置いた抽象的な課題が用いられてきたため、その能力が当該種の実生活のどのような側面において必要であったか等の適応的意義が不明瞭であった。また、課題の手掛かりとして呈示するモダリティも、視覚に重点が置かれていたことから、視覚以外のモダリティに優位性を持つ種の推論能力を過小評価してしまっていた。本稿では、その種の生活史に見合った具体的な場面で、聴覚モダリティからの推論課題を用いることで、この問題点を解決した。

3点目として、従来用いられてきた種が実験動物である霊長類、鳥類、げっ歯類に限定されていたことである。本稿では近年その高い認知能力で注目されている伴侶動物の中でも、イヌと双肩をなすネコを対象に実験を行うことで、種を拡大し、家畜化が思考能力に及ぼす影響に関する検討を行った。

これらの3つの問題点を克服するために、本稿では、藤田 (2004)のモデルに従った非言語的な思考能力を、生態学的に妥当な実験場面で、適切なモダリティを使用し、伴侶動物であるネコ (*Felis catus*)を対象に実験を行った。第2章と第3章では、様々な場面におけるワーキングメモリ内の表象操作を検討した。これらの章で述べる実験では、聴覚が優れたネコに合わせて (e.g., Bradshaw, 2013)、聴覚刺激を手掛かりとして用いた。その中でも、第2章では、物理法則に焦点を当てた検討を行った。一方、第3章では、生後の学習が必要な社会的文脈における表象操作の検討を行った。第4章では、ワーキングメモリ内の表象操作のみならず、長期記憶から表象を自発的に取り出せるのかを調べた。

第2章では、地球上における基本的な法則として、物理的法則に焦点をあて、物理法則に従った表象操作に関して、物理的 (第1節)・社会的 (第2節)刺激を用いて検討した。

まず第1節では、不透明な箱を振る動きと同期して生起する音から、ネコが物理的刺激から物体の有無 (Absent/Present)を推論することができるかどうかを調べた。実験1

では、不透明な箱の中に物体を入れ、その箱を左右に振る“物体条件”の他に、2つの統制条件を実施した。1つは、箱を振る動きは全く同一であるが、箱を振る動きとは無関係に箱内に固定されたスピーカーからホワイトノイズが再生される“ホワイトノイズ条件”、もう1つは箱を振る動きは全く同一であるが、音が生起しない“無音条件”だった。それぞれの条件を15秒ずつネコに呈示した。15秒の呈示の後、実験者はその箱を床に置いて下を向いた。箱を床に置いてから30秒間、ネコは自由に装置を探索することができた。もしネコが箱を振る動きと付随して生起する音から、物体の有無を推論することができれば、物体条件で最も長い注視が見られることが予測された。結果、ネコは予測通り物体条件で最も長い注視を行ったが、ホワイトノイズ条件との間に差は見られなかった。そのため、ネコが単に音に惹きつけられて箱を注視していた可能性を棄却できなかった。実験1の問題点として、物体条件の音とホワイトノイズ条件の音が同一なものでなく、刺激強度の統制の点で困難であったことが挙げられる。

実験2では、テスト条件と統制条件で全く同一の音声刺激を使用し、箱の振り方を変更することで、より詳細な検討を行った。実験1で用いた物体条件での“物体が箱側面に当たる音”を録音し、箱内に設置されたスピーカーからその音を再生した。その時、箱を振る動きを、物体が箱に当たる音と同期／非同期させた。テスト条件として、箱を振る動きと物体が箱の側面に当たる音が同期する“同期条件”を行った。統制条件として、箱から再生される音声刺激は全く同一であるが、箱を振る動きと箱の側面に当たる音と

が同期しない“非同期条件”を行った。また実験 1 と同様に、統制条件として、同期条件と全く同じ動きをするが、何も音が再生されない“無音条件”の計 3 つの条件を行った。もしネコが音と動きの関係性から物体の存在を推論できれば、物体の存在が示唆される同期条件で長い注視が見られることが予測された。結果、ネコは予測通り同期条件を、非同期条件や無音条件よりも長く注視した。しかし、乳児で報告されているように (e.g., Bahrick, & Licliter, 2004)、物体の存在を推論した結果長く箱を見たのではなく、音と何らかの運動が同期する事象に選好を持っていただけかもしれない。

実験 3 ではこの可能性を棄却するために、期待違反法を用いた実験を行った。ネコの前で不透明な箱を左右に振った後に箱をひっくり返した。箱を振る最中の音の有無と、ひっくり返した際の物体の落下の有無を操作し、全部で 4 条を行った。箱を振っている間に音が生起し／せず、ひっくり返したら物体が落ちてくる／落ちてこない、物理的法則と一致した 2 つの“一致条件”、残りの 2 条件は、箱を振っている間音はする／しないが、ひっくり返すと物体が落ちてくる／こない、物理的法則と一致しない“不一致条件”だった。もしネコが箱を振る動きと同期して生起する音から物体の有無を推論し、落下の有無を予測できれば、箱をひっくり返した後の注視時間は、物理的法則と不一致の 2 つの条件で長くなることが予測された。結果、ネコは予測通り、一致条件よりも不一致条件において箱を長く見ることが明らかになった。一連の実験から、ネコが箱を振る動きと同期して生起する音から、物体の存在を推論できる可能性が示唆された。これは、

ネコが物理的な刺激に対し、物理的法則に従った表象操作ができることを示す。

第2節では同じ物理的文脈であるが、刺激を社会的なものに変更し、刺激の種類を問わず物理的法則における表象操作ができるのかを調べた。具体的には、飼い主は同時に2か所に存在し得ないという物理法則を利用した表象操作ができるかを調べるために、スピーカーを2つ使用したプレイバック実験を行った。実験で使用する部屋にスピーカーを2台設置した（スピーカー1およびスピーカー2）。スピーカー1を被験体がいる部屋の扉のすぐ外、スピーカー2を部屋の中のもう一方の出口付近に設置した。実験は2つの段階から構成された。馴化段階では条件に関わらず、スピーカー1から飼い主が被験体の名前を呼ぶ声を2.5秒おきに5回再生した。馴化段階が終わり次第すぐにテスト段階を実施した。テスト段階では、スピーカー1かスピーカー2から、飼い主の声か未知人物の声を1度だけ再生した。それぞれの条件は、テスト段階で流される音声（飼い主の声／未知人物の声）とそれぞれのスピーカー（スピーカー1／スピーカー2）と対応する形で、4条件あった。テスト段階で、スピーカー2から飼い主の音声再生される条件は、“owner スピーカー2 条件”、スピーカー1から飼い主の音声再生される条件は“owner スピーカー1 条件”、スピーカー1から未知人物の音声再生される条件は“stranger スピーカー1 条件”、スピーカー2から未知人物の音声再生される条件は“stranger スピーカー2 条件”とした。馴化段階が終わるとすぐにテスト段階に入った。もしネコが飼い主の声からその存在を推論しているならば、テスト段階で馴化段階とは

異なるスピーカーから飼い主の声が再生される条件 (owner スピーカー2 条件)で、飼い主のいる位置を確認する行動や、驚愕反応が多くみられるはずである。結果、ネコは予測通り、owner スピーカー2 条件において、“まずスピーカー2 を見てから、スピーカー1 へ頭および耳を動かす行動 (確認行動)”を多く生起させた。この結果から、ネコが飼い主の声からその存在を推論し、物理法則とは一致しない、ありえない移動に対して確認行動を多く行った可能性が示唆された。ここから、ネコが物理的文脈の中で社会的刺激に対しても同様に表象の操作が可能であることを示唆するものである。これらの結果は、ネコは物理的刺激、社会的刺激の両タイプの刺激において、その法則に従った表象操作が可能であることを示唆する。

第3章では、生後の学習が必要な社会的な文脈において表象操作が可能であるのかを検討した。具体的には、複数の構成要素を利用したクロスモーダルな表象操作ができるのかを調べた。呈示する刺激間の関係性について、強い関連性のある場合 (第1節)、ない場合 (第2節)についてそれぞれ調べた。

第1節では、呈示する刺激間の強い関連性のある刺激として、飼い主の声と顔を刺激として扱った。生育環境による違いがあるのかを調べるために、被験体として、ネコカフェのネコと家庭のネコをそれぞれ分けて分析を行った。モニターの前にネコを保定し、飼い主/未知人物の声でネコを呼ぶ声を4回再生した後に、飼い主/未知人物の顔写真を呈示した。これらの組み合わせから、2つの“一致条件”、2つの“不一致条件”があっ

た。もしネコが飼い主の声から顔へ表象を操作することができれば、未知人物の写真が提示される不一致条件にて期待違反が生起し、モニターを長く注視することが予測される。また、カフェネコの方が、飼い主の声と顔のみならず、未知人物の声と顔の関連性をより経験していることから、家庭ネコと比べて、よりはっきりとした期待違反が見られると予測した。結果は予測を支持し、カフェネコは2つの不一致条件で、一致条件よりも長くモニターを見ることがわかった。一方家庭ネコはそのような期待違反は見られなかった。チンパンジーはヒトの顔を多くみている高齢個体ほど、ヒトの顔の弁別がよくできることが知られている (Dahl, Rasch, Tomonaga, & Adachi, 2013)。ヒトの顔を見る回数という観点から考えると、カフェネコは家庭ネコよりも遥かに多くのヒトの顔を見る経験をしている。見知らぬ人を見る機会が少ない家庭ネコは、複数のヒトの顔の弁別が苦手であった可能性が考えられる。これらの結果から、少なくともカフェネコにおいて、呈示する刺激間に強い関連性がある場合にクロスモーダルな表象操作ができることが示された。

第2節では、呈示する刺激間に強い関連性がない場合においても、クロスモーダルな表象操作ができるかどうかを調べた。そのような刺激として、被験体と同居する他個体(同居個体)の名前と顔を用い、同居個体の名前を再生したときに、その個体の顔へ表象を操作できるのかを調べた。実験の手続きは第1節とほとんど同じであったが、再生する音声は、同居個体 A および B の名前を飼い主が呼ぶ声である点、呈示する顔写真が

同居個体 A および B の顔写真である点が異なっていた。もしネコが同居個体の名前から、その個体の顔へ表象操作を行うことができれば、不一致条件で期待違反が起き、長い注視が見られるはずである。また、カフェネコは飼い主と同居していないことから、家庭ネコと比べて同居個体の名前と顔の関連を経験する回数が少ないため、期待違反量が小さいという予測を立てた。結果、家庭ネコは予測通り、不一致条件で一致条件よりもモニターに長く注意を向けた。一方カフェネコに関しては、予測された期待違反は見られなかった。ここから、このようなクロスモーダルな表象操作には、飼い主が同居個体の名前を呼び、それに応答する他個体の様子を観察する頻度が関連していると考えられる。この結果は、少なくとも家庭ネコにおいて、呈示する刺激間に強い関連性がない場合であってもクロスモーダルな表象操作ができることを示した。

2つの実験を通して、ネコが生後の経験が必要である場面で、呈示する刺激間の関連性の強度に関わらず、クロスモーダルな表象操作ができることを示した。また、物理的
法則に焦点を当てた第2章では、カフェネコおよび家庭ネコで行動の違いは見られなかったが、第3章においては、第1節ではカフェネコが、第2節では家庭ネコが不一致試
行において長い注視が見られ、期待違反を示した。このような点からも、本文脈における表象操作には、生後の経験が重要であることが伺える。

第4章では、ワーキングメモリ内での表象の操作ができるかどうかを扱った第2章
および第3章とは異なり、長期記憶から表象の取り出しができるのかどうかを検討し

た。長期記憶の中でも表象の能動的な取り出しが必要であると考えられるエピソード記憶に着目し実験を行った。また、より自発的で柔軟な行動を見るために、選択行動や探索行動を指標とした。

実験 1 では、ネコが偶発的に記録された出来事から“where”情報を後に取り出し、利用できるかを調べた。4つの餌皿を置き、全ての餌皿に報酬を置いた。実験は3つの段階から構成された。まず初めに Exposure phase では、ネコは飼い主に連れられ、用意された餌皿の中身を確認することができた。4つ中2つの餌皿からは報酬を食べることができたが、残りの2つの餌皿からは飼い主の妨害によって報酬を食べることができなかった。その後ネコは他の部屋に移され、15分間他の実験に参加した (Delay phase)。匂いの統制をするため、遅延時間中に餌皿を同一の新しいものに置き換えた。遅延時間終了後、ネコは再びその部屋へ入れられ、餌皿を自由に探索することができた (Test phase)。ネコがどの餌皿を先に選択し、どれくらい探索するのかを指標とした。連合学習による予測では、既に食べた餌皿を選択することが予測された。対照的に、もしネコが偶発的に記録された記憶を取り出し利用していれば、食べ残した餌皿を選択すると予測された。その結果、ネコが初めに向かった餌皿はランダムであったが、Exposure phase で食べ残した餌皿を長く探索した。このことから、ネコは偶発的に記録された記憶から、どこに食べ残したものがあるのかについて、つまり“where”情報を取り出せることが明らかになった。

実験2では、“where”情報に加えて、“what”情報を取り出せるかに関する検討を行った。実験1と同じセッティングであったが、報酬を入れる皿が2つになった点、残りの餌皿のうち1つには物体をいれ、もう1つの餌皿には何も入れなかった点が異なった。ネコは2つの報酬の入った餌皿のうち、1つのみ食べることを許された。もう片方の餌皿に関しては見ることはできたが、実験1と同様、飼い主の妨害により食べることはできなかった。15分後に、Test phaseを行った。その結果、ネコは食べ残した餌皿を初めに訪問し、長く探索することがわかった。つまりネコは“何が”、“どこに”あったのかを思い出し、それに応じた反応をとれることが分かった。このことから、偶発的に記録された記憶表象を後に取り出し、“where”情報のみならず“what”情報をも利用できることが明らかになった。第4章の結果により、ネコがワーキングメモリ内での表象操作のみならず、偶発的に記録された記憶からその表象を再び取り出し、適切に利用できることが明らかになった。

第5章ではこれまでの研究を総括し思考能力の進化に関して論じると共に、本研究の問題点と今後の展望を述べた。一連の研究により、ネコにおいて物理的な法則における表象操作や、社会的な文脈における表象操作を行うことができることが明らかになった。さらに、ワーキングメモリ内での表象操作のみならず、長期記憶からの表象の自発的な取り出しおよび利用もできることが分かった。これらの結果は、ネコが外部刺激から受けた1次表象を自在に操作していることを強く示すと共に、一度ワーキングメモリ外に

出た表象であっても、自発的に再び取り出すことができることをも示すものである。これらの結果は、今まで考えられていた以上に幅広い種で高次な思考能力が共有されている可能性を示す。