

京都大学	博士（文学）	氏名	高木 佐保
論文題目	表象操作能力の比較認知科学的検討		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>ヒトの卓越した思考・推理能力は、様々な問題に対処することを可能にする。この思考・推論能力の進化的起源に関して、ヒト以外の動物でも、道具使用、因果推論、推移的推論、排他的推論など様々な側面から実証的研究が進められてきた。しかしながら、いまだヒトの伴侶動物として生息するネコの思考・推理能力を体系的に扱った研究は行われていない。本論文は、思考・推論を「内的表象の操作過程」と位置づけ、これまで比較認知科学分野では扱われてこなかったネコを対象にした研究成果をまとめ、思考・推論能力の進化と今後なすべき研究について考察したものである。</p> <p>第1章では、ヒト以外の動物（以下、動物）を対象に行われてきた思考・推論研究を、「因果推論」、「推移的推論」、「排他的推論」の3つの側面に分けて概観し、そこに見られる問題点を以下の3点に整理した。1点目は、思考・推論の定義についてである。従来の思考・推論研究では、非言語的な思考が十分に定義されていないために、同じ思考・推論能力を扱いながらも、課題間での能力の比較検討が困難であった。そこで本論文では、藤田により2004年に公刊された論文の枠組みに準じ、思考・推論を「内的表象の操作過程」と位置づけることで、課題ごとに個別に議論されてきた思考・推論能力の比較検討を可能にした。2点目は、課題の不適切性である。ヒトの思考・推論能力との比較という観点から、先行研究の多くは視覚刺激を用い、抽象的な課題を動物に課す実験設定がなされていた。しかし、対象種の能力の進化・発達を解明するためには、その種の生活史に見合った具体的な場面と、適切なモダリティを用いた実験設定が不可欠であると考えられる。本論文では、当該種において具体的に適切な実験設定とモダリティを使用している。3点目は、研究対象とされてきた動物種に偏りがある点である。従来の研究対象は、主に霊長類、鳥類、齧歯類などに限定されていた。本論文では伴侶動物であるネコを対象に研究を行うことにより、対象種を拡大し、家畜化が思考能力に及ぼす影響を検討することを可能にした。</p> <p>第2章では、物理的刺激（第1節）と社会的刺激（第2節）を用いて物理法則を利用した表象操作が可能かを検討している。第1節では、不透明な箱を実験者が左右に振る動きと同期して生起する、物体の移動音を手がかりに、ネコが箱の中の物体の有無を推論することができるかを調べた。ネコは、実験者が不透明の箱を左右に振る際に、箱の動きと同期して物体の移動音が生じる条件（物体条件）と、箱の動きとは無関係に箱内に固定された小型スピーカーからホワイトノイズが生じる条件（ホワイトノイズ条件）、箱は振るが音が発生しない条件（無音条件）のいずれかを15秒間観察</p>			

した後、30秒間自由に装置を探索できた。もしネコが箱の動きと同期する移動音から物体の存在を推論し期待しているなら、物体条件において最も長く注視し、探索行動を行うことが予測される。結果、ネコは物体条件を最も長く注視した。ただし、統計的にはホワイトノイズ条件との間に有意な差はみられず、ネコが単に音にひきつけられて箱を長く注視した可能性は排除できなかった（実験1）。そこで、続く実験では、箱の中の小型スピーカーから箱の動きと同期して物体の移動音が再生される条件（同期条件）と、箱の動きと移動音が同期しない条件（非同期条件）、箱は振るが移動音は再生されない条件（無音条件）をネコに各15秒間観察させ、その後30秒間の探索時間を与えて実験を行った。結果、ネコは非同期、無音条件よりも同期条件で有意に長く箱を注視した。これはネコが箱の動きと移動音との関係から箱の中身を予測していることを示唆している。ただし、ヒトの乳児では、運動と音が同期する事象に対し強い選好を示すことが報告されており、ネコの反応にも同様の可能性が考えられる（実験2）。この可能性を排除するために、さらなる実験を行った。実験条件は、（1）箱を振った時に物体の移動音がし、その後ネコの前で箱をひっくり返すと中の物体が落下する条件（音あり・物体あり条件）、（2）音はするが物体が落下しない条件（音あり・物体なし条件）、（3）箱を振った時に移動音はないが、箱をひっくり返すと物体が落下する条件（音無し・物体あり条件）、（4）同じく移動音はないが、ひっくり返した時に物体は落下しない条件（音無し・物体無し条件）の4条件であった。結果、ネコは物理法則に従わない条件、つまり音がするのに物体が落下しない条件と、音がしないのに物体が落下する条件で、他の2条件（物理法則に従う条件）よりも有意に長く注視した（実験3）。これら一連の研究から、ネコが箱の動きと同期する移動音を手がかりに、箱の中にある物体の存在を予測することができることが示された。これは、ネコが物理的刺激に対して物理法則に従った表象操作ができることを示唆している。

第2章の第2節では、社会的刺激に対しても、ネコは物理法則に従った表象操作を行っているか否かを検討した。実験ではネコを部屋に残し、部屋の扉のすぐ外にスピーカー1を、室内の別の扉付近にスピーカー2を設置した。ネコの行動は、室内の複数のビデオカメラで記録した。実験は馴化段階とテスト段階の2段階から成る。馴化段階では、スピーカー1から飼い主がネコの名前を呼ぶ声を2.5秒おきに5回再生した。続くテスト段階では、（1）スピーカー1から馴化段階と同様に、飼い主がネコの名前を呼ぶ声が再生される条件（ownerスピーカー1条件）、（2）スピーカー1から未知人物がネコの名前を呼ぶ声が再生される条件（strangerスピーカー1条件）、（3）スピーカー2から飼い主がネコを呼ぶ声が再生される条件（ownerスピーカー2条件）、（4）スピーカー2から未知人物がネコを呼ぶ声が再生される条件（strangerスピーカー2条件）のいずれかが提示され、その直後15秒間のネコの反応を分析した。ネコが飼い主の声の発生場所から、飼い主の存在に関する表象を形成しているな

らば、物理的に離れた、いるはずのない場所から、飼い主の声が聞こえる条件（ownerスピーカー2条件）で、最も驚く行動を示すと予測される。結果、ネコはownerスピーカー2条件において、確認行動（スピーカー2を見てスピーカー1へ頭、及び耳を動かせる行動）を多く生起させた。仮説を知らないヒト評定者が、ネコがどれくらい驚いているかを主観評定した結果、ownerスピーカー2条件で最も驚いていると評定した。ただし、ownerスピーカー2条件とstrangerスピーカー2条件との間に有意な差は見られなかった。このため、馴化段階ではスピーカー1を使用し、テスト段階でスピーカー2を使用したことから、単なる物理的変化量の違いが反応の違いに影響した可能性も考えられる。しかし、少なくとも今回の結果は、ネコが社会的刺激を用いた場面でも、物理法則に従った表象操作を行うことができることを示唆している。

第3章では、生後の学習が必要な社会的文脈を利用し、刺激間の関連性が強い場合（第1節）と、関連性が弱い場合（第2節）において、視覚と聴覚をまたぐ（クロスモーダル）表象操作が可能であるかを検討している。第1節では、刺激間に強い関連性がある刺激として、飼い主の声と顔を使用した。生育環境の違いを検討するため、ネコカフェのネコ（カフェネコ）と家庭で飼育されているネコ（家庭ネコ）を対象とした。実験では、モニターの前でネコを保定し、飼い主、あるいは未知人物がネコの名前を呼ぶ声を4回再生した後、モニターに飼い主、あるいは未知人物の正面顔写真を7秒間提示し、ネコのモニターへの注視時間を調べた。結果、カフェネコでは、先行する声の主と顔が一致する条件よりも、不一致の条件において、モニターへの注視時間が有意に長くなった。一方、家庭ネコではこのような差は見られなかった。チンパンジーでは、ヒトの顔を見る経験が多い高齢個体ほどヒトの顔弁別がよくできることが知られている。複数のヒトの顔を見る経験量は、カフェネコの方が家庭ネコよりも遥かに多いと推測されることから、家庭ネコではカフェネコよりも、ヒトの顔の弁別能力が劣ることが考えられる。この結果は、飼育環境によっては、ネコが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の操作が可能であることを示している（実験1）。

第3章の第2節では、刺激間の関連性が弱い刺激として、同居個体の名前と顔を使用した実験を行った。実験は第1節と同様の設定であるが、提示する声に飼い主が同居個体の名前A、あるいはBの名前を呼ぶ声を提示し、モニター上に同居個体A、あるいはBの顔写真を提示して行った。もしネコが同居個体の名前からその個体の顔の表象を関連づけていれば、名前と顔が一致する条件よりも不一致の条件において、長い注視が生起するはずである。結果、家庭ネコでは、予測通り、同居個体の名前と顔が不一致の条件の方が、一致する条件よりも有意に長い注視が見られた。しかしながら、カフェネコではこのような違いは見られなかった。同居個体の名前と顔の表象操作には、飼い主が同居個体の名前を呼び、それに応答する同居個体の様子を観察する頻度が影響していることが考えられる。以上の結果は、ネコにもクロスモーダルな表

象操作が可能であることを示唆しているが、その成績は生育環境に応じて変わること
を示している（実験2）。

第4章では、ネコが長期記憶から表象の取り出しができるかどうかを検討している。
長期記憶の中でも特に、記憶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。実験1では、ネコが偶発的に記録された出
来事から、「どこに」（“Where”）の情報を取り出し、利用することができるかを調
べた。実験では、等間隔に報酬（おやつ）の入った4つの餌皿を並べ、ネコは飼い主
に連れられて、全ての餌皿を確認し、うち2つの餌皿からは報酬を食べることを許さ
れた。しかし、残り2つの餌皿については、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（Exposure phase）。その後、ネコは他の部屋に移され、約15分間、
他の調査に参加した（遅延時間、Delay phase）。その間に、実験者は匂いの手掛かり
を統制するために、4つの餌皿をすべて新しいものに置き換えた。遅延時間後、ネコ
は再びその部屋に入れられ、自由に餌皿を探索することを許された（Test phase）。
連合学習による予測では、報酬を得た経験のある餌皿を選択することが予測される
が、ネコはExposure phaseで食べ残した餌皿を長く探索した。この結果から、ネコは
偶発的に記録された記憶から、“where”情報を取り出し、利用できることがわかっ
た。

第4章の実験2では、“where”情報に加えて、“what”情報を取り出すことができ
るかを調べた。実験場面は、ほぼ実験1と同じであるが、4つ全ての餌皿に報酬を入
れるのではなく、報酬は2つの餌皿のみに入れ、残りはネコが興味を持たない物体を
入れるか、何も入れず空にした。ネコはExposure phaseにおいて4つの餌皿を訪問
し、2つの報酬が入った餌皿のうち1つのみ食べることが許されたが、もう1つは飼い
主の妨害によって食べることができなかった。実験1と同様に15分間のDelay phaseの
後、Test phaseでのネコの行動を分析した結果、ネコは食べ残した餌皿を最初に訪問
し、長く探索した。この結果は、ネコが偶発的に記録された記憶から、“where”のみ
ならず“what”情報を取り出し、利用できることを示している。

最終第5章では、これまでに紹介してきたネコにおける内的表象操作に関する研究
結果をまとめ、考察した。第2章では、刺激の特性に関わらず、物理法則に則った表
象操作が可能であることが明らかになった。第3章では、刺激間の関連性の強度に関
わらず、社会的な文脈におけるクロスモーダルな表象操作を行うことができることが
示された。ただし、それには生後の経験が影響することが示された。第4章では、ネ
コのワーキングメモリの範囲を超える場合においても、偶発的に記録された記憶か
ら、自発的に表象を取り出し、利用することができることがわかった。これら一連の
結果は、従来考えられていたよりも幅広い種において、複雑で柔軟な思考が存在する
可能性を示すものである。また、第3章において生育環境により、その成績に差が見
られたことから、ヒト以外の動物種の認知能力の研究において、種や生育環境に応じ

た課題設定が重要であることが示された。今後、表象間の関連性という観点から、認知的メタプロセス（メタ認知や心の理論など）の研究を行っていくことで、ヒトの内的表象の操作における進化的起源の解明に近づくとともに、ヒト以外の動物における柔軟な表象操作能力を発見することにもつながるだろう。

(論文審査の結果の要旨)

ヒトの卓越した思考能力は、日々生じる問題に、試行錯誤の危険を冒さず、適切な解決法を導き出すことを可能にする。思考には言語を介在しないものもあり、ヒトと同じ言語を持たない動物種も、思考することが多くの実証研究から明らかにされている。思考はいかに進化してきたのか。この問いに答えることは、ヒトとは何かを知る上で重要な問いである。本論文は、思考を「内的表象の操作過程」と位置づけ、伴侶動物であるネコを対象に、巧みな実験操作によって、ネコの内的表象操作の解明に取り組んだ意欲的研究である。ネコは身近な動物種でありながら、実験の困難さから、その認知機能はほぼ未解明である。本論文は、そのような未開の領域に対して、斬新な実験手法で接近し、比較認知科学研究の新たな地平を拓くものである。

論文は5章からなる。第1章では、動物における思考研究を概観した上で、思考・推論の定義の不十分さが課題間の比較検討を困難にしている点を指摘し、藤田により2004年に公刊された論文の枠組みに従い、思考・推論を「内的表象の操作過程」と位置づけることを提案している。またさらなる問題点として、これまで主に実験用の動物が対象種とされている点、および動物の生活史に即した課題設定がなされていない点を挙げ、ヒトと共に暮らすネコを対象とし、その生態に即した具体的な実験設定により、これらの問題に対処することを提案している。従来の思考研究は、動物が抽象度の高い課題に成功することができるか否かに焦点が当てられてきた。しかし、論者の発想はこれと対極をなすものであり、動物の思考研究にパラダイムシフトを起こすものである。

第2章から第4章までは実験報告である。第2章では、物理的刺激と社会的刺激を用いて、ネコが物理法則に従った表象操作を行うことができるかを検討した。第1節では、物理的刺激、すなわち実験者が不透明な箱を振る動きと同期して生じる物体の移動音を手がかりに、ネコが箱の中の物体の有無を推論するかどうかを調べた。仮説の検証を3つの実験により綿密に行った結果、箱を振る際に物体の移動音はするが、箱をひっくり返した時には物体が落下しないという場面と、移動音がしないのに物体が落下するという、物理的にはあり得ない場面において、ネコの注視時間が有意に長くなることを示した。第2節では、社会的刺激として飼い主の音声を利用した実験を行っている。離れた位置にある2つのスピーカーの一つから飼い主の声を再生した直後に、もう一つのスピーカーからも飼い主の声を再生すると、ネコは驚く反応を示した。飼い主の場所が瞬時に移動することは物理的にありえず、ネコの反応の差は物理的な関係を理解していることを示している。これらの実験は、簡明な方法で、ネコが物理法則に従った表象操作を行う可能性を示しており、論者の類まれなる発想力の豊かさを表しているといえよう。

第3章では、生後の学習が必要な社会的文脈において、視覚と聴覚をまたぐ表象操作が可能かどうかを検討した。第1節では、ネコが先行する声の主と、後発の顔写真

が不一致な場合、一致する場合よりも有意に長く顔写真を注視することを、ネコカフェのネコで示した。一方、家庭で飼育されているネコでは、この差はみられなかった。第2節では、同居する他のネコの名前を呼ぶ声と顔写真を刺激として、第1節と同様の手続きで実験を行った。結果、家庭ネコは同居ネコの名前と顔が不一致の場合に注視時間が長くなるのに対し、ネコカフェのネコではこの差は見られなかった。ネコカフェという日本独特の飼育環境を利用し、生育環境の違いによる表象操作の違いを明らかにした結果は斬新なものであり、世界に先駆けた研究として極めて高く評価できる。

第4章では、エピソード記憶に着目し、ネコが偶発的に記録された記憶を能動的に取り出し利用することができるかを検討した。高度に工夫された一連の実験から、ネコは1度の経験から「どこ」に「何」があるかを記憶し、必要に応じてその情報を取り出し、利用できることを明らかにした。本研究はネコのエピソード記憶の存在を解明した世界初の知見として極めて高く評価できる。

最終の第5章では、ネコにおける内的表象操作に関する上記の研究成果をまとめ、その進化と適応的意義を広範な視点から考察している。論者は、従来考えられていたよりも幅広い動物種においても、複雑で柔軟な思考が存在する可能性を提示している。そして、内的表象操作能力の進化における家畜化の影響や適応的意義の解明に向けて、さらなる動物種の拡大と複数の文脈による検討が必要であると指摘し、今後の研究方略を考察するとともに、ヒトの高度な思考に至る過程として、認知的メタプロセス（メタ認知や心の理論）の解明が必須であると提案している。これらは今後の思考研究を方向づける上で、大変重要な提案である。

比較認知科学分野において、扱いが難しいとされてきた対象種であるネコを、世界に先駆けて導入し、その内的表象操作能力を先行研究の流れに囚われることなく、具体的で簡明な実験操作で明らかにした本論文の意義は大きく、本研究分野を格段に発展させるものであり、高く評価できる。従来の思考研究と本研究で得られた知見を統合した上での考察がまだ幾分不十分ではあるが、本論文が起こしたパラダイムシフトは、それを補って余りあるものといえる。

以上、審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。平成30年1月30日、調査委員4名が論文内容とそれに関連した事柄について口頭試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当分の間、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。