

(論文内容の要旨)

思考能力の進化的起源については、ヒト以外の動物において問題解決、推移的推論、道具使用などの種々の側面から行動実験による研究がおこなわれてきたが、それらの行動をみちびく内的過程を分析的に明らかにしたものはいまだ少ない。論者は、思考能力を表象の操作、すなわち、外部世界の情報を感覚器官から入力して保持し（1次表象）、脳内で情報を変換することによってあらたな表象（高次表象）を内的に生成する過程と定義した。予見的な表象操作の1つと位置づけられるプランニングは、みずからの将来における行動について内的に方策を立案する過程をさし、ヒトのみならず、ヒト以外の動物種にとっても、生息環境に適応するために有益な能力であると考えられる。ヒト以外の動物におけるプランニング能力については、近年多くの霊長類において行動科学のおよび神経生理学的証拠がえられている。ヒトから系統的により遠い鳥類では、一部のカラス科の種における種特異的と思われる行動を利用した証拠をのぞき、プランニング能力の知見は少ない。より一般的な課題状況を用い、多様な動物種を対象とした比較研究を通して、プランニング能力の進化的起源に影響をおよぼした系統発生的および生態学的要因を特定できると考えられる。

実験1（第2章）では、ハトにコンピュータ画面上で迷路課題を解かせる研究手法を確立するとともに、ハトが課題を解き始める前に解決方略をプランニングするかを予備的に検討した。はじめにハト4個体に、コンピュータ画面上で赤色正方形を別の青色正方形の位置までつつき反応によって運ばせる、空間移動課題を学習させた。標的の上下左右に出された白色小点をつつくことによって、つついた小点の方向に標的が60 pixels ずつアニメーションを描いて移動した。全個体がこの課題を学習した。次に、標的の最初の位置と目標との間に、標的の進行を妨害する壁に見立てた棒がある迷路を課した。標的が棒の隣の位置に来たときには、棒を越えては白色小点が出ず、ハトは回り道をする必要があった。「事前呈示あり」条件では、

課題全体が淡い色で事前に5-6秒間呈示されたが、「事前呈示なし」条件では、課題が事前に呈示されなかった。ハトは、迷路が複雑になるにつれて近道の経路をより高い割合で選択するようになったが、新奇な迷路を課した際に「事前呈示あり」条件のほうが課題を早く正確に解けるという結果はえられなかった。そこで、すでに学習された課題を用いて、事前呈示の課題と実際に解く課題が「壁」の位置に関して同じである条件（「同一課題」条件）と違っている条件（「課題変化」条件）とで、課題の遂行を比較した。その結果、「課題変化」条件では、「同一課題」条件にくらべて課題解決に要する時間がやや長かった。刺激の変化量を統制したその後のテストでは、課題の変化によって解決方略が変化する条件で、課題は変化するが解決方略は同じである条件にくらべて、課題の遂行成績がやや悪い傾向がみられた。これらの結果は、ハトが少なくとも「既知の解法から1つを選択する」という水準で、課題解決の事前プランニングをしていた可能性を示唆している。

実験2（第3章）では、実験1と同じハト3個体において、新たな迷路をもちい、ハトが課題の遂行中および遂行開始前に、先の1～数手をプランニングしているか検討した。実験2-1では、十字形迷路の腕の先端に標的と目標が置かれた。標的が中央にきたときに目標が別の腕の先に移動した「目標変化」条件では、ハトは標的を前の目標の向きに動かす誤反応を頻繁に示した。これは、ハトが課題の遂行中に次を取る1手の向きをプランニングしていることを示している。また、変化後の目標に正しく反応した試行では、他の試行にくらべて反応時間が長かった。これは、プランの内容を修正できた試行もあったことを示している。さらに、すでに学習された標的-目標の位置の組み合わせについては、中央より手前で目標の位置が変化した試行でも前の目標への誤反応がみられ、ハトが2手以上先をプランニングしている可能性も示唆された。実験2-2では、標的が中央から出発し、十字形の腕の各先端がT字形に枝分かれした迷路（“手裏剣型迷路”）において、事前呈示のあとで目標の位置が別の腕に突然変化する条件をもうけた。ハトは第1反応で前の目標の向きへの誤反応を頻繁に示し、正しく反応した試行では他の試行より反応時間が長かった。すなわち、ハトは課題の遂行開始前に次の移動の向きをプランニングし

ていると考えられる。総合して、ハトは迷路課題の解決途中および解決開始前の両方において、先の手をプランニングしていると考えられる。

実験3（第4章）では、ハトが実験2で示された短期的なプランニングだけでなく、より長期的な解決方略のプランニングをもしているか検討するため、複数の目標をもうけた空間移動課題による巡回セールスマン問題（traveling salesperson problem : TSP）における経路選択方略を検討した。2個の目標を設けた課題では、ハトははじめに近い方の目標を選ぶ経路を有意に選好した。3個の目標と標的の開始位置がそれぞれ四角形の頂点をなすように配置された課題では、反時計回りまたは時計回りに順に回る経路選択が顕著にみられた。3個の目標が同一直線上に配置された課題では、ハトは最も近い中央の目標を最初の目標として選好した。3個の目標のうち2個が近接した群を形成した課題では、ハトは群をはじめに選好した。これらから、ハトは各課題に応じた経路選択方略によって効率的に課題を解いており、課題状況に応じて柔軟に経路を選択している可能性が示唆される。

実験4（第5章）では、ハトに用いたものと同様の迷路課題を、ヒト幼児に課した。系統位置や発達段階におおきな隔たりのある2種間での比較研究であり、プランニングの内的アルゴリズムが広範囲の種に共有されているかどうか検討できる。迷路課題では、標的と目標にはそれぞれ犬と骨の絵を用い、幼児はコンピュータのタッチモニター上で犬の絵の上下左右に出た矢印を指で触ることにより、犬を60 pixels ずつ移動させた。教示は、「犬さんがお腹をすかしているから、骨のところに連れて行ってあげてね」のようにおこなった。実験4-1では、実験1同様の鍵形の壁に見立てた棒がある迷路を課した。幼児は課題を遂行することができ、またハトと同様に有意に近道の経路を選択した。実験4-2では、実験2同様の十字形迷路を課した。幼児は、迷路中央での移動の向きおよび反応時間について、ハトと類似した結果を示した。また、4歳児の方が3歳児よりも目標の変化後に正しく移動方向を調整した割合が高かった。以上の結果は、3歳から4歳にかけての抑制制御能力の発達と矛盾しないものであり、系統位置や発達段階の異なる幅広い種間で、問題解決における内的過程が共有されている可能性をも示唆している。

実験5（第6章）では、kea（和名：ミヤマオウム）における問題解決開始前のプランニング能力の検討を、人工果実課題（鍵開け課題）を用いておこなった。Keaはニュージーランド南島の南アルプス山脈のみに生息する固有種のオウムで、多様で固執的な物体操作や強い新奇対象選好といった特徴的な行動傾向を持つ。こうした特徴が表象操作能力におよぼす影響について示唆を与えると同時に、プランニング能力のこれまで以上に多様な種比較に貢献する研究と位置づけられる。60 cm 四方×高さ 10 cm の木製箱の上面中央に、18 cm 四方の透明アクリル製のふたがあり、開けることで中の報酬がえられた。ふたの周囲に、棒を引き抜くことで取り外せる同一の鍵を複数個設置できた。初期段階のテストでは、鍵の1つはふたを覆っており、取り外す必要があったが、他の1-2個の鍵は操作の必要がなかった。鍵の上に透明（「事前呈示あり」）または黒色不透明（「事前呈示なし」）の小アクリル板が置かれ、keaは課題遂行前にこれを取り除く必要があった。Keaは操作を必要とする鍵を最初に選択して課題を解いたが、反応の位置偏好が見られたテストもあり、「事前呈示あり」条件で課題成績が高いという結果はえられなかった。2段階の鍵の操作が必要な状況を導入したその後のテストでは、最初に不適切な反応をした後で行動を修正する時間が「事前呈示あり」条件で有意に短かった。これは、keaが探索的で固執的な対象操作をしながらも、事前に解決方略を潜在的にプランニングしていた可能性を示唆している。この結果は、捕食圧が低く食物資源の乏しい野生環境下で試行錯誤的に採食をするkeaの生態と、多様な種に共通するプランニング能力に対する選択圧とが共に作用した結果と解釈できるように思われる。

一連の研究により、ヒトから系統的に離れたハトがプランニング能力を持つことが示された。またヒト幼児における研究から、この能力は、系統や発達段階の異なる広範囲な種に共有されている可能性が示唆された。さらに、keaにおける研究から、プランニング能力の発現のしかたは固有の生息環境に影響される可能性が示唆された。一連の研究結果は、鳥類を含む広範囲な種で一定水準以上のプランニング能力が共有されている可能性を示すものであるとともに、この能力には生息環境の要因による制約が存在する可能性をも示唆するものである。神経解剖学的には、鳥

類は原始爬虫類の脳をそのまま進化させる形で現在の神経系を形成しており、新皮質がないなど霊長類を含む哺乳類とは大きく異なる脳構造を持っている。だが筆者の研究結果は、カラスのような限られた種だけではなく、多様な鳥類がある水準以上のプランニング能力を持つことを示唆している。これは多くの鳥類種が、哺乳類とは異なる脳構造によって哺乳類に匹敵しうる思考を実現している可能性を示唆するものであろう。脳構造の進化史が異なっているにもかかわらず、鳥類と哺乳類の間で同等とも思える思考能力が進化したことは、環境がもつ思考能力に対する共通の選択圧の強さを物語るものかもしれない。今後、思考のメタ認知などより進んだ問題意識も持ち、系統や生態の異なるさらに多様な種間での比較をおこなうことで、思考や意識の進化についてのより洗練された描像が浮かび上がってくることが期待できる。

氏 名	みや たく ひろ みつ 宮 田 裕 光
-----	------------------------

(論文審査の結果の要旨)

思考はヒトにおいて高度に発達した知的能力であり、それは我々が毎日のように出くわすさまざまな問題場面において、試行錯誤の無駄や不適切で危険な行動を回避するのに役立っている。ヒトの思考は言語によって媒介されていることも多いが、言語が介在しない思考は、囲碁や将棋、作曲、美術、スポーツなど、至るところに存在する。こうした非言語的思考は、発達した神経系を持つ動物種にとってヒト同様に適応的な意義を持つはずである。

ヒト以外の動物はいかに思考するのだろうか。思考はいかに進化したのだろうか。これらは、ヒトとは何かを知る上で、この上なく重要な問いである。本論文は、この本質的な問いに、行動実験による実証的な回答を与えようとした試みである。

第1章において論者はまず、思考を、外部から与えられた情報によって作られた一次表象を内的に変換し、最終的行動出力の手がかりとなる高次表象へと作り替える過程、と定義する。これは非言語的な定義であり、これにより多様な動物種の思考過程の比較研究が可能になる。動物を用いた過去の思考研究を概観すると、課題を解決する前の行動の詳細な検討が不足している。また哺乳類とならび高度な認知機能を示す鳥類では、そのほとんどは貯食などの特殊能力を利用したカラス科の研究である。このことから論者は、より一般的な鳥類の思考過程、なかんずく問題解決前の事前プランニングの分析が急務であると指摘する。これは正鵠を射た指摘であるが、未だその手法は掌中にない。そこで論者は独自の手法を考案し、この難題を見事に打ち破っていくのである。

第2章の2実験で論者は、ハトを用いてそのための新たな課題を開発する。場面はコンピュータ迷路である。ハトに、図形の周辺部をつついてそれを目標まで移動させることを訓練した後、課題解決開始を許可する前に短時間迷路を提示することが課題遂行を促進するか否かを調べ、事前プランニングを検討した。これは斬新な手続きであり、論者の自由な発想と豊かな創造性を示して余りあるものである。こ

れにより、ハトは少なくとも既知の解決法を選択するというレベルでは、事前の行動のプランニングをおこなうことが初めて示された。第3章の2実験では、これを改良した課題で、事前提示後、あるいは課題遂行中に、目標の位置を突然変えようと、ハトはもとの目標位置に向けて図形を動かすエラーを多く犯し、ハトは少なくとも「次の1手」を計画していることが示された。これらは、一般的認知課題において鳥類が行動計画を立てていることを世界で初めて明らかにしたものであり、比較認知研究における大きな前進として極めて高く評価できる。

第4章の4実験では、同じ課題を用いて、ハトに巡回セールスマン課題を解かせた。これは複数の目標地点を順次効率よく回る課題である。その結果、ハトは最も効率の良い経路を取るわけではないものの、1つの解法に固執することなく、目標の配置により、柔軟に効率の良い経路を選択することが分かった。こうしたハトの思考の柔軟性を明瞭に示したことも重要な成果である。

第5章の2実験では、3－4歳児にハトと同じ課題をさせ、直接的な比較を試みた。その結果、幼児の行動はハトのそれと酷似していた。これは事前プランニングに関わる思考の様式が系統的に離れた動物種で共通している可能性を示唆する事実であり、極めて興味深い。

第6章では、ニュージーランド産のオウムの1種、キア（ミヤマオウム）を対象に、カギを外してフタを開ける問題箱を用いて事前プランニングの可能性を4実験により調べている。その結果、この種では、問題の事前提示の効果が、間違った行動をとったあとの行動修正過程で見られ、潜在的に事前プランニングをおこなっている可能性を示した。これはこの鳥の強い試行錯誤傾向の背後に隠されたプランニング能力を明らかにしたものとして極めて重要な新知見といえる。

第7章は総合考察に充てられている。複数の鳥類で事前プランニングが見られたことは、それが広い動物種に共有された認知活動であることを示唆している。また、脳構造の全く異なる鳥類とヒト幼児でこの思考過程が類似していたことは、それが共通の選択圧のもとで古くから進化してきたものである可能性が高いことを示している。また、今後の課題として、思考過程のメタ認知が、柔軟な思考の実際的適用

を考える上で重要であることを指摘している。

独自の課題を用いて、事前プランニングという思考の1側面に関する詳細な分析を加え、数々の新知見を導き出したことは、比較認知研究における大きな前進である。とりわけこれまで研究の乏しかった鳥類において、種特異的行動を用いない一般的認知課題でこれが可能であることを示したことは、動物の思考研究の歴史に新たなページを追加した研究として、極めて高く評価できる。

本論文は極めて高質なものであるが、やや不十分な点としては、統計的分析がやや恣意的に思われる場合があること、本実験で扱われた短期的なプランニングと夏休みの計画を立てるといった長期的なプランニングの関係が十分に論じられていないこと、日常場面では最終目標が見えない状況で計画立案をすることが多いと思われるのに対し、本研究では目標が多くの場合見えていること、またその影響が論じられていないこと、単純な連合学習との差別化について論議が不十分なこと、等が挙げられる。しかし、本研究が提示した多くの新知見と新たな研究の地平は、これらを補って十分に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。2009年2月16日、調査委員3名が本論文とそれに関連したことがらについて口頭試問をおこなった結果、合格と認めた。