

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 氏 名         | たか はし まこと<br>高 橋 真      |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (文 学)               |
| 学 位 記 番 号   | 文 博 第 397 号             |
| 学位授与の日付     | 平 成 19 年 3 月 23 日       |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当 |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 文 学 研 究 科 行 動 文 化 学 専 攻 |
| 学 位 論 文 題 目 | 生態学的推論進化モデルの構築          |

|        |                      |             |             |
|--------|----------------------|-------------|-------------|
| 論文調査委員 | (主 査)<br>教 授 藤 田 和 生 | 助教授 板 倉 昭 二 | 助教授 友 永 雅 己 |
|--------|----------------------|-------------|-------------|

## 論 文 内 容 の 要 旨

ヒトは論理学や数学のような抽象度の高い推論を行うことができる。従来の動物の推論研究は、ヒト以外の動物もそのような推論能力を持つかどうかに焦点を当ててきた。しかし、ヒトを含め動物の生活場面では、こうした抽象度の高い推論は必ずしも要求されない。不要な能力の維持には無駄なコストがかかる。抽象度の高い推論能力ではなく、当該種にとって必要な場面に固有の推論能力を進化させた方が、維持コストは少なくすることができるはずである。この可能性は、ヒトよりも単純な神経系を持つ種で明確に示されるであろう。すなわち、社会的な要求の高い種は社会的領域に固有の推論能力を、物理的要求の高い種は物理的領域に固有の推論能力を進化させていったと考えることができる。実際、ヒトの推論でさえも、領域自由ではなく、特定の場面で領域固有的に働く場合があることが示されている。以上のことから、推論の進化が種の生態に適合するように生じたとする進化モデル（生態学的推論進化モデル）を構築した（第1章）。

生態学的推論進化モデルでは、推論に振り分けることのできる認知的な資源が制限されており、当該種の生態の要求のバランスによって、その制約内で特定の領域が占める割合が決定される。すなわち、物理的要求と社会的要求のどちらが高いかにより、資源内での両領域の仕切り位置が変動するのである。また、このモデルにおいて、事象を抽象化して扱う論理的推論能力は、社会的要求と物理的要求両方が制約内に収まりきらないとき、2つの領域の相互作用で生じる。こうして進化した推論は、領域固有的だが、それは固定的なモジュールではなく、個体が生活する環境の突発的な変動に対応できるように、ある程度の自由度を持ち、経験や文化のような至近的な要因で変動する（1-4）。

このモデルを検証するには、生態と系統の異なる様々な種を、様々な領域の推論課題で比較する必要がある。推論が必要とされる領域は、大別すると社会的領域と物理的領域に分けることができる。これらの領域は完全に排他的なわけではない。2つの領域が重なり合うとき、当該種の生態により、有効に働く手がかり文脈の領域が異なることを、生態学的推論進化モデルは予測する。本研究では、生態学的推論進化モデルを検証するために、抽象的な文脈と具体的な文脈の推論を系統と生態の異なる様々な種で比較した。

第2章は、抽象的な文脈の推論であり、これまでの動物の推論研究の主要な課題であった推移的推論能力に関する種比較を行った。“AならばBである。BならばCである。∴AならばCである”という推論は、基本的論理の1つである推移律である。特に、“一郎は次郎より強い（ $A > B$ ）、次郎は三郎より強い（ $B > C$ ）、∴一郎は三郎より強い（ $A > C$ ）”という非等価な推移的關係に基づいた推論は、推移的推論（Transitive inference）と呼ばれている。動物の推論研究は、ほとんどがこの推移的推論を調べてきた。動物を対象にした典型的な推移的推論課題では、任意の刺激  $A \sim E$  を用いた、 $A+B-$ （+は報酬，-は無報酬を示す）、 $B+C-$ ， $C+D-$ ， $D+E-$ の5項目4対からなる弁別課題を動物に訓練した後、訓練では対にされなかったBとDを対提示してテストを行う。この時、動物がBを選択すると、それは推移的反応とされ、推移的推論と同等のものであると考えられてきた。この課題を用いて多くの種の推移的推論が研究されてきたが、十分に検討されていない点が3つある。まず、感覚様相の一般性である。例えば、ラットのように視覚刺激と嗅覚刺激で認知課題の成績

が大きく変わる種もいる。にもかかわらず、推移的推論課題で用いられる弁別刺激はラットなら嗅覚、霊長類や鳥類ならば視覚というふうに固定されている。そこで、ラットの推移的反応における感覚様相の一般性を、視覚刺激を用いた推移的推論課題で検討した。その結果、ラットは視覚刺激を用いてもこの課題を解決した(2-1)。

推移的推論課題で検討されていない第2の点は、推論課題としての妥当性である。伝統的な推移的推論課題において、動物が、 $A+B-$ の弁別を“AはBよりも良い( $A>B$ )”という推移的關係として解釈していたのならば、推移的反応は推移的推論と同じであるが、“Aは報酬、Bは無報酬”という名義的關係として解釈していたのならば、ヒトの推移的推論とは異なる。また、伝統的な推移的推論課題は、報酬—無報酬の強化経験により生じる連合強度の差でも機械的に説明できるため、前提だけで結論を導き出すヒトの推論とは異なる可能性がある。推移的推論で検討しなければならない第3の点は、推移的推論の進化的要因である。これまでの研究から、推移的推論の進化には、社会性に関わるという説と空間認識に関わるという説が提唱されている。これまでの研究の対象が社会性の高い種がほとんどであったため、これらの要因がどのように推移的推論の進化に関わっているかが不明確であった。推移的推論の進化の過程を知るには、社会性の低い種での検討も必要である。

そこで、推移的推論課題の問題を修正した課題を考案し、社会性の低いツパイと社会性の高いラットを比較した。系統的には、ツパイはラットよりもヒトに近い。修正推移的推論課題は、以下のようなものであった。まず、端から順番にAからHとラベル付けをした半円状の8枝放射状迷路を用い、通常の推移的推論課題と同様に、 $A+B-$ 、 $B+C-$ 、 $C+D-$ 、 $D+E-$ の5項目4対の弁別課題を訓練した。この訓練課題は強化随伴性ととともに、位置に関する推移的關係が解決の手がかりになっていた。この訓練の終了後、訓練されておらず、隣接もしていないFとHを提示したとき、動物が推移的反応を示すかどうかをテストした。このような修正を加えることで、推移的推論課題をより妥当なものにした。その結果、両種ともに課題を解決できたが、ツパイのほうがラットよりも課題の成績が良い可能性が示された(2-2)。これらの結果から、社会性よりも空間認識に関わる要因が、これら2種の推移的推論の進化に大きく関わっている可能性が示された(2-3)。

推論が領域固有的に進化したのであれば、その効果は、抽象的な文脈よりも具体的な文脈でより明確に現れるはずである。特に、社会的文脈の推論能力を検討することは、重要な意味を持つ。社会的知性仮説は、社会的領域の複雑性に対処できるように知性が進化したとしているが、推論においても社会の複雑さがその進化をもたらしたのであれば、それに直結する社会的文脈こそが最も推論能力が発揮される文脈と言えるであろう。しかし、こうした可能性を実証的に示した研究は少ない。第3章では、社会性と系統の異なる様々な種を、社会的文脈の排他推論課題を用いて比較した。社会的文脈の推論課題は以下のようなものであった。ある個体が現在いる場所からは直接見えない場所に2箇所の餌場があり、そこには1日に1つしか餌がないことをその個体が知っている。その個体が餌場に行く前に、別の個体が一方の餌場に向かうのをその個体が見る。このとき、その行動を見ていた個体がどちらの餌場を選択するかを調べた(実験条件)。もしも、この個体が直接見ていない他個体の行動とその結果を推論し、それに基づく排他推論を行うならば、他個体が向かっていない餌場を選択するであろう。ただし、この場面だけでは、他個体と異なる餌場の選択が推論の結果なのか、同種他個体を避けるという単純な行動傾向に従っただけなのかを区別できない。そこで、統制条件として、餌場の餌が常に補充される餌場で同じテストを行った。この場合、他個体の行動の結果が2つの餌場に価値の差をもたらさないため、当該個体は自身がつ単純な行動傾向に従うと予測できる。この課題を用いて、フサオマキザル、ツパイ、ラット、ハムスターの成績を比較した。その結果、社会性の高いフサオマキザルは、統制条件では他個体と同じ餌場を選択する傾向が強いが、実験条件では他個体の選択していない餌場に行くことを示した(3-1)。社会性は低いが系統発生学的位置は霊長類に近いツパイは、実験条件、統制条件ともに、2つの餌場を同じ頻度で選択していた(3-2)。社会性は高いが系統発生学的位置が霊長類から遠いラットは、どちらの条件でも他個体と同じ餌場を選択していた(3-3)。社会性が低く、系統発生学的位置も霊長類から遠いハムスターは、近縁種であるラットの行動よりも、社会性において類似したツパイと同様の行動傾向を示した(3-4)。これらの結果は、社会性と系統発生学的位置の両方でヒトに近いことが、この文脈の推論能力の進化に必要であることを示唆した。また、統制条件の結果は、社会性の高いフサオマキザルやラットは同種他個体に対して注意を払うが、社会性の低いツパイやハムスターは同種他個体の行動に関心であることを示唆した。単独生活をするツパイやハムスターにとって他個体に対する注意を維持する必要性は少ないが、集団で生活するラットにとって他個体の行動は重要なものである。このような社会的環境の違い

が推論と他者に対する行動の種差をもたらしたかもしれない(3-5)。

推論が領域固有的に進化するのであれば、同じ構造の課題であっても文脈により成績が異なるであろう。ヒトの推論研究ではこの可能性が示されているが、動物の推論研究において、推論課題の文脈効果を調べた研究はほとんどない。そこで、第4章では、放飼場で飼育されているニホンザルの排他推論の成績が社会的文脈と非社会的文脈で異なるかどうかを検討した。非社会的文脈の推論課題は、以下のような場面であった。被験体のサルは、2つの容器のどちらかに餌が入っているのを知っているが、どちらかは分からない。このとき、サルはどちらか一方の容器の内容を見せられた。ニホンザルが排他推論を行うことができるならば、餌の入っていない容器を見せられても餌の入っている容器を選択できるはずである。社会的文脈の推論課題では、ニホンザルは、2つの容器の両方に餌が入っているのを知っている状態で、一方の容器の餌を別の個体が持っていく場面を見せられた。このとき排他推論ができるのであれば、他個体を選択した容器とは異なる容器を選択するはずである。これら2つの課題を行った結果、ニホンザルは非社会的文脈でも社会的文脈でも推論課題を解決することができた。さらに、この2つの文脈の推論課題の成績に明白な差はなかった。この結果は、これらの文脈のニホンザルの推論能力に質的な差がないことを示唆した。文脈の効果と合わせて、第4章では推論能力の個体差に関わる要因も調べた。推論課題の成績の個体差に、年齢や社会的な順位、所属する集団といった要因が関わっているかどうかを分析した結果、非社会的文脈において、上述の要因は推論の個体差を説明できなかった。しかし、社会的文脈における推論の成績は、放飼集団によって異なることが明らかになった。この結果は、近年の文化心理学が示すように、動物においても、生育歴ないしは文化という間接的要因が認知能力の性質に影響を与える可能性を示唆した。

第5章では、これまでの動物の推論研究、および、本研究の結果を総合して生態学的推論進化モデルの妥当性を検討した。その結果、推移的推論のような抽象的な文脈はその種の生態により異なる筋道で進化するという点、霊長類のような物理的要求も社会的要求も高い種はどちらの文脈でも優れた推論能力を示すという点で、生態学的推論進化モデルの妥当性が示された。(5-1)。しかし、本研究の結果だけで生態学的推論進化モデルの妥当性を完全に検証できたわけではない。より広範な推論課題と動物種での検討が必要である。

## 論文審査の結果の要旨

行動の直接的な手がかりが存在しない時、推論により、間接的な手がかりからそれを導き出すことができれば、動物は格段に適応度を高めることができる。例えば他の群れが向かった餌場で生じる出来事とその結果を推論できれば、無駄な競合を避けて別の餌場に向かうことができる。推論は重要な認知活動の1つである。

ヒトは推論を極限まで発展させ、論理学や数学を作り上げた。これらはおそらく他の動物種には到達できない高みであろう。しかし、ヒト以外の動物の推論能力に関しては十分な体系的研究がなく、推論がいかに進化したのかは謎に包まれたままである。本論文は、多様な種の比較から、推論の進化の過程とそれに及ぼす要因を明らかにしようとした野心作である。

論文は5章から成る。第1章で論者は、「生態学的推論進化モデル」を提示する。このモデルでは、その種が利用可能な認知資源のうち、推論に利用できるものは限られると仮定する。推論は重要度が高い機能なので、複雑な社会を作り高い社会的技能が求められる種では、社会的領域や社会的文脈における推論にその資源が利用され、時空間的に不安定な食物資源の利用など、高い物理的技能が求められる種では物理的領域や物理的文脈における推論にそれが利用されると考える。抽象的な推論は、両領域の要求が過大になり、認知資源が不足した時に、両領域の相互作用により兼用のシステムとして発達する。大きくくりなモデルではあるが、推論の性質の多様性を、生態学的視点から予測する点で、価値の高いものといえる。

第2～4章では、ヒトからの系統的距離と社会性の異なる動物種を対象に、種々の推論課題の遂行成績を実験的に比較し、上記モデルの検証を試みている。

第2章では、抽象的な推論として、推移的推論が取り上げられる。これは  $A > B$ ,  $B > C$  といった順序関係を持った前提から、 $A > C$  を導き出す推論である。従来種々の動物がこれをおこなえると言われてきたが、実は手続き上の不備があり、ヒト以外の動物にこれが可能か否か、結論が得られていない。論者はこの課題を空間迷路に移し替え、ツパイとラットがこれに成功することを示した。独自の課題で、複数種の動物が推移的推論を実行できることを示した意義は大きい。成績は、ツパイがラットを上回った。抽象的課題とはいえ、この推論は空間という物理的領域に関わるものである。ツパイの樹上生

活からの物理的要求が正の効果を持ち、他方ラットの高い社会性は正の効果を持たないことも示された。これらは生態学的推論進化モデルを支持する結果である。

第3章では、社会的文脈において、「他者の訪問後はエサがない」という排他推論が可能か否かをフサオマキザル、ツパイ、ラット、ハムスターで比較した。その結果、ヒトに系統的に近くかつ社会性の高いフサオマキザルはこの推論に成功することが示された。独自の課題でフサオマキザルにこうした推論が可能であることを示した意義は大きい。他方、単独生活者のツパイとハムスターでは、他個体の行動はまったく手がかりとして機能しなかったのに対し、ヒトから遠いが社会性の高いラットでは、先行した他者に同調するという行動が見られた。この同調行動は、社会性が場合によっては推論を阻害することもあることを示す発見であり、推論の進化を考える上で重要な事実であるといえる。

第4章では、放飼場のニホンザルを対象に、物理的手がかりによる排他推論と社会的手がかりに基づくそれとの比較をおこなっている。サルは、いずれの場面でも、エサがない、あるいはそう推理される餌場を避け、逆の餌場に行くことが示された。準野外場面で、明瞭な推論能力を例証したことは高く評価すべき成果である。ニホンザルは系統的にヒトに近く、豊かな認知資源を持ち、季節性食物を採食し、かつ高度な社会性をも持つ。論者のモデルからも予想される通りの結果であった。

第5章では、実験事実をまとめ、生態学的推論進化モデルの妥当性を検討している。第2章と第4章の実験結果はこれを支持するものであった。しかし第3章では、逆に社会性が社会的文脈の推論を阻害する可能性も示された。したがって、より広い多様な生態を持つ種を用いた比較が、将来の課題として残されている。

独自の視点を持つモデルに基づいて、その検証を着実にこなおうとした論者の研究姿勢は賞賛されるべきものである。また、多様な系統群にまたがる動物種で、直接比較可能な実験を数多くおこない、種々の興味深い新発見を成し遂げた点でも、論者の研究は高く評価できよう。

その一方で、物足りなさを感じる点もあった。実験は確かに物理的文脈と社会的文脈とでおこなわれているが、推論の対象はすべて食物の存在に関する物理的な内容に過ぎない点である。少なくともヒトは、他者の行動や心的内容についても推論をおこなう。こうした真の意味での社会的推論はいかに進化したのかが、本研究からはわからない。しかし、もちろんこれは今後の研究の発展の中で取り組まれるべき課題であり、本論文の価値を損なう瑕疵ではない。

その他、文脈、領域、社会的、物理的などという概念の切り分けに、若干の混乱が見られたことは残念であるし、ツパイとラットでは抽象的推論ができるのに、社会的文脈における排他推論ができない、というモデルに合わない事実をどう解釈するかと言った問題に回答が出されていない点にも、やや不十分な点が認められる。しかし、これらも本論文全体から見れば小さな問題であり、今後のさらなる実験的検証の中で解決されていくものと期待される。

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。2007年2月20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。