

第2章 動物の心に関する研究

- 2.1 動物研究の意義
- 2.2 古典的条件付けに関する研究
- 2.3 オペラント条件付けに関する研究
- 2.4 脳神経科学における動物研究

2.1 動物研究の歴史と意義

1章にて述べたとおり、本研究は、ラットとロボットによるインタラクション実験によって、人間とロボットの相互適応のための基礎理論の導出を目的としている。筆者がなぜヒトではなくラットを研究対象としたのかについては前章に簡単に述べたが、2章ではその論拠と筆者の視点を明確にするために動物研究の意義と、これまでに動物研究によってもたらされた成果について述べる。また、本研究では動物心理学的視点と手法の導入を積極的に進めており、本章では動物心理学的視点とはどのようなものかについても説明する。本章ではまず、動物研究がこれまでどのような目的のもとに行われ、それがどのような意義を持ったかについて述べる。そして、これらの分野における代表的研究成果であり、本研究の遂行上非常に重要なアイデアの発端となった条件づけの研究に関して紹介する。最後に、近年大きな注目を集めている脳神経科学における動物研究についても紹介する。

2.1.1 心理学における動物研究

心理学は人間の心的現象の全般を扱う学問領域であり、その対象は非常に広範囲におよんでいる。現在、国内においてその名称中に「心理」を含む学会が20個以上存在していることから、研究領域の裾野の広さをうかがい知ることができる[50]。数ある領域の中でも「学習」を対象としたそれは最も古くから存在する領域の一つであり、かつ現代においてもヒトの行動の基礎理論として最も重要視されているものの一つである。この研究領域では、ヒトを対象とした実験のみならず動物を用いた数々の実験がこれまでに行われてきた。学習研究領域における動物実験は、「広範囲にわたる種と場面に適用可能な学習の普遍原理が存在する」との信念にもとづき、その原理の発見を目指して行われてきた[51]。心理学において、このような学習の普遍原理が存在するとの信念が生まれ、広

く認知されるようになった理由を説明するには、動物心理学の起源とその歴史について述べるのが最も適当であると思われる。以下、動物心理学の起源と歴史について紹介する。

2.1.2 動物心理学の起源

動物実験の歴史は古く、古代ギリシャ時代の哲学者 Aristotle (B.C. 384-322) によって書かれた「動物誌」[52]や「動物部分論」[53]の中にその起源を見ることが出来る。Aristotle の動物実験は、主に生物学的あるいは医学的知見を得るための解剖であり、著者の進める研究の立脚点である心理学における動物実験とは性格を異にする。Aristotle は哲学者として有名であるが、ギリシャ時代において哲学とは学問一般を意味しており、彼の研究対象は生物学から物理学まで多岐にわたっている。また、Aristotle はヒトの記憶や学習にも言及しており、彼と彼の師であるプラトンを史上最初の心理学者とする見方もある。しかし、ギリシャ時代の心理学は現代においては哲学に含まれるパラダイムを主な研究対象としており、生物の解剖などの数々の実証的な研究を行ってきた Aristotle できえ、ヒトの心に関するその主張を実験や科学的調査によって立証してはいない。ギリシャ時代以降も心理学の担い手は哲学者であり、17 世紀には Descartes (1596-1650) が「物心二元論」を唱え、後の近代心理学の成立に大きな影響を与えた[54]。

19 世紀になると心理学は 2 つの方面から大きな転機を迎える。一つはヴェントによる生理学から人間の心の解明を目指す立場であり[55]、もう一つは Darwin の進化論に立脚して展開された動物心理学から人間の心の解明を目指す立場である[13]。以降心理学は、従来の哲学的アプローチに加えて、この 2 つの自然科学的アプローチを内包することで、近代科学として急速に発展を遂げることとなる。Darwin の進化論以前において、動物の心を対象とした研究はほとんど行われていなかったが、その理由は、Descartes の「動物機械論」に代表されるように動物に人間と同じような心が存在するとは考えられていなかったためである。しかし、Darwin がその著書「自然選択による種の起源」[56]において進化論を発表すると、動物と人間の間に進化の連続性があることが広く認識されるようになり、イギリスにおいて動物の心に関する研究が始まる原動力となった。

Darwin の進化論における最も重要な点は自然選択の概念である。自然選択の概念を要約すると以下のようなになる。生物の個体群において、そこに属する各個体はそれぞれ固有の形質を有しており、個体間でさまざまな相違が見られる。そして、その個体群が置かれた環境下で生存するのに適した形質を有する個体は、成熟するまで生存し子孫を残すことができるが、適していない形質を有す

る個体は成熟するまで生存することができず、子孫を残すことができない。個体の有する形質は親から子へ遺伝するため、個体群においては、あたかも選択されたかのごとく、環境に適した形質を有する個体のみが増えていく[57]。以上のような自然選択による進化の理論は、すべての生物は神によって創造されたものであり、地上に姿を現したその日から今と同じ姿をしていたという創造論を否定し、すべての生物は進化によって現在の形質を獲得したとの考え方を世に広めた。進化の理論は、登場当初、宗教界を中心とした激しい反発にあったが、進化論に対する反発は科学的根拠を欠いたものが多く、逆に進化論を裏付けるさまざまな科学的根拠が発見され、それは広く支持されるようになった。そして Darwin は、その著書「人間の由来」の中で「人間の心と他の高等動物の心の間にある違いは確かに大きな違いであるが、程度の差であって、質的に異なるものではない」と主張した[58]。当時、この主張はそれほど大きな影響力を持たなかったが、今日の動物心理学の世界においては、その立脚点とも呼べる重要なテーゼの一つとなっている。

その後、Darwin の友人で比較解剖学者の Romanes (1848-1894) は、「動物の知能」という本を出版し、動物もヒトと同様に知的能力を有することを示す様々な事例を紹介し、進化論的立場から人間理解のための動物研究の有用性を説いた[59]。それゆえに Romanes は動物心理学の創始者として認知されている。また、この頃動物の心に関して研究を行っていた代表的人物としては、Spalding (1840-1877) や Morgan (1852-1936) の名前があがられる。Spalding は動物の生得的行動や、成熟とともに生じるそれらの行動の変容に興味を持っており、それを調査するためにトリのヒナを用いて実験を行った。この実験は、現在の分類でいえば動物心理学よりもむしろ動物行動学の領域を対象としたものであったが、動物の行動研究に実験的手法を適応した最初の例であり、実験実証によって心的機能の解明を進める動物心理学の基本的枠組みとなった[60]。その後、Morgan は「比較心理学入門」という書を記し、その中で動物の行動研究における「学習」研究の重要性を説いた[61]。現在では、「比較心理学」という言葉は「動物心理学」と同義として扱われており、「比較心理学入門」の出版は動物心理学の成立過程における大きな転換点であるといえる。Morgan 以前、すなわち Darwin やその弟子達は、動物の行動研究を博物学の一つととらえており、動物の行動研究が心理学への貢献となるとの意識はまだあまり存在していなかった。しかし、Morgan は、その著書のタイトルが示すように動物の行動研究を心理学の一領域と考えており、この書の出版によって動物心理学が心理学の一領域として認知されるようになった。また、「比較心理学入門」においてモーガンは、「ある行動がより低次の心的能力の行使の結果であると解釈できる場合は、その行動をより高次の心的能力の行使の結果であると解釈するべきではない」と

主張した（モーガンの公準）[12]。この主張は、後にモーガンの公準と呼ばれるようになり、現在では動物心理学における最も基本的原則として広く認知されている。以降、動物心理学は、欧米を中心として発展を続け、20世紀初頭に2種類の異なる条件づけの枠組みが発見され、さらにその理論が動物のみならずヒトでも成立することが示されると全盛期を迎えた。

2.1.3 動物研究の意義

ここまでで見てきたとおり、Darwinの進化論に立脚して進められてきた動物実験は、さまざまな成果を生み出しており、動物心理学はヒトを理解する上で非常に重要かつ有用なアプローチであるといえる。ここで、あらためて心理学における動物実験の長所と短所を整理してみる。

まず、動物実験の最大の長所は、実験環境の統制が非常に厳密に、かつヒトに対して行うことにくらべてはるかに容易に行えることである。ある種の普遍原理を見つけるために実験環境の統制が必要不可欠なことは、物理学や化学の歴史がそれを証明しており、これは心理学にもあてはまる。メイザーは実験室実験の必要性を「自然環境において外からの多くの外的要因によって覆い隠されている学習と行動の秩序だった原理は、高度に制御された研究室環境において明らかにされる」と述べている[62]。たとえば新規行動の獲得に関する実験では、被験者がそれ以前に対象となる行動に似た行動を行ったことがあるか、あるいは他者がその行動を行うのを観察したことがあるかなど、過去の経験が実験の結果に大いに影響を与えることが予想される。にもかかわらず、ヒトを対象とした実験では、被験者の過去の経験を完全に統制することは不可能であるし、まったく同様の事前経験を持つ被験者を集めることも不可能である。一方、このような実験を動物で行う場合、実験室で生まれ育った動物を被験体とすることで、この問題を容易に回避できる。

次の長所は、実験者効果や偽薬効果の可能性が最小限に抑えられることである[63]。ヒトを対象とした実験では、被験者は自分が観察されていることを意識することによって、平常時とは明らかに異なる行動を行う可能性がある。また、被験者は、実験の成功に貢献しようと動機付けられる場合も考えられるし、逆に実験を失敗させようと動機付けられる場合もありうる。このような実験者の存在が暗に被験者に及ぼしてしまう影響は実験者効果と呼ばれ、ヒトの心的機能の調査を目的とした実験において結果に誤差を生じさせる要因の一つとして広く認知されている。また、偽薬効果も類似した枠組みによって生じる誤差要因の一つである[12]。これは、たとえ何の効果も無い薬であっても、服用前にその効果が説明されると、服用者の思い込みによって何らかの効果が生じてしま

う現象を指す。ヒトを被験者にして実験を行う場合はこれを最小とするようさまざまな配慮や手続きが行われるが、これらの効果を完全に排除することは難しく、また、この効果がどの程度実験結果に影響を及ぼしているかを知ることが不可能である。一方動物を用いた実験では、このような効果が生じる可能性はヒトを被験者とした場合より、非常に少ないと思われる。

もう一つの長所は、比較心理学的な意味での単純さである。進化論の視点から現存する生物を「高等」や「下等」といった言葉で区別することは適当では無いと考えられているが、ヒトは現存するあらゆる生物の中で最も複雑な心的機能を有していることは明らかである。非常に複雑なシステムの構造や機能の理解を試みる際に、直接的にそのシステムを調査するのではなく、まずそれと類似点を持ち、かつより単純なものについて調査し理解をすることは有効なアプローチとなりうる。このような視点にたって考えると、ヒトとは多くの相違点があるものの、いくつかの共通点を持っているラットなどのげっ歯類の心的機能について調査し理解することは、ヒトの心的能力を理解するための一つの有効なアプローチといえる。このようなアプローチは、物理学や化学において用いられてきた、単純な現象の解明を積み重ねて複雑な現象の解明を目指す手法と同じである[63]。

一方、動物実験の短所に関する指摘もある。まず、第一は、言語の使用や、それによる知識の獲得、あるいは複合した課題の解決など、ヒトのみが有する心的能力に関しては動物実験では調査できない点があげられる。確かに動物を用いた実験によって言語や、言語に関する高度な認知の問題について調査することはできない。しかし、このことが行動や学習研究における動物実験の有用性を否定することにはならない。また、行動や学習に関する研究と言語をはじめとするヒトの高度な認知能力のどちらが重要な研究領域であるかを議論することは意味が無く、ヒトの心的能力の解明にはそのどちらもが必要である。

また、次の短所としては、ヒトと動物の心的機能の相違は非常に大きく、動物実験によって得られた知見をヒトにまで一般化することは不可能であるとの指摘である。これに対する反論としては、「人間の心と高等動物の心の間にある違いは確かに大きな違いであるが、程度の差であって質的に異なるものではない。」との Darwin の主張があげられる。この言葉が発せられた当初は、これに対する懐疑的な意見も数多く存在したが、先に述べたように動物実験によって発見された条件づけの枠組みが人間でも成立することが確認されたことで、いまでは広く支持されている。

もう一つの問題は、倫理的な問題である。これは昨今、非常に大きな問題となっており、動物実験を行う研究者が避けては通れないものとなっている。この問題は、宗教や文化、あるいは個人の世界観に依存するものであり、万人の

納得する答えを見つけることは難しい。動物実験の倫理的問題は Pavlov の時代にはすでに指摘されており、これに対し Pavlov は「真理獲得という高い理想のために、知識を求める人間の最高の欲望に対して、召集の動物を犠牲に供する」と反論した[64]。これは理に適った主張ではあるが、万人を納得させる力を持つものではなく、時として危険思想と見られる恐れもある。筆者は Pavlov がそうであったように、実験に必要な最低限の数の動物を、特に必要の無い限り極力苦痛を与えずに実験を実施することで、この問題への姿勢としたい。

2.2 古典的条件付けに関する研究

前節にて述べたとおり、「条件づけ」の枠組みの解明は 20 世紀の動物心理学における最大の成果であるといえ、同時に最も多くの研究者の注目を集めた研究トピックであった。心理学辞典によれば、「条件づけ」とは以下のように説明されている[12]。

学習を生じさせるための操作、および学習過程そのもの。「条件づけ理論」という用語は、「学習理論」と区別せず使用されることも少なくない。条件づけについては、さまざまな分類がなされている。

条件づけに関する分類は多くの心理学者によって行われているが、現在では、条件づけは 2 種類に大別できるとの考えが主流となっている。スキナーは 2 種類の条件づけをそれぞれ「オペラント条件づけ」と「レスポナント条件づけ」と命名した。また、Hilgard と Marquis は 2 種類の「条件付け」を、それぞれ「道具的条件づけ」と「古典的条件付け」と命名したが、現在では、「道具的条件づけ」と「オペラント条件づけ」は同義であり、「古典的条件づけ」と「レスポナント条件づけ」は同義であると考えられている。他の研究者によって行われた分類も名称と内容に若干の相違はあるものの、根底にある考え方には多くの共通点が見られる。それらを表 2.1 に整理する。本論分では、2 種類の条件づけを指す言葉として、現在最も一般的に用いられている「オペラント条件づけ」と「古典的条件づけ」を用いることとする。

Table 2.1 Classification of two types of conditioning; several researchers had proposed to two types of conditioning using different names [12]

Type I	Type II	Source
Association learning	Trial and error learning	E.L. Thorndike (1911)
Pavlovian conditioning	Thorndike's conditioning	S. Miller and J. Konorski (1928)
Classical conditioning	Instrumental conditioning	E.R. Hilgard and D.G. Marquis (1940)
Respondent conditioning	Operant conditioning	B.F. Skinner (1957)

「オペラント条件づけ」および「古典的条件づけ」の理論の確立はどちらも動物実験を通してもたらされたものであるが、その後の研究によって、ヒトを被験者とした実験でも条件づけの現象が見られることが確認された。以降、条件づけの理論は、人間の行動理論の基礎をなす重要な概念の一つと考えられるようになり、教育心理学や行動医学において行われている神経症の治療法の開発に多大な影響を及ぼしてきた[65]。さらに、これらの領域において条件づけの枠組みがヒトでも成立することが確認されると、これはヒトと動物の心の連続性を示すものと見なされ、動物実験の有用性を主張する強固な立脚点となった。

本節では、「古典的条件づけ」について説明し、そして次節にて「オペラント条件づけ」について説明する。

2.2.1 Pavlovの実験と古典的条件づけ研究の起こり

「古典的条件づけ」に関する研究は、一般に「パブロフの犬」の語で有名なロシアの生理学者 Pavlov がイヌを使用して行った実験に端を発する。Pavlov はもともと生理学的見地からイヌを用いて消化器官に関する研究を行っていた。そして Pavlov は消化器官の研究を進めるうちに、イヌが胃液を分泌するのは、イヌの口の中に食物があるからばかりでなく、食物を眼で見ただけでもあり、あるいはイヌに食物を与えるために規則的にやって来る人の姿を見るからでもあることに気づき、この現象を「心的分泌」と名づけた。その後 Pavlov は、実験によってある種の特定の条件下でのみこのような現象が起こることを発見し、それを「条件反射」と名づけた[66]。

一般にも有名な「パブロフの犬」の実験は、以下の手順で行われた。実験に先立ち、被験体となったイヌの唾液腺は外科手術によって口外に導出され細い管が繋がれた。実験中、イヌはハーネスに固定され、唾液腺につながれた細

い管は機械式の記録装置に接続され、実験中に分泌される唾液の量を時系列的に記録できるよう処置された。Pavlov はまず、イヌの前で音叉を鳴らした。このときそのイヌは耳をそばだてたり音叉の方を見たりはしたが、唾液の分泌は見られなかった。次に、音叉の音を聞かせ、その数秒後に肉粉を与える手続きを、休みを挟みながら何回も繰り返した。その後、音叉の音を聞かせると、そのイヌはたとえ肉粉が与えられなくても、唾液の分泌を見せるようになった。

Pavlov の実験以前も、ヒトは直接食物を口にすることがなくても、食物を見たりあるいは想像したりするだけで唾液分泌が生ずることは知られていた。よって Pavlov が「条件反射」を発見したとするのは間違いであるが、「条件反射」がある特定の条件がそろったときにのみ生ずるということを科学的に実証したことは Pavlov の貢献によるものといえる。「条件反射」は「古典的条件づけ」の最も典型的な例の一つであり、Pavlov が行った数々の実験は、その後の動物心理学に古典的条件づけを対象とする研究パラダイムの出現をもたらせた。また、Pavlov は「条件反射」の概念を確立した後、それにとまなうさまざまな現象について調査し、「外制止」や「脱制止」、「自然回復」など、今日「古典的条件づけ」の際に見られるさまざまな現象を発見していった[67]。

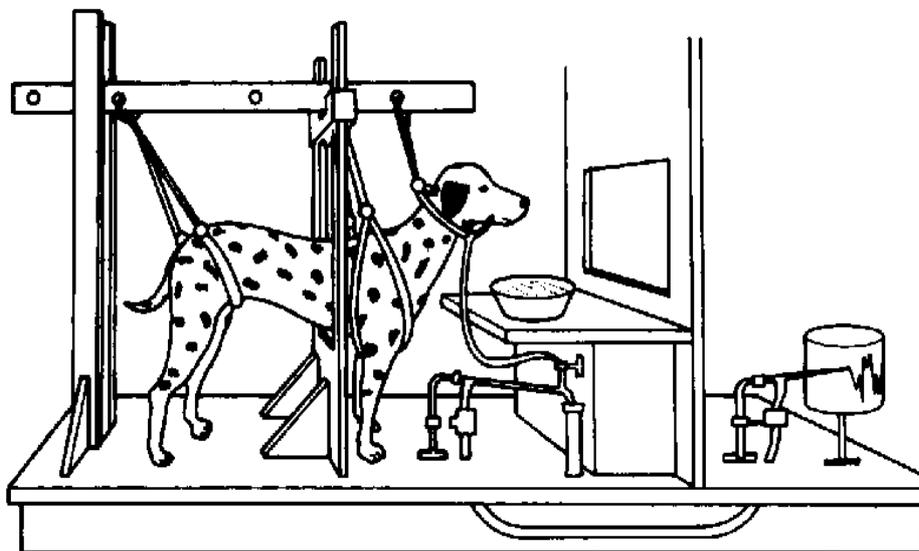


Fig. 2.1 The experiment with the dog conducted by Pavlov

2.2.2 古典的条件づけの手続き

心理学辞典によれば、「古典的条件づけ」とは「条件刺激の呈示後に無条件刺激を対呈示することにより、条件反応を形成するもの。」と説明している[12]。上記の Pavlov の実験を、現在の「古典的条件づけ」の研究で用いられている用語を用いて説明する。まず、この実験において「音叉の音」は、最初、「唾液分

泌」を引き起こさなかったことから、「唾液分泌」に対する「中性刺激」と呼ばれる。一方「肉粉」は、イヌがこれを口にする際に必ず「唾液分泌」を生じさせることから、「唾液分泌」に対する「無条件刺激」と呼ばれる。また「唾液分泌」は「無条件反応」と呼ばれる。ここで、注意しなくてはならないのは、肉粉による唾液分泌は生得的なものであり、イヌにとって不可避な反応であることである。次に「音叉の音を聞かせ、その数秒後に肉粉を与える手続き」であるが、これは「中性刺激」と「無条件刺激」の「対提示」と呼ばれる。「対提示」の結果、「音叉の音を聞かせると、そのイヌはたとえ肉粉が与えられなくても唾液の分泌を見せる」現象が見られるようになる。これは、「音叉の音」と「肉粉」の「対提示」の結果、「音叉の音」が「唾液分泌」を「誘発」するようになったと表現され、このように「無条件反応」を「誘発」するようになった「中性刺激」は、「条件刺激」に変化したと表現することができる。

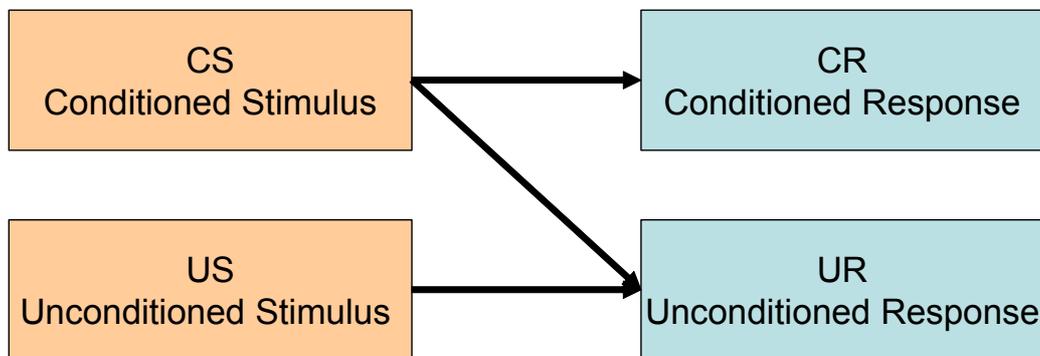


Fig. 2.2 Model of the classical conditioning

2.3 オペラント条件付けに関する研究

次にもう一つの条件づけのタイプである「オペラント条件づけ」について説明する。「古典的条件づけ」は無条件刺激が不随意に無条件反応を伴うことを大前提としており、これによる行動の変容は基本的には生理反応に限定されてしまう。そのため、「古典的条件づけ」の概念では、ヒトや他の動物が行う自発的行動の獲得や変容に関する説明が不可能である。これに対し、「オペラント条件づけ」は、環境との相互作用の中で動物が自発的行動を変容させていく過程を説明する理論であり、適用範囲も広い[68]。

筆者は、社会的インタラクションの場面におけるラットの自発的行動とその変容に注目しており、「オペラント条件づけ」の概念は本研究において非常に重要であるといえる。本節では、研究史を紐解きながら「オペラント条件づけ」の概念について説明し、次に「オペラント条件づけ」の基本的な手続きについて述べる。最後に、「オペラント条件づけ」の重要なテクニックの一つである「逐

次反応形成法」について説明する。

2.3.1 Thorndike と Skinner の動物の自発行動に関する実験

動物の心的機能の研究において、定量的な実験方法を始めて適応し、成功したのは Thorndike (1874-1949) の研究である。Thorndike は Romanise や Morgan によって行われた動物の問題解決能力に関する観察の報告には疑問を呈しながらも、動物の問題解決能力に強い興味を持ち、問題箱 (problem box) と呼ばれる実験装置を自ら製作し、ネコの問題解決能力に関して調査を行った。問題箱は、一辺が 50cm 程度の直方体で、箱の一つの面には扉が取り付けられており実験に際して被験体となる動物はこの箱の中に入れられる。箱の内側には機械仕掛けによって扉に接続されたキーやレバー等の操作体取り付けられており、箱の中に入れられた被験体は、この操作体を操作することで問題箱から抜け出し、外に置かれた餌を取得することができる。この実験において Thorndike は、動物にも試行錯誤によって問題箱から抜け出す行動を学習することを確認した。また実験における観察を通して、動物が同一の状況に対して行う複数の反応のうち、動物に対して直接的に、かつ短時間のうちに満足をもたらす反応は、他の条件が一定に保たれるならば、次第に確実にその状況と結びつくようになることの確信を得て、これを効果の法則と名づけた[69]。この実験において、Thorndike は初めて学習曲線を用いて実験結果を表現した。学習曲線とは、横軸に時間経過を示す試行時間や試行回数を取り、縦軸に正反応の頻度、反応率、反応潜時等の各種学習測度をとったものであり、この実験以降、学習の進行を視覚的に表現する最も効果的手法として広く用いられるようになった[70]。

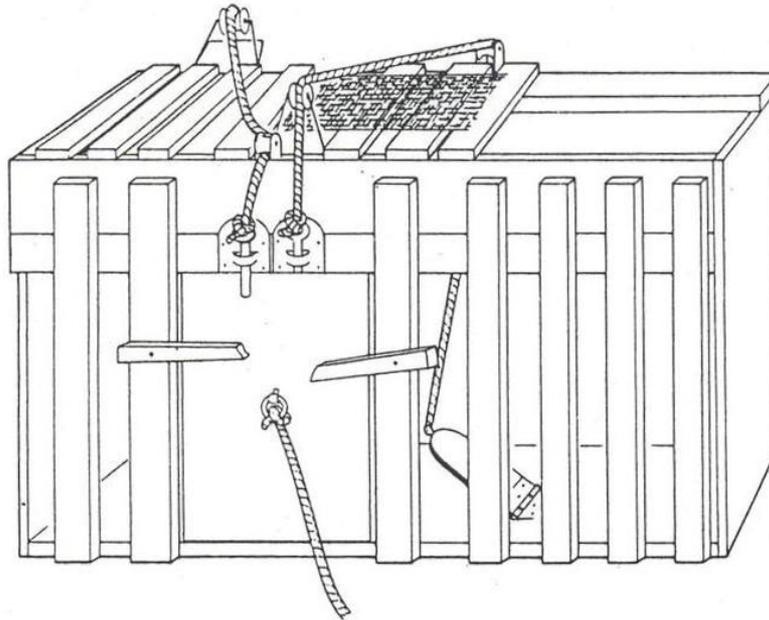


Fig. 2.3 Problem Box (Puzzle Box) made by Thorndike

Thorndikeの研究に端を発する動物の自発行動を扱う研究パラダイムは、その後 Skinner (1904-1990) によって引き継がれ、「オペラント条件づけ」の概念として確立される。まず、Skinner は Thorndike の問題箱や、当時広く使用されていた迷路型実験装置の問題点を指摘し、動物の自発的行動の獲得の調査を行う実験装置を独自に開発した。問題箱を用いた実験においては、1回の試行は動物が餌を得た時点で終了となり、そのたびに実験者が被験体を問題箱に戻すという介入を余儀なくされていた。Skinner はこの実験者の介入が、実験において無視しがたい外乱となっており、連続して生起する自発行動を観察することで自発行動の発現メカニズムを解明できると考えた。Skinner の開発した実験装置は、箱型である点と被験体となる動物はその箱に入れられる点で問題箱と共通している。この箱の内部にはキーやレバー等の操作体に取り付けられているが、それは扉の開閉を操作するためのものではなく、箱内に餌を供給するための装置に接続されている。よってこの装置内に入れられた被験体は、内部に取り付けられたキーやレバーを操作することで、餌を得ることができる。Skinner はこの装置を用いて、ラットがどのようにレバーを押して餌を取得する行動を獲得するかを調査し、レバー押し行動直後に提示される餌がラットのレバー押し行動を強化したために、その後実験装置内でラットがレバーを押す頻度が上昇したと結論付けた。そしてこのような餌などの強化子の提示が、動物の自発的行動の形成を支配する要因であるとし、強化子の提示と行動の獲得の関係をオペラント条件づけとして理論化した[71]。また、Skinner は、ラットやハトを用い

て実験によってもたらされたオペラント条件づけの理論が、ヒトの行動においても成立することを自ら実験によって実証した[16]. これにより、行動研究の重要性とそれにおける動物研究の有用性が強く認識されることとなり、以降、北米における動物心理学は隆盛を極めた.

Thorndike や Skinner の実験において、実験装置の果たした役割は非常に大きく、これらの実験装置の開発と導入が、それまで逸話収集や観察によって行われていた動物の自発行動に関する研究を近代の実証科学にまで昇らしめたと言いうことができる. 前述の Skinner によって開発された実験装置は、現在スキナーボックスという名称を与えられ、動物の問題解決能力を調査する最も一般的な実験装置として広く使用されている.



Fig. 2.4 The experiment with rats using Skinner's Box

2.3.2 オペラント条件づけの手続き

心理学辞典では、オペラント条件づけとは以下のように説明されている[12].

有機体の自発したオペラント行動に強化刺激を随伴させ、その反応頻度や反応トポグラフィを変容させる条件づけの操作、およびその過程.

餌で強化することにより、ラットのレバー押し行動を増加させるのはその例.

まず、「オペラント行動」について説明する. Skinner は、行動は自発的なものと無条件反射的なものに区別されるとの考えにもとづき、自発的なものをオペラント行動、無条件反射的なものをレスポナント行動と呼んで区別した. たとえばオペラント行動とは、Thorndike の実験においてネコが行った試行錯誤的行動の全てがそれであり、前述の Skinner の実験におけるラットのレバー押し行動がそれである. 対してレスポナント行動とは、不随意的に起こる行動で、食物を見たときに出る唾液や、強い光を見たときに起こる瞬きなど、古典的条件

づけの用語で言うところの無条件行動がそれである。このように分類すると、われわれが日常使用している「行動」という言葉は、オペラント行動を指す場合が多く、一方レスポデント行動に関しては、「行動」ではなく「反射」と表現される場合が多いといえる。次に「反応トポグラフィ」とは、換言すれば反応の物理的性質であり、より厳密に表現すると「解剖学的・運動学的差異や、時に生理学的・生化学的差異にまで着目した反応特性」となる[12][72]。たとえばラットがレバーを右足で押す場合と、左足で押す場合とでは反応トポグラフィが異なると表現される。Skinner は同じ結果をもたらす全ての反応トポグラフィを指してオペラントと呼び、ラットにレバー押し行動を条件づけた実験では、特定の反応トポグラフィのみを強化の対象とするのではなく、レバーを押すという結果を伴う全ての反応トポグラフィに対して強化子が提示された。一方、強化の対象を特定のオペラントとするのではなく、特定の反応トポグラフィとすることも可能であることが報告されている。特に後述のシェイピング技法においては、特定の反応トポグラフィを強化することで、その延長線上にある複雑な行動を条件づけることを可能としている。

以上がオペラント条件づけの定義に関するものであるが、これを図示すると図 2.5 のように表現される。この図は、A という条件下で動物が B という自発的行動を行い、環境に C という変化をもたらせる状況を表示している。ここで、重要なのは C から A に伸びる矢印であり、これは、動物の自発的行動 B によって環境に生じた変化 C が、その後この動物が再び A という条件下に置かれた際に B という行動を行う確立を増大させたり、抑制したりする効果を持つことを表現している。ここで、環境の変化 C が、行動 B の出現頻度を増大させる効果を持つとき、C は正の強化子あるいは正の強化刺激と呼ばれる。一方、C が、B の出現頻度を抑制する効果を持つとき、C は負の強化子あるいは嫌悪刺激と呼ばれる。また、正の強化子を提示する場合と、あらかじめ提示されていたものを除去する場合とでは、行動 B の出現頻度に及ぼす影響は異なる。これは負の強化子についても言える。よってオペラント条件づけの場面における環境の変化は、以下の 4 種類に分類できる。

Table 2.2 Type of reinforcement and punishment

	提示	除去
正の強化子	正の強化	負の罰
負の強化子	正の罰	負の強化

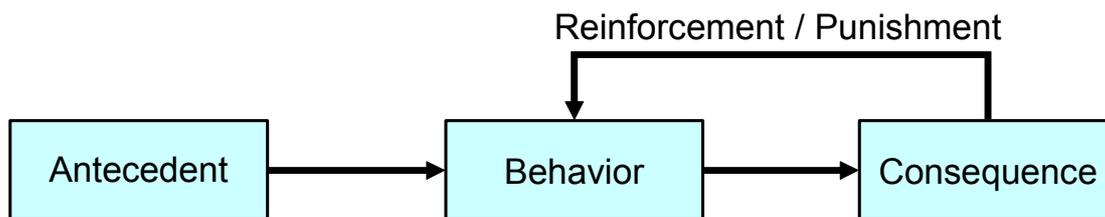


Fig. 2.5 Model of the operant conditioning

オペラント条件づけと古典的条件づけの関係について考えてみる。条件Aおよび環境の変化Cはどちらも環境が主体となっており、条件づけの概念においてこれらは「刺激」と表現される。一方、動物の自発的行動Bは条件づけの概念において「反応」と表現される。このように見ると、オペラント条件づけも古典的条件づけも、どちらも「刺激」と「反応」の関連とその変容を対象としており、相違点は対象としている「反応」がオペラント行動かレスポナント行動かの違いであるといえる。

2.3.3 逐次反応形成法 (Shaping)

オペラント条件づけの手続きを用いれば、ある条件下で動物が自発する各行動の発現頻度を個別に操作することが可能である。この最も典型的な例としては、動物をしつける場面や曲芸を学習させる場面があげられる。このとき、条件づける行動（標的行動）が生得的行動レパートリーに含まれており、強化を受ける以前からある一定の水準で自発的に生起するものであれば、その行動が出現した際に正の強化子を提示することで、条件づけることが可能である。動物が特別な誘発刺激が無い状態で、ある行動を発現する頻度をその行動のオペラント水準と呼ぶ[12]。動物のしつけの例でも述べたとおり、オペラント水準が高い行動を条件づけることは比較的簡単である。一方、オペラント水準が低い行動を条件づける場合は、実験者はいつ生起するかわからない標的行動の出現を待ち続ける必要があるため、非常に非効率的である。そこで、オペラント水準の低い、複雑な行動を条件づける手法として、逐次反応形成法と呼ばれる技法が用いられる[73][74]。

逐次反応形成法は、まず、実験環境下において被験体に生起するすべての行動（反応トポグラフィ）を観察するところから始まる。そして観察された行動の中から、最も標的行動に近い行動が自発したときにのみ強化子を提示する。その行動の生起頻度が高まったならば、いったん強化子の提示を中止し、その際に被験体にどのような行動が生起するかを観察する。そして観察された行動

の中から最も標的行動に近い行動を選び出し、今度はその行動が自発したときにのみ強化子を提示する。このように行動を選択的に強化することで、徐々に自発する行動を標的行動に近づけていくことが可能である。

逐次反応形成の動物の行動実験への適用事例として、Skinner Box においてラットにレバー押し行動を学習させる手法について説明する[74]。Skinner Box に入れられたラットは壁面に取り付けられたレバーを押したときのみ餌の提示を受けることができる。レバーを押して餌を取得する行動は一見すると単純であるが、この行動をラットに条件づけることはそう容易ではなく、反応形成法を用いて条件づけられる場合が多い。このような場面ではまず、ラットがレバーの方向を向いた際に餌を提示するところから始める。ラットがレバーの方向を向く行動が高頻度で観察されるようになれば、次はレバーに対して接近を行ったときのみ餌を提示するよう強化子提示の条件を変更する。そしてレバーへの接近行動が高頻度で観察されるようになれば、次はレバーに対して接触したときのみ餌を提示するよう強化子提示の条件を変更する。そしてレバーへの接触行動が高頻度で観察されるようになれば、次はレバーを押したときのみ餌を提示するよう強化子提示の条件を変更する。以上のような手続きを踏むことでラットが自発的にレバー押し行動を出現するのを待つよりも早くラットにレバー押し行動を条件づけることが可能である。なお、反応形成法を用いる場合、実験者による観察が必須となり、これがこの手法の唯一の何点といえる。

2.4 脳神経科学における動物研究

近年、脳神経科学において目覚しい進歩が報告されており、多くの社会的注目を集めている。脳神経科学においても動物実験は非常に重要な役割を果たしており、さまざまな成果が報告されている。それらの実験によって得られた知見は、心理学にも多大な影響を及ぼしており、今後、心理学と脳神経科学の融合はヒトの心的機能の解明にとって必要不可欠であると思われる。本研究は直接、脳の機能や活動を対象とするものではないが、脳神経科学における先行研究によってもたらされた知見と、本研究を対比させることは、さまざまな仮説や知見の導出につながる可能性がある。また、本研究において筆者が確立した研究手法が、脳科学における新たな研究パラダイムを創出する原動力となることも期待される。このような考えにもとづき、本節では、まず、脳科学と心理学との関係について説明し、そして脳科学の領域において行われた動物の適応能力に関する研究について紹介する。

2.4.1 脳神経科学と心理学

脳神経科学と心理学は、ヒトの心やさまざまな心的機能の解明を目指している点で共通しており、相違点はヒトの心をどのように捉えているかにある。心理学では観察可能な行動や、アンケートや面接によって得られる主観的内観の評価が重要視されており、それがどのような生理的作用によって生み出されるかは問題としない。一方、脳神経学では、ヒトの心的活動はすべて神経活動として理解することが可能であるとの立場から、個々の神経の活動やその特性の調査が重要視されてきた。このように立場の違いは存在するが、歴史的にみても両者の関係は深く、心理学的実験によって得られた仮説が、脳神経科学における研究によって、その正当性が確認された例なども数多く存在する。特に1950年代以降、心理学と脳神経科学の両領域において脳の一領域である海馬が注目を集めるに至り[75]、両学問領域の協調と融合はますます重要となり、その必要性は昨今行われた総合科学技術会議においても報告されている。

また昨今、個々の神経細胞の活動や神経細胞ネットワークの基本的メカニズムが明らかにされるに従って、動物の学習や記憶といった心的機能と、脳神経の活動との関係が注目されてきている。動物の心的機能について調査する場面において、そこで観察される「行動」はさまざまな心的活動の結果生じたものであるといえ、また、動物の心的機能を理解するための唯一の手掛かりである[76]。よって脳神経の活動と心的機能の関係を調査する研究においては、心理学において用いられているさまざまな実験手法や行動分析の手法が非常に有用であるといえる。また、学習や記憶は動物心理学において最も重点的に研究されてきた分野であり、ここで得られた知見は脳神経の活動を理解する上で非常に有用であると思われる。このような視点から、近年、さまざまな研究が行われており、動物の作業記憶や空間認知の能力と脳神経の活動の関係とが明らかとされつつある。

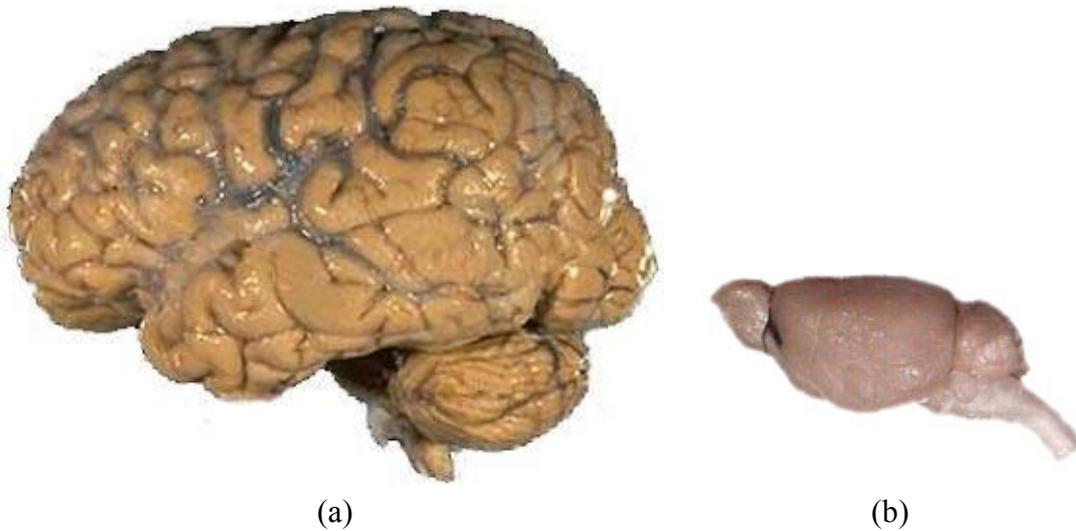


Fig. 2.6 Brains of the human beings (a) and rats (b)

2.4.2 Lashley の量作用説

動物の学習能力と脳神経の活動との関係を調査した初期の研究としては、Lashley (1890-1958) によるラットの行動に対する脳損傷の効果に関する研究があげられる。この研究では、それぞれ大脳皮質の異なる部位に異なる大きさの切除を施されたラットに、迷路抜け課題を課すことで、課題学習能力と脳損傷の関係が調査された。この実験の結果から Lashley は、難解な課題場面においては、大脳皮質のどこに切除が施されたかは重要ではないが、切除された分量は決定的に重要な影響を及ぼすことを見出した。そして Lashley は、大脳皮質の機能は均等に分布されており、特定の部位が特定の機能をつかさどるのではないと考え、この考えを量作用説として提唱した[77]。量作用説に対する反論としては、機能局在という概念が存在する。これは、大脳皮質の各部位はそれぞれ異なる機能を有しているとの考えである。次に述べる研究成果等から、現在では量作用説よりも機能局在の方がより真理に近いと考えられている。

2.4.3 海馬の認知地図仮説

海馬の認知地図仮説は、大脳皮質における機能局在を支持する有力な研究成果の一つである。認知地図とは、動物が環境から得られた情報にもとづいて構築し、その内部に保持している環境の空間的位置関係の地図を意味しており、Tolman によってその存在が発見された[78]。Tolman は、まず、ラットにゴールに餌が置かれていない状態の迷路を経験させ、次に同じ迷路のゴールに餌を置

いて迷路抜け実験を行うと、餌が置かれていない状態の迷路を経験したラットはそれを経験していないラットにくらべてより早く迷路抜けを学習することを発見した。そしてこれを、餌が置かれていない状態の迷路での経験によってラットはその内部に迷路の認知地図を獲得したため、ゴールに餌が置かれるようになるとその地図に従って迅速にゴールにたどりつくことができたのだと説明した。Tolman の認知地図仮説は二つの点でその後の動物心理学に大きな衝撃を与えた。一つはラットが空間の位置関係を記憶する能力を有することを示したことで、もう一つは強化子を伴わなくても学習が進行しうることを示したことである。後者は古典的条件づけおよびオペラント条件づけの理論では説明できない現象であり、現在では潜在学習と呼ばれる現象として広く認知されている。その後、O'keef は、海馬損傷ラットが場所学習課題の遂行において、著しい学習能力の低下を示すことを発見し、海馬の認知地図仮説として提唱した[79]。

ヒトおよびラットの脳の構成を図3に示す。両者は大きさや形こそ大きく異なるが、その構成には大きな差異はない。現在、脳の各部位がつかさどる心的機能に関する調査が進められているが、近年特に、皮質と間脳を繋ぐ海馬が大きな注目を集めている。この理由は、海馬に損傷を負ったヒトが著しい記憶障害を示すことが発見されて以降、海馬が記憶や学習をつかさどる部位であると考えられている点にある[77]。このような考えに立脚し、O'keef は認知地図が海馬にあると考え、それを実証するために海馬に損傷を与えられたラットと与えられていない2群のラットに迷路抜け課題を課し、両者の学習成績を比較した。その結果、海馬に損傷を与えられていない群のラットが、実験試行を重ねるごとに迷路抜けに要する時間を短縮していったのに対し、損傷を与えられた群のラットは、迷路抜けに要する時間を短縮することができなかった。この実験結果は海馬の認知地図仮説を支持するものであるが、これへの反論として、海馬の作業記憶仮説がある。この仮説は、海馬にはその直前に行っていた作業記憶を保持しておく役割があり、前述の実験において海馬に損傷を与えられたラットが迷路抜け課題において所要時間を短縮できなかったのは、認知地図が形成されなかったためではなく、直前までの作業の記憶を保持することができないためであるとの主張である。

Okaichi は、海馬の認知地図仮説と作業記憶仮説を比較検討するために、海馬に損傷を受けたラット（損傷群）と受けていないラット（対照群）それぞれに、場所学習と手掛学習の課題を課して実験を行った[80]。この実験は図2.7に示すような8本の走路を持つ放射迷路と呼ばれる迷路を用いて行われた。放射迷路を用いた実験では、迷路中央のステージから放射状に延びた走路のうちの一つ、または複数の走路の先端に餌などの報酬が置かれ、被験体となる動物は実験開始と同時に中央のステージに置かれる。そして、被験体が報酬を得るまでに要

した時間や報酬がおかれていない走路に侵入した回数（誤反応回数）などが計測される。Okaichiの実験の場所課題では、常に決まった4本の走路の先端に餌が置かれた。一方、手掛かり課題では、8本の走路に視覚的、触覚的に異なる8種類の挿入板を装置無い刺激として設置され、常に決まった4種類の刺激板のある走路に報酬が置かれた。挿入板は試行毎にランダムに置き換えられた。実験ではまず、対照群に各課題場面を繰返し経験させ、それによって報酬の置かれている走路のみに侵入するようになることが確認された。そして、次に損傷群にも各課題の場面を対照群と同じ回数だけ経験させて、迷路中に置かれた全報酬を得るまでの各走路への進入回数が計測された。実験の結果、手掛課題では損傷群のラットは対照群のラットと同様に報酬の置かれている走路のみに侵入し、餌を取得することができたが、場所課題では損傷群のラットは、報酬の置かれていない走路へも頻繁に侵入を行った。この結果は、認知地図仮説を支持している。一方、一度報酬を取得し、すでに報酬が無い走路への再度侵入する誤反応は、対照群ではほとんど見られなかったが、損傷群では手掛課題、場所課題の両方において多発した。これは、作業記憶仮説を支持している。以上の結果から Okaichi は、認知地図仮説と作業記憶仮説はどちらも海馬の機能の一面を説明するものと考えられるとの結論に達している[81].

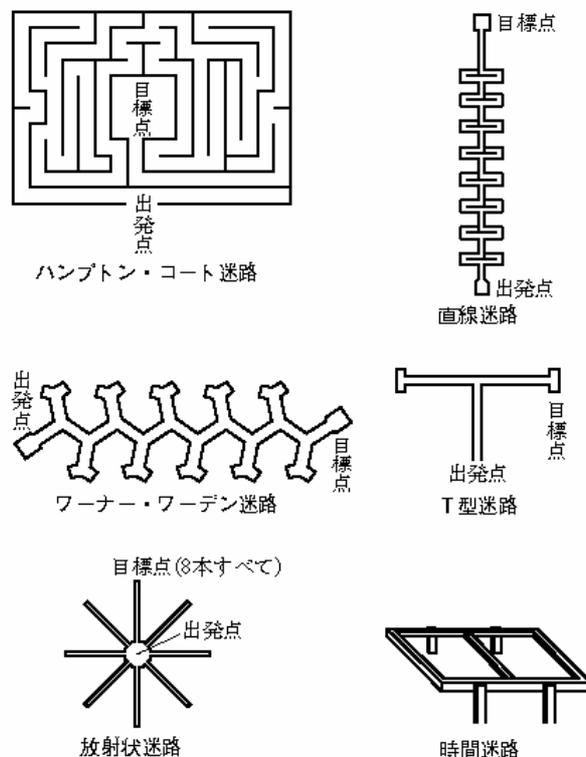


Fig. 2.7 The maze for the experiment to investigate cognitive maps

2.4.4 脳神経科学における課題学習実験

以上、見てきたとおり、脳の各部位とその機能の関係を調べる研究において、各種の課題学習実験は非常に重要な役割を果たしてきた。前述の海馬の研究によって、迷路抜けなどの場所が関連する課題においては、海馬が非常に重要な役割を果たしていることがわかってきた。しかし、動物心理学において主な研究対象とされているオペラント条件づけや古典的条件づけなどの学習と呼ばれる現象が、どのような脳神経の活動によって引き起こされるのかは未だ不明確な部分が多い。また、近年、一般に成熟した動物においては起こらないと思われてきた脳細胞の分裂も、成熟した個体に条件づけ等を行う際には起こっている可能性が高いことが報告されている。このように脳研究はまだまだ無限の可能性を有しており、今後、これらの学習の研究を効率的に推進するためには効率的に実験を進めるための実験装置の開発と、同時に新たな実験手法の開発も必要であると思われる。本研究はその両者を提供するものとして、脳神経科学の発展にも貢献できるものと思われる。前述のとおり、実験装置の自動化に関する試みは本研究以外にもいくつか存在するが、動物の行動実験に被験体となる動物を模したロボットを使用している研究は本研究ほか数例を見るのみである。本研究では、被験体となる動物に、ロボットとのインタラクションを通じた新たな行動の獲得を課題として課しており、動物心理学において扱われてきた課題にくらべて、より多様でより高度な判断を動物に課す課題を設定することが可能となっている。このような特徴は、複雑な動物の学習メカニズムの解明を目指す実験に適したものであり、本研究で構築される実験系は脳研究においても非常に効果的な実験系となることが期待される。また、動物に規範した身体を有するロボットに対する動物の反応に関して調査を行うことで、動物の他個体の認知に関する有用な知見が得られる可能性も期待される。