

## はじめに

私たちは生まれながらにして概念を持っているわけでも、言葉を使えるわけでもない。この世界の中で自らの運動器を用いて行動し、感覚器を通して情報を得ることで、私たちは徐々に概念を形成し、言葉を覚え、この人間社会の一員となっていく。その過程を支えているのが、私たちの認知システムが持つ発達と学習のダイナミクスである。

そのダイナミクスを理解したい。この想いは間違いなく認知科学という学問を支える探究心の重要な部分を成しているだろう。本書はそのような認知システムの学習と発達のダイナミクスを問題にする。しかし、そのような学習と発達のダイナミクスを私たちはどのような形で理解し、どのような形で研究することができるだろうか？ 学問の対象が定められた際にその方法論は自動的に導出されるものではない。方法論自体もつねに探求されるべき対象である。そんな方法論の探索の中で生まれたキーワードの一つが本書の副題に含まれる「記号創発ロボティクス」なのだ。それはロボットや人工知能の創造に基づく認知システムの構成的探求法である。私たち人間が扱う記号の持つ創発的な性質を考慮に入れながら、その認知システムの適応的なダイナミクスを明らかにしようとするのだ。

なぜロボットなのか？ 「認知科学がロボティクスと人工知能を取り込み発展していくのは必然である」という命題が、記号創発ロボティクスの研究の根底にあり、本書を最後まで牽引し続ける主張となる。

この主張に首肯する読者はその同意の心とともにそれを支える理

由と背景をなぞるように本書を読み進めてほしい。この主張に「そんな馬鹿な」と首を傾げる読者は批判的精神でもって本書を読み進めてほしい。

「ロボットとは何であるのか?」「人間の認知を理解することにロボットがどう役立つのか?」をあらめて問いながら、実世界認知を構成的に理解する上でロボットを人間のモデルとして用いることの重要性を伝えたい。そして、認知システムを表現するモデルの記述法において、そのアプローチが拓く拡張の道筋を共有したい。

本書は大きく分けて7章構成で書かれている。

第1章は「実世界認知のモデル」と題し、認知科学の研究においてロボットを用いる意味について論じたい。そのために「科学におけるモデルとは何か?」という問いに立ち返り、その視点に立ったときに認知科学研究においてロボットが用いられる必然とも言える論理的根拠を説明したい。モデルを通して理解するという学術的取り組みはつねに、新たな概念や具象的なモデルとしての人工物を「生み出す」という工学的側面を有する。これが身体を含む存在——つまり、ロボットまで発展したのは、20世紀末からのことだ。その嚆矢の一つが本書の主題となる記号創発ロボティクスである。

第2章では「人工知能と記号の旅路」として、記号や表象に関わる記号論や人工知能、認知科学分野の議論を振り返りながら、記号や表象とは何なののかに関してまず整理したい。表象や記号という言葉は、表象主義、記号主義などと呼ばれる20世紀の認知科学の一大ムーブメントにおいても、中心的な言葉であった。現在も認知科学の議論において、明示的にも暗黙的にも重要な概念ではある。2010年代末にいたるまで、記号主義の抱える問題が根本的に指摘されることもあれば、ハーナッドの記号接地問題のようにそれを現実に適応させるために必要な方策が議論されるというような場

合もあった。しかし、そこには表象と記号という言葉の用法に関する重要な混乱が存在してきた。これらの裏に存在する「記号とは何か?」という問題にあらためて触れながら整理する。また、その発展的解決として提案された知覚的記号システムについて紹介し、さらに、筆者が提唱する記号創発システムと、それに支えられる創発的記号システムに関して概念的な導入を行う。

第3章では「カテゴリ形成と確率的生成モデル」として、本書の議論において中心的な主題として扱われるカテゴリや概念といった言葉に関して導入を行う。これによりスタート地点として標準的で古典的な認知科学における議論の前提を共有する。本書では認知システムを記述する表現として確率的生成モデルを主に用いるが、それを表すグラフィカルモデルの基本的な読み方を紹介する。また、基礎的な確率的生成モデルとして混合正規分布モデルを紹介し、そのモデルと認知科学における基本的なカテゴリ形成のモデルとの関係性を概説することで、本書における計算論的な議論の導入とする。

第4章では「概念とカテゴリを形成するロボット」と題し、物体や場所の概念形成（もしくは、カテゴリ形成）に関する研究を紹介する。この章から記号創発ロボティクスの研究成果に関して紹介を始める。確率的生成モデルに基づく機械学習により感覚運動情報から認知が立ち上がる過程とその作動を示すことで、ロボット自体を認知システムのモデルと見なすことの意味や意義に関して議論し、その考え方と成果を共有したい。

第5章では「語彙を獲得するロボット」として、概念形成からさらに踏みこんで、語彙獲得のモデルに関して議論したい。言語は人間の思考やコミュニケーションにおいて大きな役割を果たすものであり、語彙はその基本要素となる。認知発達過程において、幼児の言語獲得は音声情報からの音素獲得や語彙獲得というボトムアップ

ブな学習から始まる。語彙は私たちの脳内に記号システムとしてトップダウンに与えられるわけでは決してない。実世界情報からの語彙獲得をある程度説明しうる計算論的なモデルについて示す。

第6章では「内的表象を生み出すディープラーニング」として、2010年代中盤からのディープラーニングの潮流とそれに基づく人工知能研究の刷新を振り返り、それが認知科学や人工知能研究における内的表象や記号に関する議論に与える示唆に関して論じる。ニューラルネットワークの再評価としてのディープラーニング技術の発展は画像認識や音声認識、機械翻訳のパフォーマンスを飛躍的に向上させた。ある意味で、ディープラーニングが実世界情報処理や私たちの脳が世界を認識するときに行っているであろう段階的情報処理、つまり内的表象の形成（学習と推論）に関する重要な側面を見事に捉えていることを、それは示唆している。このディープラーニングの発展を認知モデルの視点から認知科学の議論へとつなげる。また、ディープラーニングの技術的発展は、「良い内的表象（内部表現）とは何か？」ということが認知科学者ではなく、多くの工学者や情報科学者、さらには産業応用に取り組む技術者によって真剣に議論されるという状況をもたらした。ディープラーニングの成功が内的表象（内部表現）に関して与える示唆は重要であり、これに関して議論する。また確率的生成モデルによるアプローチと、ニューラルネットワークによるアプローチの間に本質的な意味で橋をかけるために、変分オートエンコーダの議論を導入し、その二つの対立を解消し次章へとつなげる。

第7章では「記号創発ロボティクスと認知理解の発展」と題して、本書のまとめを行い、野心的な議論を含みつつ今後の展望を述べる。本書ではロボットと確率的生成モデルを用いることで、実世界情報からの概念形成やカテゴリ形成、語彙獲得、内的表象の形成を行うような確率モデルを紹介する。これらは思弁的なモデルでは

なく、ロボットの身体に埋め込み作動させることで実際に認知の長期的なダイナミクスを実世界の中で記述しうるものである。このような確率モデルを前提とした際に、カテゴリ、概念、記号、内的表象といった言葉がどのように整理され、その記述の上で再び自然に位置付けられるかを見たい。まだ記号創発ロボティクスが表現できていない認知現象は数多くある。その代表的な対象として、高次認知機能に関して触れ、感覚運動器に基づく経験からボトムアップに高次認知機能に到達する道筋について議論する。

最後に終章「越境する記号創発ロボティクス」として、あらためて、筆者が提唱し、記号創発ロボティクスの背景的な前提となっているシステム論——記号創発システム論について触れ、その認知科学との関係性について議論する。言語の意味というのは感覚運動情報による認知だけによって決まるのではなくて、社会的な文化や文脈によって決定される。この事実は、言語学や社会学へと学術的視野を広げさえすれば、あらためて確認するまでもない話である。認知科学において、概念やカテゴリに関する研究も本質的にはそのような社会性から自由にはなれない。それならば、社会的な相互作用と身体的な相互作用の両方を通して、形成される記号的（言語的）コミュニケーションと概念形成・概念理解をともに内包したようなシステム論が必要なのである。社会における記号的な相互作用と、感覚運動器を通した身体的な相互作用の双方を取り込んだ記号創発システムという描像をもってはじめて、記号と概念の議論は閉じうる。本書では記号創発システムの社会的なダイナミクスまでは踏み込まず、主には認知的なダイナミクスの議論に終始することになるが、その学術的射程に関して記しておきたい。

本書はロボティクスと認知科学の越境を試みるものである。副題を「認知科学としての記号創発ロボティクス」としたように、記号

創発ロボティクスの認知科学としての側面を明示的に記述することを目指す。そのアプローチの多くは「作る」という工学的な行為によって形成されてきた。それゆえに記号創発ロボティクスはロボットや人工知能に関わる工学研究でしかないと思えられてきたかもしれない。しかし、工学的であるということは、認知科学的であることと何一つ矛盾しない。

計算機科学の勃興とともに始まった学問である認知科学の中に工学的思考はすでに内在しており、記号創発ロボティクスによる探求はその可能性の一つの顕在化に過ぎない。

本書のアプローチを支え続けるのは、「より豊かなモデルを通して人間の認知を理解しよう」という態度である。モデル研究は認知科学研究の根幹でありながら、この分野においては多くの実験的手法に基づく研究の裏に背景化しやすい傾向があるように思われる。その一方で、ロボティクスおよび機械学習という組み合わせをもって、実世界認知のモデルを構築しようとする研究が、国内においては記号創発ロボティクスとしてむしろ先進的に取り組まれてきた。本書ではその成果を野心的に記述しつつ、その背景にある思想と学術的方法論を整理し、示すことで、認知科学という学問の発展に寄与したいと願う。

本書は「越境する認知科学」シリーズに相応しく、認知科学の越境と、融合、発展を目指して執筆される。認知科学の未来にロボティクスの活用が必然であることを、本書を通してご理解いただければ幸いである。

——では始めよう。