

まえがき

本書は、2010年代の大学生が学びやすく、大学教員が教えやすい「人工知能概論」のテキストを目指して執筆したものである。

20世紀後半から、大学で教える「人工知能」といえば、プロダクションシステムや述語論理など1960年代に盛んに研究された手法が定番になっていた。しかし、それらは個別には必ずしも現在の人工知能研究の現場で活発に用いられているツールではない。1990年代頃からはソフトコンピューティングや機械学習などが盛んとなり、古典的な人工知能研究で中心的だった内容から時系列的に追いかけるという教え方は、より一層十分な根拠を持たないようになってきたと思われる。人工知能という学問が始まって50年以上が過ぎ、そろそろ、人工知能入門時の教え方も変えなければならぬように思われる。

筆者は、立命館大学情報理工学部で「人工知能概論」という科目を2・3回生開講科目として担当している。履修登録者数が約350名にのぼる学部最大規模の講義だ。この講義において、2013年度にシラバスの改訂とレジユメの刷新を行った。そのレジユメから本書の主人公である「ホイールダック2号」がオリジナルキャラクターとして登場したのだが、「ホイールダック2号を育てていく」というストーリー仕立ての講義は、学内でも話題になるほど人気を得た。

その話を聞きつけて、さっそく2013年冬に講談社サイエンティフィクの横山真吾氏から、『イラストで学ぶ 人工知能概論』を書かないか？』とのお声がけをいただいた。もともと、何らかの形でまとめ、より学外にも広げていきたいと考えていたので、思い切ってお引き受けすることとした。

そのような経緯から、本書は明確なターゲット層を持っている。本書は、情報系学部における2年次以降配当の人工知能入門科目のテキストとして用いることを想定して執筆されている。読者が、高校の数学を一通り修めた上で、微分積分、線形代数およびデータ構造とアルゴリズムの基礎（リスト、グラフなど）については学習済みであることを想定している。

「人工知能の入門時の教え方も変えなければならぬ」とはいったものの、本書はこれまでの人工知能の多くの教科書とも互換性は備えているという現実主義的な一面も持っている。A*アルゴリズムや述語論理、ゲーム木、自然言語処理の基礎などといった人工知能概論の定番的な部分はしっかり盛り込

んでいる。その点においては安心して既存の人工知能入門科目のテキストとして採用していただきたい。一方で、機械学習やロボットの位置推定など比較的新しい内容についても野心的に盛り込んだ。それらのバランスをとるのは難しいことではあるが、「ホイールダック 2号」の活躍もあり、学生にとっては違和感のない形でまとめることができたのではないかと考えている。

本書は、全 15 章で構成されている。現在、多くの大学では半期 15 回の授業が行われている。大学の講義のテキストに用いることを想定し、その回数に合わせてるように執筆した。途中で中間テストを挟み 14 回講義とする場合は、第 1 章と第 2 章を初回に一度に行うことを想定している。また、第 15 章については、教員の判断で扱いを変えていただければ、第 15 章を調整弁にすることもできると考えている。

多くの大学教員が本書をテキストとして使い、人工知能の講義を開講することが容易となるように、本書を講義で用いる際のスライドやホイールダック 2号をはじめとする画像を WEB サイトから無償で配布する。

「イラストで学ぶ 人工知能概論」WEB サイト <http://ai.tanichu.com/>

人工知能という学問は、まだまだ、これから花開く学問である。また、さまざまな学問や技術につながっていく「ハブ」のような存在でもある。本書を入り口にして学ぶことで、多くの人が人工知能という学問のことを好きになり、SF アニメの世界の人工知能を実現するような仕事に少しでも貢献していきたい、また、学んでいきたいと思っていただければ、これに優る喜びはない。

2014 年 7 月 26 日 京都の自宅にて

谷口忠大



人工知能を つくり出そう

STORY

本書で展開する「ホイールダック2号の冒険」は人工知能で動く仮想的なロボット、ホイールダック2号を主人公とした物語である。ホイールダック2号はダンジョンに入っていく、その出口にいるスフィンクスを倒さなければならない。ダンジョンには人間が入ることができず、ホイールダック2号は完全自律移動により、出口までたどり着かなければならない。このようなロボットをつくるためには、少なくともどのような知的計算処理をロボットに組み込む必要があるだろうか。

最後の敵、スフィンクスは論理的な「謎かけ」をしてくる。この謎かけをホイールダック2号が解けなければ、ホイールダック2号は死ぬことになる。さあ、ホイールダック2号に知能を与えよう。

仮定

- ホイールダック2号はプログラムを与えられれば自律的に移動し続けることができるものとする。
- ホイールダック2号は音声入力、視覚入力を得るセンサ系を持ち、オムニホイールを用いて全方向に自由に移動できるものとする。

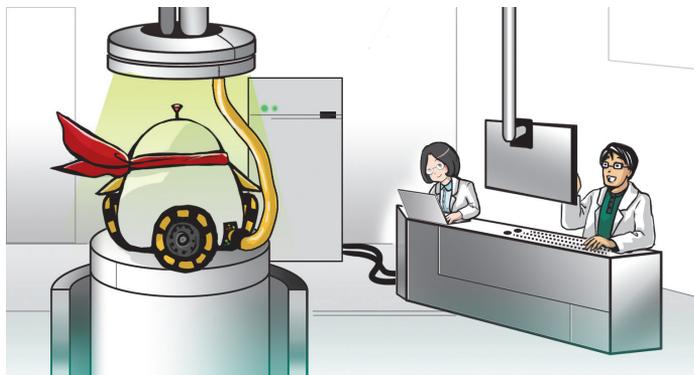


図 1.1 ホイールダック2号に人工知能をプログラムする

1.1.2 学問としての人工知能

例えば、線形代数や微分積分は長い歴史を経て、ほぼ基礎的な理論が固定化され、完成された学問であるといえる。それに対して、人工知能は未完成の学問だといえるだろう。なぜなら、誰もしが納得する真の人工知能など、まだつくられてはいないからだ。人工知能という学問は、まだまだ変化の途上であると同時に、非常に学際性が高い学問でもある。ただ、一貫しているのは「知能をつくる」という目的であろう。それゆえに、人工知能という学問を学ぶためには、広範囲の構成要素を構造化し、「知能をつくる」視点で工学的に捉えていくことが重要である。

そこで「知能をつくる」という視点から、本書ではストーリーベースの展開を行いたい。また、同時に数学的記述を過度に省略することなく採用していくことで、さまざまな数理的な構成要素が知能の構成に貢献していく様子を知ってもらいたい。

本書では、実世界で自律ロボットを動かすことを射程に入れながら、言語や論理といった上位の知能から位置推定やパターン認識といった比較的下位の知能まで、認知システムにかかわるさまざまな知識を紹介していく。一方で、本書では「人工知能概論」として、全体を網羅のかつ秩序立って導入することに主眼を据えるので、各技術を深掘りしない。それぞれの技術のさらなる学習については、参考文献をブックガイドとして巻末に挙げるので参照してほしい。

人間の知能とは、私達の活動すべてにかかわるものであり、人工知能という学問はその一つひとつを実現する知能を構成することに対応する。そう考えると、人工知能が広範囲な学問であることを自然に理解できる。ゆえに、すべてを理解しようとする膨大な知識が求められる。これは知能を学ぶという恐れ多いことに挑戦する以上、不可避なことであり、人工知能という学問の宿命といってもよい。本書はその中から基本的かつ重要であると考えられるトピックを選別して紹介する。以降では学問としての人工知能の簡単な歴史と、有名な哲学的な問題に触れる。

1.2 人工知能の歴史

1.2.1 黎明期 1950年代から

学問としての人工知能は20世紀の中盤から盛り上がってきた。この始ま

りは、20世紀前半から徐々に形成されてきた計算機技術を基盤にしている。「人工知能」という言葉の歴史は1956年の**ダートマス会議** (Dartmouth conference) に遡るといわれる。ダートマス会議においてジョン・マッカーシーが初めて**人工知能** (AI, Artificial Intelligence) という言葉を用いたのがその始まりといわれる。ダートマス会議はジョン・マッカーシーがマービン・ミンスキーやクロード・シャノンらとともに提案し、開催したものであった。マービン・ミンスキーはフレーム理論の提案や、パーセプトロンが線形分離不可能なパターンを識別できないことを示すなど、人工知能の歴史に多岐にわたって影響を及ぼした人物であり、マサチューセッツ工科大学人工知能研究所の創設者の一人である。クロード・シャノンも情報理論の考案者であり、アラン・チューリングやフォン・ノイマンらとともに現在の計算機の基礎をつくった人物である。ダートマス会議では長期間にわたって人工知能にかかわる議論がなされた。

以降、1980年頃までの人工知能の研究は夢と希望に満ちた時代であったといわれる。この時代に盛んであった形式主義的な人工知能の研究は、**古き良き AI** (GOF AI, Good Old Fashioned AI) と呼ばれることもある。研究としてはエキスパートシステムや探索手法に関する研究などが行われた。また、チェッカーやチェスといったゲームのプログラムに関する研究も精力的に行われた。傾向としては人間の持つ理性的かつ論理的な情報処理を対象としたものが多かった。

古き良き AI の特徴の一つとして**物理記号システム仮説** (physical symbol system hypothesis) が挙げられる。物理記号システム仮説とは「世界のすべての事柄は記号で置き換えることができ、知能は記号の操作として捉えられる」とし、本質的には「記号システムこそ一般的な知的活動のための必要かつ十分な条件である」とする仮説である^[1]。

図 1.3 に物理記号システム仮説に従うアプローチのイメージ図を示す。現在の状態 X_1 は記号による内部表現 R_1 に符号化される。実世界で状態を X_2 に変化させる操作 T は、内部表現の中の移動操作に対応させることができる。このように、世界は記号による内部表現に書き換えられるので、知能はこの記号操作によって表現することができると思えるのだ。

しかし、記号操作を中心とした人工知能の研究の限界も徐々に明らかになり、1980年代以降では実世界の行動をいかに実現するか、また、実世界の不確実性がいかに対応するかという点を知能の本質と見る研究も増えていった。

[1] R. Pfeifer, C. Scheier (著), 石黒章夫, 小林宏, 細田耕 (監訳): 知の創成 — 身体性認知科学への招待, 共立出版, 2001.

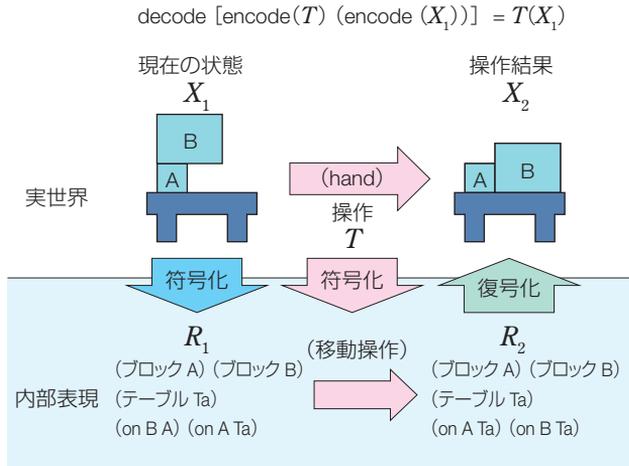


図 1.3 物理記号システム仮説

実世界の状況を反映した記号を操作した結果が実世界の結果と対応しているならば、内部表現としての記号の操作によって知能を表現できる。

[R. Pfeifer, C. Scheier (著), 石黒章夫, 小林宏, 細田耕 (監訳) : 知の創成 一身体性認知科学への招待, 共立出版, 2001, 図 2.5 を参考に作成]

1.2.2 1980年代から

古き良き AI のアプローチでは実世界で動くロボットをなかなかつくることができなかった。1980年代にはロドニー・ブルックスらがそのことを激しく批判し、サブサンプレションアーキテクチャを中心とした行動主義ロボティクスを展開した。彼らは物理記号システム仮説に一切従わず、単純な刺激応答系を持ったロボットを構想した。そして、身体を持ち、環境との相互作用を積極的に行うことで、明示的な記号システムを持たずとも実環境を機敏に動き回るロボットをつくってみせた。

その一方で、古き良き AI のアプローチに従う研究も進展していた。エキスパートシステムの研究も1970年代から引き続き盛んに続けられ、知識工学という学問を生むに至った。日本でも推論機能や知識ベースを持つコンピュータをつくらうと、第五世代コンピュータプロジェクトと呼ばれる国家プロジェクトが推進された。

1990年代には、より「やわらかい」知能への関心が高まり、1980年代末から、ニューラルネットワークやファジィ理論、遺伝的アルゴリズム、強化学習などが一大ブームを巻き起こしていった。これらはまとめて**ソフトコンピューティング** (soft computing) と呼ばれることがある。また、知能をつ

くるというのではなく、より原初的に生命をつくるという意味で人工生命という学問も生まれた。人工生命、カオス、フラクタル、ネットワーク科学といったキーワードが**複雑系** (complex system) という学問をつくり、人工知能の隣接領域を形成していった。

1.2.3 2000年代から

2000年代には計算機やインターネットの普及に後押しされ、画像認識や音声認識、自然言語処理などの技術が身近なものになっていき、ますます人工知能の研究は広い情報技術にかかわる研究の中に溶け込んできた。また、センサや計算機の価格が低下し、実世界データを大量に計測し、インターネットを介して共有することが可能になってきたために、大量のデータに基づく機械学習やデータマイニング技術が注目されるに至った。2010年代に入ると自然言語処理や画像認識、音声認識においても機械学習は必須の技術と考えられるようになってきた。このような大量のデータはビッグデータと呼ばれ、注目を集めている。

2010年代に至る人工知能の歴史は、上記のように概観することもできるが、人工知能の多面性ゆえに、その歴史の捉え方自体も多面的に存在し得る。本書で紹介するように、自然言語処理や画像認識、ロボティクスなどの学問は人工知能の一部とも、隣接領域とも捉えられるが、それらの学問に寄り添えば、それぞれの視点からの歴史が紐解かれる。ニューラルネットワークや強化学習、エキスパートシステムなどについても、それぞれ独自の歴史観が存在するので、それらの歴史観に関してはそれぞれの入門書を参照してほしい。人工知能は決して、「変わらない中心」があるような学問ではなく、さまざまな構成要素が重層的かつ並行的に進歩して絡み合ってきた学問である。そのことを認識しながら、多様な視点を柔軟に取り入れながら学ぶことが人工知能という学問の学びには大切である。

また一方で、人工知能はただ情報技術を生み出すための学問であるだけでなく、人間の知能を理解する取り組みでもあるといえる。人工知能研究は認知科学という学問の一部だといわれることすらある。人間の知能をつくることによって人間を理解しようとするアプローチを**構成論的アプローチ**と呼ぶ。認知発達ロボティクスは認知心理学や発達心理学とロボティクス、人工知能の境界領域を形成してきた。また、計算論的神経科学は脳神経科学と人工知能やロボティクスとの境界領域を形成してきた。また、筆者らの研究グループは記号創発ロボティクスという領域の形成を目指している。これらの関連

分野以外にも構成論的アプローチによる人間知能への接近は、人工知能の重要な側面であるといえるだろう。

1.3 人工知能の基本問題

1.3.1 フレーム問題

人工知能にはさまざまな問題が存在するが、その中でも、哲学的な問題を含む根本的な問題は基本問題と呼ばれることがある。本節では人工知能についての議論として最低限知っておくべき有名な基本問題をいくつか紹介する。

人工知能の基本問題の中で最も有名なものの一つが**フレーム問題** (frame problem) である。これは物理記号システム仮説と関係が深い。フレーム問題について、たとえ話で説明しよう。

例えば、自律的に物体の取り扱いや運搬作業をするロボットがいたとしよう (図 1.4)。このロボットはある部屋にいて、その部屋の机の上には爆弾があったとする。このロボットに「時限爆弾を机の上から取り除き、部屋の外に持ち出せ」という指令が与えられたとしよう。さて、まずロボット 1 号は、以下のような行動を行った。

- ① ロボット 1 号が命令通り愚直に机の上から時限爆弾を持ち上げたところ爆発してしまった。机の上から離れると爆発するという発火条件が時限爆弾には仕込まれていたのだ。
- ② そこで、ロボット 2 号はあらゆる条件を事前に考えるようにつくられた。

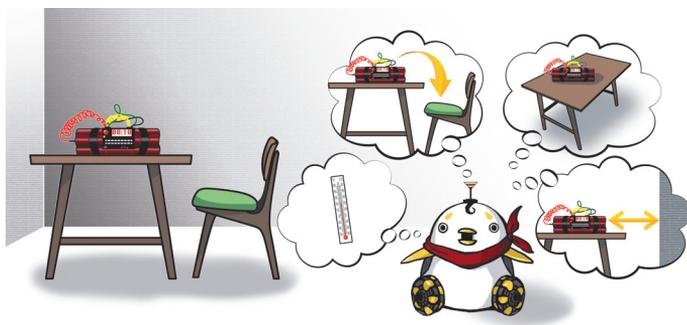


図 1.4 フレーム問題

さまざまな可能性を考えて身動きがとれなくなるロボット。

その結果、ロボット 2 号は停止してしまった。なぜなら、壁との距離、温度、机との関係、椅子との関係、光の当たり方など考える対象は実世界では無限にあったからである。ロボットがあらゆる可能性を考えているうちに、時間が経ってしまい時限爆弾は爆発してしまった。

- ③ そこで、ロボット 2 号での問題点を解決すべく、ロボット 3 号は考える必要のないことは考えないように改良された。部屋に入ったロボット 3 号は、この課題において「何が関係ないか」を一つひとつ考えていった。壁との距離は関係ない、温度は関係ない、椅子との関係は関係ないなどロボット 3 号があらゆる関係ないものの可能性を考えているうちに、時間が経ってしまい時限爆弾は爆発した。

結局どのロボットも問題を解決することができなかった。その理由は、外界のすべてを頭の中で理解して、あらゆる可能性を考えようとしたために、計算時間が大量にかかってしまったことによる。これがフレーム問題である。フレーム問題とは、外界がすべて記号的表現に置き換えられるとしても、実際の問題状況を考えて問題にかかわる対象の数が爆発的に増大してしまうために、実時間で解くことが困難だという問題である。これは人工知能研究における最大の基本問題のようにいわれることもある。しかし一方で、このような問題はロボットではなく、人間であっても解けていないのではないかという指摘もある。人間の問題として考える場合は、**一般化フレーム問題**と呼ばれる。人間でも解けていないとすると、なぜ人間は上記のロボットと異なり困ることなく実世界で活動できているのだろうか。このことも人工知能の大きな問題の一つである。フレーム問題は、いわゆる、解かれなければならない工学的問題の類のものとは異なる、哲学的問題の側面を持っていることも意識する必要があるだろう。

1.3.2 チューリングテストと中国語の部屋

「機械が知能を持つ」といっても、機械に何ができれば機械が知能を持ったことになるのだろうか。これはもはや工学の問題とは言い切れず、哲学的な議論をはらんだ問題である。**チューリングテスト** (Turing test) は機械が知能を持っているかどうかを判定するための一案として、1950 年にアラン・チューリングによって考え出された。簡単にいえば、ユーザーと機械にコンピュータ越しにテキスト文字列で会話をさせた際に、ユーザーに会話相手が人間だと勘違いさせまえることができれば、その機械は「知能を持って

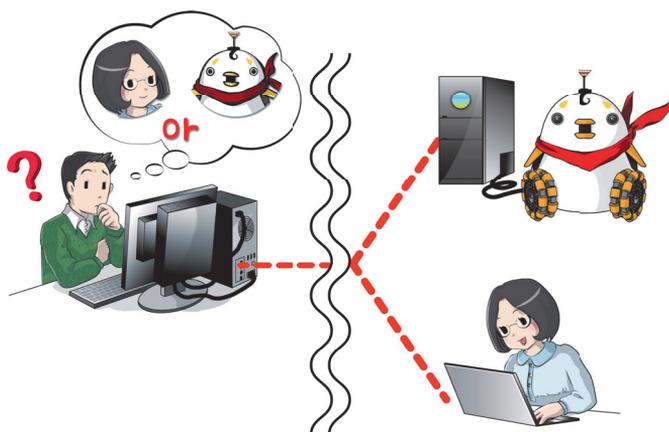


図 1.5 チューリングテスト

人間はコンピュータ越しにいるのがロボットか人間か、どちらかな?と考えている。

いる」としてよいというのがチューリングテストのアイデアである(図 1.5)。テキストのやりとりのみという外部から観測できる振る舞いのみから知能を持っているかどうかを判定しようとしているところに特徴がある。

これに対して哲学者のジョン・サールは「**中国語の部屋** (Chinese room)」というたとえ話で反論した。ここでは、狭い部屋に中国語のわからない人を閉じ込めて、その部屋に投げ入れられた中国語の文に対して返事を書くというタスクを考える。中国語の応答についての完全なマニュアルがあったとする。このマニュアルを使えば、与えられた文の返事として適切な中国語をマニュアルに従って書いて返すということを行えるだろう。このとき、その人は中国語を理解していないにもかかわらず、中国語を運用する知能があるということになってしまうという指摘である。

サールはこの点から、人工知能が持つ「機能」によって知能の有無を判定する考え方を否定した。このように人工知能が持つ機能や振る舞いによって知能の有無を判定する考え方を**機能主義** (functionalism) と呼ぶ。チューリングテストは機械の振る舞い面から知能の有無を判定するという機能主義の象徴的な例になっており、一つの考え方として理解しておいてほしい。

ただし、サールの批判も思考実験にすぎず、実際にこのタスクを人工知能として構成しようとすればさまざまな論点が生じ、サールの批判が一概に妥当であるともいいがたい面もある。また、チューリングテストもテキストによる相互作用しか議論しておらず、チューリングテストに合格したロボットでも、実世界で人間と同じように物体を認識し、運動し、さまざまなタスク

を社会の中でこなせるわけではない。チューリングテストも知能の測り方の一つのアイディアにすぎないことは理解しておく必要があるだろう。

1.3.3 記号接地問題

記号接地問題とはシンボルグラウンディング問題 (symbol grounding problem) の和訳である。1990年にステイブン・ハーナッドによって提案された。物理記号システム仮説に従うにしても、もう少し緩和されたアプローチをとるにしても、ロボットや人工知能の認識状態を記号で表現することは多い。記号接地問題は、そのような場合に考慮しなければならない人工知能の基本問題である。ロボットの中に構築された記号システム内の記号がどのようにして実世界の意味と結びつけられるかという問題である。

例えばリンゴという記号をコンピュータが知っていたとしよう。コンピュータは「リンゴ」が「赤い」や「食べられる」という属性を持っていることを知っているとする。しかし、コンピュータは実際にリンゴを見たこともなければ、食べたこともないだろう。このコンピュータは果たして「リンゴ」という言葉の意味を「知っている」といえるだろうか (図 1.6)。

ロボットにリンゴという記号を教えようとする際には、ロボットは自らのセンサ・モータ系を通して、このリンゴという言葉の意味を理解しなければならないかもしれない。古き良き AI のアプローチでは、記号を実世界と結びつけるという部分は比較的軽視され、記号化された後の論理的な思考や知識に重点がおかれた。しかし、実世界の認識や言葉や記号の解釈には膨大な不確実性が存在している。この記号世界と実世界をいかにつなげるかという

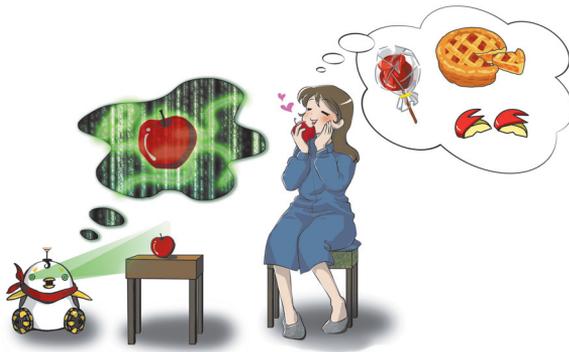


図 1.6 ロボットにとってのリンゴと人間にとってのリンゴ

お互い感じられるもの、経験できるものが異なるので、リンゴが意味する物事も異なる？

問題が記号接地問題である。

一方で、そもそも人間と異なる身体を持つロボットやコンピュータが同じ記号に同じ意味を持てるのかという問題もある。例えば、リングを食べられないロボットが人間と同じようにリングを理解できるのかということである。そのように考えるとそもそもの記号の存在理由から考える必要がある。あらかじめ記号が存在すると考え、人間によりロボットに与えられた記号を接地するという考え方は逆に、ロボットにとっての記号が生まれること自体を問題としたものは**記号創発問題** (symbol emergence problem) といわれる。

1.4 ホイールダック 2号の冒険

1.4.1 なぜ「ホイールダック 2号」が必要なのか

人工知能はとても広い概念である。また、人工知能という「想像しやすい夢」の割には、それを実現するために一つひとつの技術をどのように積み重ねればよいかは想像しにくい。一つの技術でエイヤッと「人工知能」そのものをつくってしまうことなどは不可能である。人工知能の実現のためには探索や認識、言語処理や自己位置の推定や地図の学習といった一つひとつの要素技術を学び、これらを組み合わせていくことが必要である。人工知能の実現にさまざまな要素技術を学ばなければならないということは、人間の脳がさまざまな情報処理を行うための部位に分かれていたり、私達の五感が聴覚や視覚といった感覚に分かれていたりすることに等しい。もしかすると未来においては、より根本的な原理によって人工知能を自動的に生み出すことができるのかもしれないが、それはまた未来の話である。そのような根本的な原理にたどり着く前に、私達は一步ずつ人間の知能の構成を理解しなければならない。

人工知能を学んでいく上で、探索手法であったり、言語処理であったりと、個別の要素技術のみを見て学習を進めると、ついつい、「知能をつくる」という目的を見失いがちになる。人工知能とは「学ぶ」対象である前に「つくる」対象である。それゆえに、

「自分がゼロから人工知能をつくっていくんだ！ そのためにはどうしたらいいんだ！？」

という意気込みを持つことが望ましい。そこで本書では私達がつくり出す人

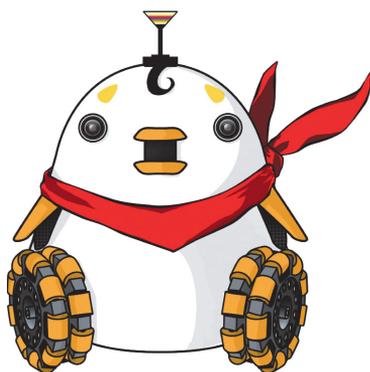


図 1.7 ホイールダック 2号

工知能の搭載先として仮想的な自律ロボット「ホイールダック 2号」を主人公に据えたい。本書で知能を与えていくホイールダック 2号の外観を図 1.7 に示す。間抜けそうなこのロボットは本書が始まった段階ではどんな知能も搭載していない。何の知能も持たないこのロボットに徐々に知能を与えていくというストーリーで本書の以降を展開したい。

本書では、基本的にはホイールダック 2号のハードウェアについてはすでに決まっており、ソフトウェアのみをつくっていくことにしたい。ただし、ハードウェアがどのようなものであるかも人工知能の構成においては重要な問題であるため、本書では第 15 章においてハードウェアの進化や身体的重要性に関する話題にも触れる。

1.4.2 「ホイールダック 2号の冒険」のストーリー

詳細なストーリーは各章の導入部に示す STORY で徐々に明らかにしていくが、大筋のみ明らかにしておこう。ホイールダック 2号はダンジョン（迷宮）に入って、その出口にいるスフィンクスを倒さなければならない。ダンジョンの中は迷路になっていて、迷路の中には入手すべき宝箱や出口につながる扉がある。また、ダンジョンの中にはホイールダック 2号の邪魔をする敵や仕掛けられた罠もある。迷路については、その地図を事前に知ることのできる階もあれば知ることのできない階もある。スフィンクスとの戦いは論理的な「謎かけ」であり、スフィンクスの出す謎かけに答えることができるとスフィンクスを倒すことができる。

この間、開発者である人間がホイールダック 2号に触れることはできない。ホイールダック 2号は完全自律で移動し、スフィンクスを倒さなければならないのである。さて、どのような知能をホイールダック 2号に与えればよい

のだろうか。

1.4.3 ホイールダック 2号のスペック

ホイールダック 2号のハードウェアの設定について述べておこう。本項の内容はあくまで本書でホイールダック 2号を「育てて」いく上で、読者がリアリティを持つための設定資料であるので、ここは読み飛ばしても構わない。

ホイールダック 2号は車輪により移動する完全自律移動ロボットである。ペンギンをイメージしてデザインされたが、むしろアヒルに似ているがためにホイールダックと名付けられた。先行バージョンとしてホイールダック 1号が存在していたわけだが、本書では登場しない。

ホイールダック 2号の脚部には左・右・後ろに三つのオムニホイールが装備されている。オムニホイールとは、円周方向に自由に回転することのできる樽状の小さなリングが複数装着されている車輪であり、通常の子車輪のように前後に回転するだけでなく、車体を左右方向にも自由に動かすことができる。ホイールダック 2号はオムニホイールを三つ装着することで、全体として前後だけでなく、左右にも自由に並進移動できるようになっている。ホイールダック 2号は自動車のようにハンドルを回して徐々に右折・左折する必要がなく、真横方向にも移動することができる。これにより、ホイールダック 2号を動かす上で「向いている方向」を考慮する必要がほぼなくなるので、移動計画を考えるのが少し簡単になる。

ホイールダック 2号の頭部についている漏斗状の物体は 360 度カメラのミラーである。360 度カメラは上向きにカメラをおき、漏斗状のミラーに反射した周囲の光学情報を撮影することで、360 度全方位の画像を取得することができる。ホイールダック 2号は 360 度カメラにより自らが回転することなしに周囲の画像を取得することができる。例えば、後ろや横に壁があるかどうかは、このカメラによって認識することができる。

しかし、360 度カメラは広い範囲の画像を取得するために、どうしても解像度が悪くなる傾向がある。そこで、目の前にある物体の画像認識など、より詳細な情報が必要な場合のために、人間の目にあたる部分には高精度 CCD カメラが二基装備されている。二基あるため、ある程度、対象物体の遠近情報をとることも可能である。

ホイールダック 2号は音声認識と音声合成によって他の人間やロボットと会話をする必要がある。音声合成した結果を発声するために、口部にスピーカーが取り付けられている。また、音声入力については、図 1.7 には見えないものの複数の集音マイクが仕込まれている。

また、体内には高性能な計算機が備え付けられている。特に OS を限定する必要はないが、ここでは無償で配布されている Linux であるとしておこう。また、長時間運用のためのリチウムイオンバッテリーが最下部に装着されている。

ちなみに、左右にあり、両手のように見えるものは手ではなく、給排気口のフタである。これの内部には大型のファンが取り付けられており、計算機やモータから出る熱を放出することができる。雨の際にはこれを閉じることにより防水することができる。頭部の髪の毛のようなものは無線用のアンテナである。首には赤いマフラーが付けられているが、これはただの飾りである。

本書では上記のようなハードウェアを持っていることを前提として、ホイールダック 2 号がしっかりと活躍できるように知能をつくっていくこととしたい。

まとめ

- ・ 人工知能という学問の特色と歴史について概観した。
- ・ 人工知能の基本問題である、フレーム問題と記号接地問題について学んだ。
- ・ 機能主義の視点から知能の有無を確認するチューリングテストについて学んだ後に、その批判としての「中国語の部屋」の概要を学んだ。

章末問題



- ① 人工知能という言葉が使われたことから、人工知能研究の始まり、メモリアルな会議とされるダートマス会議が開催されたのは何年か答えよ。
- ② チューリングテストとは何か説明せよ。また、昨今、ソーシャル・ネットワーク上でボット (Bot) と呼ばれる自動発話エージェントが存在するが、チューリングテストで知能を持つと判定されるボットは現在存在するかどうか調査し、自らの意見を述べよ。
- ③ ホイールダック 2 号が外界を知覚するために持つセンサ系を三つ、外界に作用するために持つ広い意味でのモータ系を二つ答えよ。