

# 人工知能をはじめよう

.....

データサイエンティストにとって、人工知能(AI)は必須の知識です。ここでは、人工知能とは何か、なぜ人工知能を学ぶのか、そして人工知能はどのように発展してきたのかを見ていきましょう。

0.1

## 人工知能は知らない間に —— これもAI、あれもAI、きっとAI

### ※ 人工知能という言葉

人工知能、これは英語の「**Artificial Intelligence**」の訳語です。人工知能という言葉は、20世紀半ばごろにアメリカで初めて使われました。その後、人工知能の技術はどんどん発展していき、今では私たちの生活になくてはならない技術になっています。もっと言えば、人工知能の技術は、私たちの身近なところだけではなく、現代社会を支える重要なインフラ技術となっています(図0.1)。

### ※ 人工知能って何?

では、人工知能とは何でしょうか? 実は、人工知能に対するキチンとした定義は、まだありません。人工知能研究の歴史は100年にも満たないため、まだ、何をもって人工知能とするかについて誰もが納得するような定義が得られていないのです。

それでも、図0.2に示した(i)及び(ii)の2つは、「人工知能」の定義としてしばしば目にします。

図0.2の定義(i)は、人工知能をその言葉の通り、「人工の知能・知性」とする定義です。おそらく、多くの人はこの定義に賛成されるのではないでしょうか。

この種の人工知能は、フィクションの世界の中には大昔から存在しており、

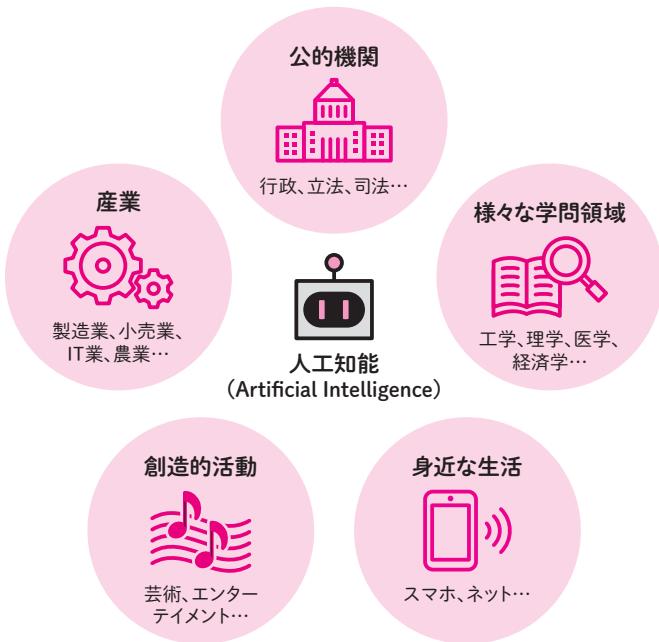


図0.1 人工知能の技術は、さまざまな分野で利用されている

- (i) 人工の知能・知性  
 (ii) 生物や人間の知的挙動にヒントを得た、ソフトウェア技術

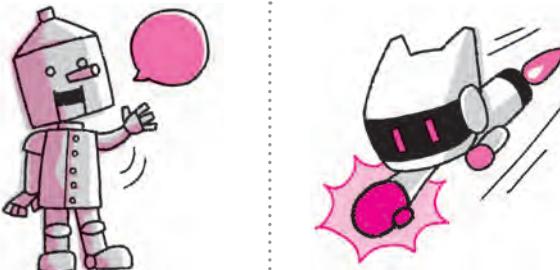
図0.2 人工知能の2つの定義

人形やモノがしゃべりだして知的にふるまうというおはなしが、神話や昔話に良く出てきます。近年では、人間に作られたロボットやアンドロイドが活躍するSFがたくさんあります(図0.3)。

ただ、残念ながら、現時点ではそういった「人工知能」はフィクションの世界の中だけの存在であり、現実には存在しないようです。

定義(i)に対して、定義(ii)はぐっと具体的な定義です。定義(ii)では、人工知能をソフトウェア技術、つまり、プログラムやデータの作り方であるととら

えています(図0.4)。ここでは、プログラムを作る際に、生物や人間の知的なふるまいを観察して、それをヒントにして賢いプログラムを作るやりかたを与えるのが人工知能である、と定義しています。



人形やモノがしゃべりだして  
知的にふるまう(神話や昔話)  
人間に作られたロボットや  
アンドロイドが活躍する(SF)

図0.3 定義(i) 人工知能は「人工の知能・知性」

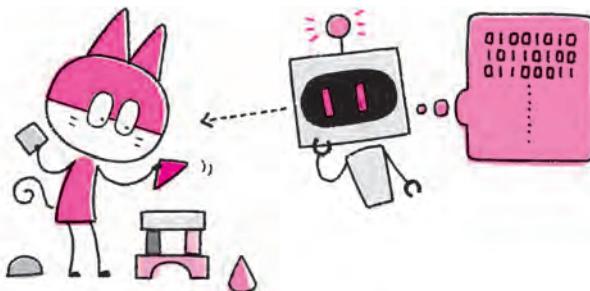


図0.4 定義(ii) 人工知能は「プログラムの作り方」

## ※人工知能の応用例

人工知能の研究者や人工知能を扱う技術者の多くは、定義(ii)の、「人工知能は生物や人間の振る舞いにヒントを得たプログラミング技術である」とすることに、反対しないと思います。

実際、定義(ii)の立場に基づく人工知能研究によって、さまざまな応用システムが生み出されています。表0.1に、こうして生み出された人工知能の応用例を示します。

表0.1 人工知能の応用例

技術の名称	説明	応用例
自然言語処理	自然言語（日本語や英語など）をプログラムで処理する技術	音声によるスマホ操作 機械翻訳
探索	データのなかから目的とする項目を高速に探し出す技術	ネット検索 表計算ソフト
機械学習	機械すなわちプログラムが学習によって賢くなる技術	制御 自動運転 画像認識
深層学習（ディープラーニング）	大規模な人工ニューラルネットによる機械学習技術	画像理解 文書理解
生成AI	深層学習を文書や画像の生成に利用する技術	チャット 画像生成 動画生成

これらについては、次章で改めて取り上げます。

## 0.2

### 人工知能はなぜ必要なのか？ — 人工知能を学ぶと社会が分かる、今が分かる、そして未来が分かる

#### ✿ ソフトウェア技術としての人工知能

人工知能研究の成果は、ソフトウェア技術としてさまざまなプログラムの作成に生かされています。表0.1に示したような応用例の他にも、実は、ワープロ（かな漢字変換）や、Java言語やPython言語のようなプログラミング言語、あるいは専門家の振る舞いを真似て人間の仕事を助けるエキスパートシステムなど、現代社会の中で当たり前に使われているさまざまなソフトウェアに、人工知能の研究成果が生かされています。

ソフトウェア技術としての人工知能を学ぶことで、社会を支えるソフトウェアについて理解することができ、結果として、現在そして未来の社会を知ることができます（図0.5）。

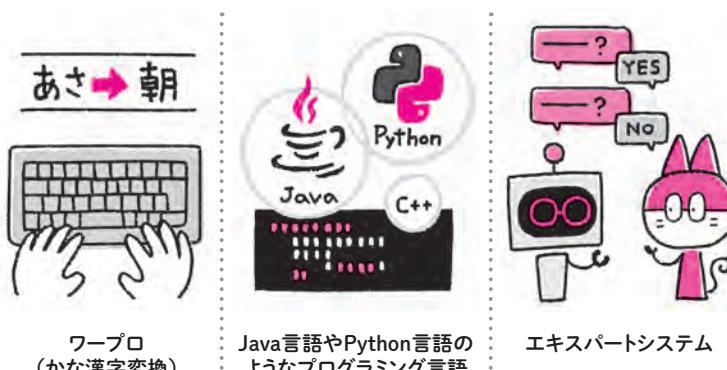


図0.5 社会を支える人工知能研究の成果

### ✿データサイエンスのツールとしての人工知能

データサイエンティストの立場からは、人工知能はデータ解析の重要なツールとしてとらえることができます。データサイエンスの世界には、重要な武器が2つあります。一つは**統計学**です。統計学は、従来の数学の枠組みから、データの解析や評価を行います。もう一つの武器は**人工知能**です。人工知能、特に機械学習の手法は、統計学だけでは解析しきれないようなデータに対しても、統計学とは異なる立場から解析を行うことが可能です。この意味から、人工知能はデータサイエンティストが使う重要な武器であると言えるでしょう(図0.6)。



図0.6 人工知能はデータサイエンティストが使う重要な武器の一つ

## ✿ 人工知能は数学? — データサイエンスは文理融合、数学は必要

データサイエンスはデータを扱う学問です。データには、数字で表現されたものその他に、例えば文字や文章、画像、音声、動画などさまざまな形式があります。しかしデータを扱う時には、データを数字として処理することが基本となります。従って、この時、統計学を適用するにせよ、人工知能を用いるにせよ、どうしても数学の知識が必要になります。

このような意味から、データサイエンスは「文系と理系の性質を併せ持った文理融合の学問である」と言われています。

ただし本書では、数学による表現は最小限に留めて代わりにプログラムによる表現等を用いることで、なるべく数式は使わないで説明を進めることにします(図0.7)。



図0.7 データサイエンスには数学が必須

0.3

## とりあえず、歴史 — 人工知能はここから学びましょう

### ✿ 20世紀中ごろ 人工知能の誕生

「人工知能」という言葉は20世紀中ごろに初めて使われるようになりましたが、人工知能の考え方自体はそれ以前からありました。ただ、人工知能を実現するためにはコンピュータが必要ですから、人工知能を具体化する技術はコンピュータが発明された以降に発達しました。

コンピュータが発明されたのは、実は20世紀中ごろです。世界最初のコンピュータが何であるかは議論の分かれることですが、例えばアメリカで開発

されたENIACというコンピュータは1946年に稼働を始めています。ただしアメリカでは、それより以前の1942年にABCというコンピュータが実験的に稼働しています。イギリスやドイツでも、同時期にコンピュータが相次いで稼働しています。

こうした中、1950年にイギリスの数学学者アラン・チューリングは、コンピュータに知能・知性があるかどうかについて考察した論文を発表しています。チューリングはこの論文の中で、チャットのような手段で行う会話において、会話の内容からは相手が人間かコンピュータか区別できないならば、そのコンピュータは知能・知性を持っていると判断して良いと主張しています。この考え方による知能・知性の判断方法を、**チューリングテスト**と呼びます(図0.8)。

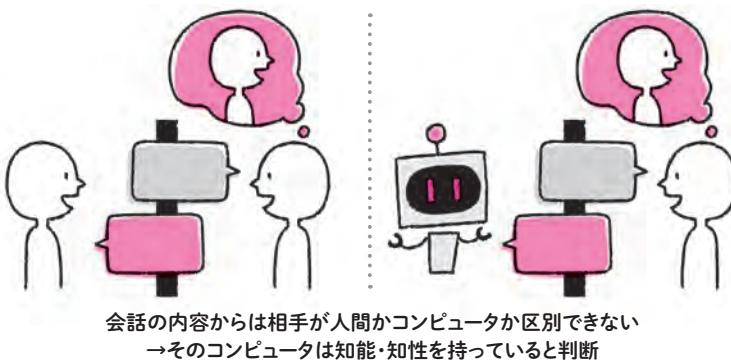


図0.8 チューリングテスト

チューリングテストにはさまざまな批判もあります。例えば、人間と見間違えてしまうようなチャットボットは比較的簡単に作成できます。しかし、1950年に発表されたことを考えると、チューリングテストはコンピュータの知能・知性についての初期の考察として重要です。

## ✿ 1950年代 人工知能研究の黎明期

人工知能、Artificial Intelligenceという言葉が初めて現在の意味で使われるようになったのは、1956年にアメリカのダートマス大学で開催されたダート

マス会議がきっかけであったと言われています。

ダートマス会議は、「会議」と言っても、コンピュータやソフトウェアを研究する研究者が集まって研究成果を発表する、夏季セミナーのような学術的集会でした。そこでは、知的なコンピュータプログラムの実現方法に関連するさまざまな研究が紹介され、研究者どうしが議論を重ねました。

ダートマス会議を主催した中心メンバーに、当時新進気鋭の研究者であったジョン・マッカーシーやマービン・ミンスキーやがいました。彼らはやがて人工知能研究の大御所となるのですが、ダートマス会議開催のためにマッカーシーが起案した提案書の中に、人工知能、Artificial Intelligenceという言葉が使われています。ダートマス会議は、人工知能研究を立ち上げて促進した、人工知能研究における重要な出来事であったと言えるでしょう。

## ✿ 1960年代から1970年代 人工知能研究の発展

ダートマス会議の後、1960年代から70年代にかけて、人工知能研究は大きく発展します。例えば、現在生成AIとの関係で注目されているチャットボットの研究は、1960年代に行われたジョセフ・ワイゼンバウムによるイライザ(ELIZA)の研究が、その起源とされています。また1970年代には、英語で命令することでロボットアームを動かして積み木の世界を操作するシュルドゥル(ShrDLU)というシステムが、テリー・ウィノグラードによって開発されています(図0.9)。

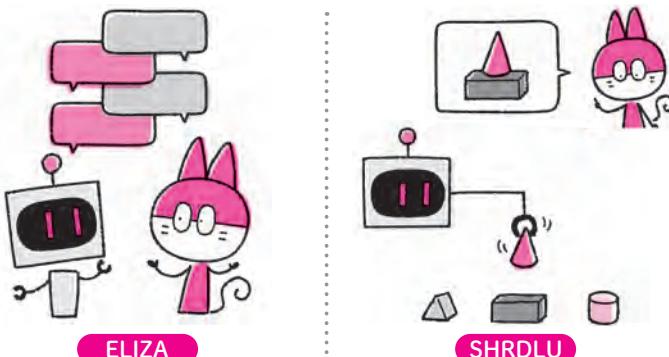


図0.9 ELIZAとSHRDLU

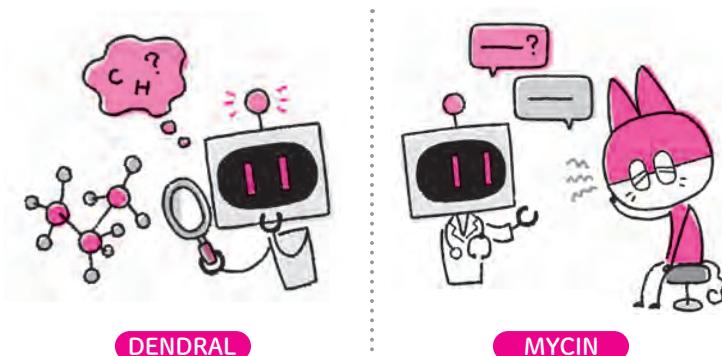


図0.10 エキスパートシステム

1970年代には、エキスパートシステムが実用化されています。世界初のエキスパートシステムと言われるデンドラル(DENDRAL)は1960年代後半に開発されました。DENDRALは、化学物質の組成を推論するエキスパートシステムです。また、1974年にはマイシン(MYCIN)と呼ばれる、感染症の診断に関するエキスパートシステムが開発されています(図0.10)。

以上のような成果を挙げたにもかかわらず、人工知能研究はこの後「冬の時代」と呼ばれる低迷期を迎えます。これは、当時のコンピュータの貧弱な処理能力では実用的な人工知能プログラムは作成しづらく、産業応用が進めにくかったことに起因すると思われます。

## ★1980年代

1980年代に入ると、人工知能研究は再び盛り上がりを見せます。例えば、70年代に開発されたエキスパートシステムが、医療や金融などの分野で実用化されます。また、身体を持ったロボットの研究も盛んになり、体を持つことが知能・知性の発現に必須だという**身体性認知科学**の考え方が示されました。

この時代には、**ニューラルネット**の研究が盛んに行われました。ここで言うニューラルネットは、生物の神経細胞の働きを数式でシミュレートした、人工ニューラルネットのことを意味します(図0.11)。

ニューラルネット自体は、実はコンピュータが発明されるよりも古い時代から研究されていましたが、1950年代に盛んに研究された後、いったん研究が

沈静化していました。しかし1980年代には、工業的な応用も含めて、ニューラルネットの研究が盛んに行われるようになりました。これは、ニューラルネットの学習手法である**バックプロパゲーション(誤差逆伝播)**が広く知られるようになったことに加えて、コンピュータの性能が上がったことが理由です(図0.11)。

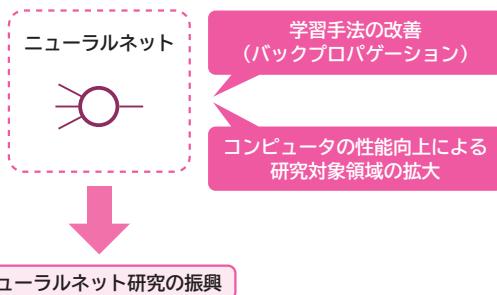


図0.11 ニューラルネット

この後、人工知能研究は再び冬の時代を迎えます。この時も、当時のコンピュータの能力で解決可能な人工知能研究の課題が一通り研究されつくされたことで、人工知能研究は低迷期を迎えました。

## ✿ 2010年代 深層学習の台頭

21世紀に入り、2010年代に**深層学習**の有用性が示されると、第3次人工知能ブームとでも呼ぶべき時代を迎えます。深層学習は、ニューラルネットを大規模化した**ディープニューラルネット**を使った人工知能の手法です(図0.12)。

深層学習は、初めは、**画像認識**、すなわち与えられた画像に何が移っているのかを判断する問題領域で、他の方法と比較して抜きん出た能力を示すことで注目されました。その後、深層学習は画像認識だけでなく、音声の認識や自然言語処理への応用がなされ、それぞれの分野で高い性能を発揮しています。

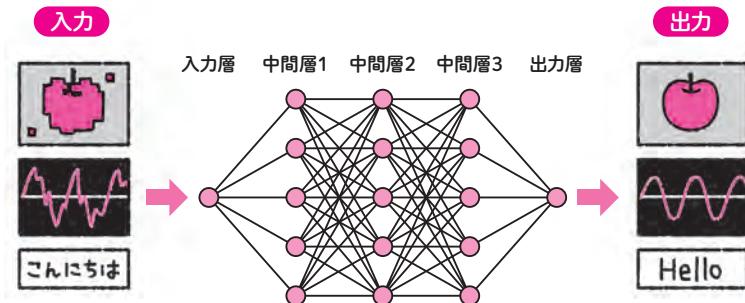


図0.12 深層学習

### ✿2020年代 生成AIの誕生

2020年代になると、深層学習を利用した自然言語処理において、指示に従って自然な文章を生成することができるディープニューラルネットが開発されました。これが**生成AI**です。ChatGPTやGemini、Copilotといった生成AIは、人間とのやりとりによってあたかも人間が書いたようななめらかな文章を生成できます。さらに生成AIは、文章だけでなく、画像や動画なども生成できます(図0.13)。

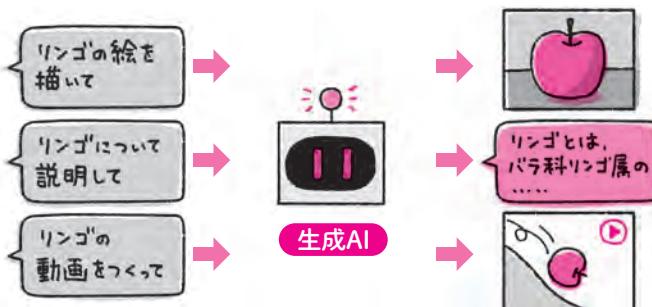
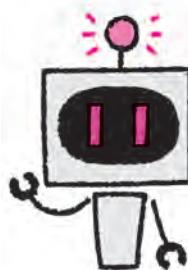


図0.13 生成AI

## まとめ

- 人工知能という言葉には、「人工の知能・知性」という意味の他に、「生物や人間の知的挙動にヒントを得た、ソフトウェア技術」という意味があります。
- 人工知能は現代社会を支えるソフトウェア技術であり、さまざまな分野で利用されています。
- データサイエンスの世界では、人工知能は統計学と並ぶ重要な技術です。
- 20世紀半ばに始まった人工知能研究は、ソフトウェア技術の分野においてさまざまな成果を挙げています。



# あれもこれもAI 生活に密着する人工知能技術

人工知能技術は、社会を支えるインフラから私たちの身近な部分まで、さまざまな領域に浸透しています。この章では、こうした人工知能技術をいくつか取り上げて、人工知能技術の基礎を説明します。

## 1.1

### 「ヘイSiri」で始まる自然言語処理 — 自然言語(ヒューマン)とコンピュータの言語

#### ✿「ヘイSiri」と「アレクサ、おやすみ」

私たちの生活に密着した人工知能の応用技術の一つに、AI音声アシスタン  
トと呼ばれるソフトウェアがあります。具体的には、スマホで使えるSiri  
(Siri)や、スマートスピーカーと呼ばれるデバイスで利用できるアレクサ  
(Alexa)などがあります。AI音声アシスタントを用いると、音声でスマホやス  
マートスピーカーに話しかけるだけで、情報検索や機械の制御などの機能を利  
用できます(図1.1)。



図1.1 「ヘイSiri」と「アレクサ、おやすみ」

私たちはこうしたAI音声アシスタントを当たり前のものとして利用していますが、実はその裏では、さまざまな人工知能技術が利用されています。AI音声アシスタントが行っている、言語の処理に係る技術を、**自然言語処理**の技術と呼びます。自然言語処理は人工知能を構成する一つの領域です。

## ✿ 自然言語と人工言語

自然言語処理について説明する前に、前提として、「自然」言語とは何かを説明します。人工知能の世界では、英語や日本語のような言語を**自然言語**と呼びます。自然言語は、人類やある種の生物の集団が、その歴史とともに自然発生的に生み出して発展させてきた、意思疎通や記録、あるいは思考のための手段です。単に「言語」と言うと、普通それは自然言語を意味します。

ちなみに、自然言語以外の言語、つまり自然発生的に生まれてきたのではなく人為的に作成された言語のことは、自然言語に対して**人工言語**と呼ばれます。例えば、C言語やPythonのような**プログラミング言語**や、人為的に作成された言語であるエスペラント語などは、人工言語の例です(図1.2)。

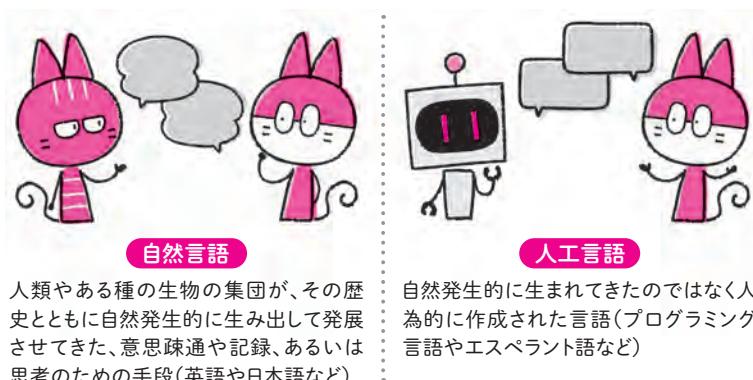


図1.2 自然言語と人工言語

人工言語の世界で自然言語処理技術というと、英語や日本語を処理する技術を意味します。コンピュータは本来英語や日本語を理解しませんが、自然言語処理技術を用いることで、コンピュータで英語や日本語を処理できるようになります。

## ✿ 自然言語処理技術の例

自然言語処理技術によって作成された自然言語システムの例を表1.1に示します。

表1.1 自然言語処理システムの例

名称	説明
音声入力	音声を聞き取って文字データに変換する。AI音声アシスタントの入力技術でもある。
AI音声アシスタント	音声でスマホやスマートスピーカーに話しかけるだけで、情報検索や機械の制御などの機能を利用することができる。
機械翻訳	自然言語で記述された言語を、他の自然言語に変換する。例えば英語のWebサイトを読み込んで日本語に翻訳したり、日本語で書いた文章を中国語に翻訳したりする。
文字読み取り(OCR)	手書きあるいは紙に印刷された文字を、カメラやスキャナを用いて画像として読み込み、そこに書かれている文字を判別して文字データに変換する。
チャットボット	人間が入力した文を解析して、その返答を人間に与える。無目的な対話を行うものの他に、特定の情報についての情報検索を行うなど目的を持った対話をを行うチャットボットもある。
類似文書検索	利用者から入力された文書を手掛かりに、関連する文書を検索する。
文章の要約や生成	利用者の指示に従って、文章を要約したり、新たな文章を生成する。

以下、表1.1に示した自然言語処理システムについて説明します。

## ✿ 音声入力とAI音声アシスタント

**音声入力**は、人間の発する音声をマイク等でとらえてコンピュータに取り込み、音声に含まれる自然言語の情報を抽出する技術です。音声入力を用いると、音声を聞き取って文字データに変換することで、キーボードやタッチパネルを経由せずに音声で文字を入力できます。また、入力した情報に従ってコンピュータやスマホを操作することも可能です(図1.3)。

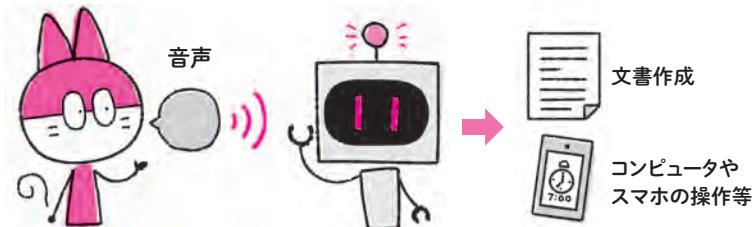


図1.3 音声入力

### ✿ 機械翻訳

機械翻訳 (machine translation) は、英語から日本語、あるいは日本語から中国語への翻訳を、コンピュータプログラムが自動的に行う技術です。機械翻訳という言葉のうちの「機械 (machine)」は、この場合にはコンピュータのプログラムという意味を持ちます (図1.4)。

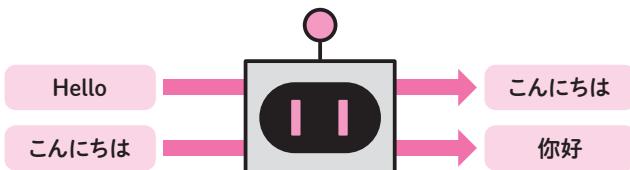


図1.4 機械翻訳

### ✿ 文字読み取り

文字読み取り (OCR, Optical Character Reader) は、カメラやスキャナを用いて読み込んだ文字の画像を解析して、文字情報を取り出す技術です。対象とする文字は、印刷された活字の他、人間が手書きした文字も含まれます。解析の難しさとしては、印刷された活字の方が易しく、手書き文字の認識はそれよりも難しい問題です (図1.5)。

文字読み取りの技術は古くから研究されていて、例えば郵便で使われる郵便番号の読み取りについては、1960年代から実用的に利用されています。郵便番号は手書きされるのが普通ですから、郵便番号の読み取りは印刷された活字の読み取りよりも難しい問題です。ただし郵便番号は0から9までの数字し

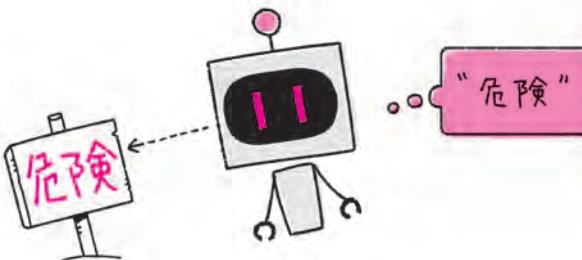


図1.5 文字読み取り(OCR)

か扱いませんから、たくさんの種類の文字を読み取らなければならない一般的な文字読み取りの問題と比べると、その分だけ問題が易しくなっています。

### ✿ チャットボット

ワイゼンバウムのイライザに端を発したチャットボット研究は、現在、生成AIという形で大きな発展を遂げています。チャットボットの構成には、自然言語処理技術をはじめとするさまざまな人工知能技術が利用されています。

チャットボットは、人間の入力した文を読み取る文解析部と、解析結果から応答文を作成する文生成部から構成されます。生成AIを用いると、解析と生成を一連の流れとして構成することができます(図1.6)。

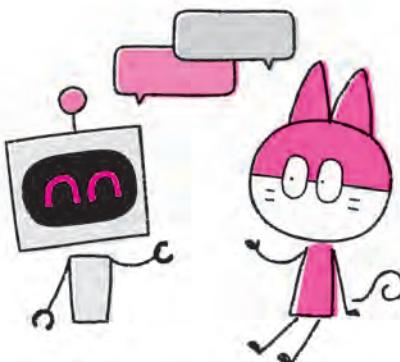


図1.6 チャットボット

## ✿ 類似文書検索

類似文書検索は、利用者から入力された文書を手掛かりに、その文書と類似する文書を検索する技術です。2つの文書の類似性を数値的に計算することで、類似した文書を探し出します(図1.7)。

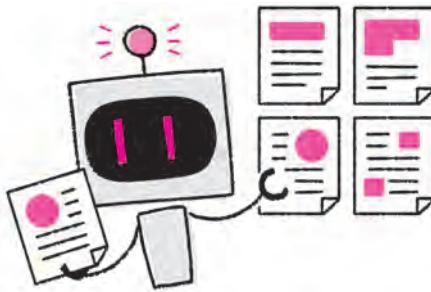


図1.7 類似文書検索

## ✿ 文章の要約と生成

自然言語処理技術を応用すると、文章の要約や生成、つまり、利用者の指示に従って、文章を要約したり、新たな文章を生成したりすることができます。

文章の生成は、生成AIの得意分野です。また生成AIを用いると、文章の要約も行うことが可能です(図1.8)。

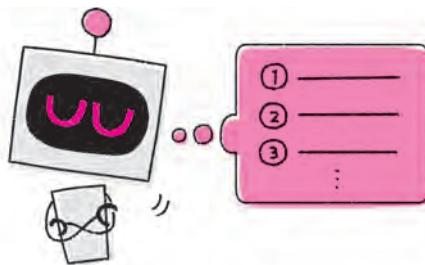


図1.8 文章の要約と生成

## ✿ 自然言語処理の手続き

自然言語処理はさまざまな処理過程を経て実現されます。図1.9に、自然言

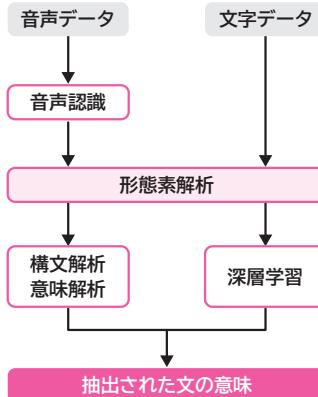


図1.9 自然言語処理の一般的な処理過程

語処理の一般的な処理過程を示します。

図1.9で、人間から与えられる入力には、音声データと文字データの2種類があります。

音声データはマイク等を通してコンピュータに入力される時系列信号、すなわち時間の経過とともに変化するアナログ信号です。音声データはディジタルデータに変換することでコンピュータに取り込みます。この過程をA/D変換(アナログ/ディジタル変換)と呼びます。取り込んだディジタルデータをプログラムで解析することで、文字データに変換します。

文字データは、はじめに適当な長さの文字の集まりに切り分けられます。この操作を一般に**形態素解析**と呼びます。ここで形態素とは、文を構成する部品のことであり、いわゆる単語は形態素の一種です。形態素解析では、単語レベルでの区切りを与える他、さらに細かい**サブワード**のレベルで区切りを与える場合もあります。

伝統的な自然言語処理では、形態素解析によって形態素に分割された文を、さらに**構文解析**、**意味解析**といった解析段階を経て、意味を取り出します。現代的な深層学習ベースの自然言語処理では、形態素の並びを深層学習の手法で直接学習して、その学習結果を元の文の意味であるとして出力します。

## ✿ 深層學習と自然言語処理

本書の後半で示すように、深層学習では、処理対象のデータは必ず数値でなければなりません。このため、自然言語処理に深層学習を適用するためには、文字による文の表現を、数値による表現に変換しなければなりません。このため深層学習を用いた自然言語処理においては、形態素解析によって得られた単語やサブワードの並びを、複数の数値による表現に変換してから、深層学習の手法を適用します。このような表現方法を単語の**分散表現**と呼びます（図1.10）。分散表現の計算には、例えばWord2Vecという方法があります。

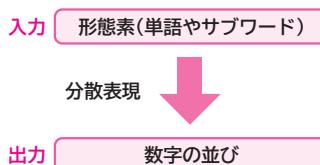


図1.10 分散表現 文字による表現から数値による表現への変化

？プログラミング例題 チャットボットのプログラム

自然言語処理の例題として、Pythonを使ってチャットボットを作成してみましょう。実行例 3.1 のようなチャットのできるチャットボットを考えます。

### 実行例3.1 チャットボットchat.pyの動作例(下線部は人間の入力)

さくら：こんにちは！

あなた：こんにちは、さくらさん。

さくら：わたしはさくらです。あなたのお名前は？

あなた：わたしは佐藤です。

さくら：そうなんですね～

あなた：今日の天気はどうですか？

さくら：今日はこちらは晴れていますよ。

あなた：こちらは曇りです。

さくら：そうなんですね～