

## 第3講 知識が翼を得る瞬間－知識表現と エキスパートシステムの知の舞

### 【学習到達目標】

- ・ 第五世代コンピュータプロジェクトを説明できる。
- ・ 知識表現形式、機械翻訳、エキスパートシステムについて事例を挙げて説明できる。
- ・ 知識（暗黙知）獲得の問題について考えることができる。

### 1. 第2次AIブーム「知識の時代」

第2次AIブームは1980年代に始まり、脳神経の学習モデル、知識のコンピュータへの蓄積、第5世代コンピュータの開発、チェスプログラムがチャンピオンに勝つなど、種々の進歩がありました。

#### ・ AIは哲学の最前線

2019年3月「AIは哲学の最前線」を講演された長尾真・京都大学元総長は、「AIの歴史と本質」について次のように講演されました。

#### ・ AIの歴史と本質

「AIの歴史を紐解いてみますと、1956年にコンピュータ計算だけではなく、人間の知的能力を実現できるのではないかと、アメリカを中心に始まったわけです。当時、AIの中心テーマは、定理の証明、文字、図形、風景などの認識、音声の認識や、言語の翻訳などでした。

1980年代に脳神経の学習モデル、知識のコンピュータへの蓄積、第五世代コンピュータの開発、そしてチェスプログラムが人間の世界チャンピオンに勝つなど数々の進歩がありました。しかし、実際の社会に役立つことにはなりません。2000年代に入って学習プログラムも抜本的進歩を遂げ、深層学習、巨大なデータの利用の実現などがあり、AIの実用化の時代に入ったといわれています。世界の数々の現象というのは基本法則、例えばニュートンの力学、量子力学というものがあって、それに各分野の固有の法則、例えばオームの法則や流体力学で説明してきているわけです。

もっと精度を上げたり、法則では説明できない事象、例えば経済現象については膨大なデータから経験的に学び、未来を予知することを行ってきました。

人工知能も認識、記憶、推論、学習の機能を持って、外界現象を認識して、記憶しました推論して、判断をし、行動するということが行われてきました。人工知能の本質は、これらの働きを通じてだんだんと賢くなっていく学習能力を持つことでありました。」と話しています。

第2次AIブームで中心的な役割を果たしたのは知識表現の研究とエキスパートシステムでした。その時、人工無能というような言葉でチャットボット（チャットのロボット）が登場してきました。チャットボットの始まりはイライザです。チャットボットは、おしゃべりロボットといったコンピュータ・プログラムで、あらかじめ定められたルール手順に沿って会話を機械的に処理します。チャットボットは、実際には会話内容を理解しているわけではありません。チャットGPTも、チャットボット的一种なので実際に会話を理解しているわけではありません。事前に学習した学習データに基づいて統計処理を行い、答えを返しているという訳です。

### ・イライザ（ELIZA）

チャットボットの代表的な例として、「イライザ」があります。

1964年から1966年、MITの教授のヨゼフ・ワイゼンバウムによって開発されました。相手の発言パターンに応じた回答を行うもので、初期に成功したチャットボットと言われています。余り良くできていたので、チャットボットの質疑応答を人間の質疑応答と見なしがちになるという「イライザ効果」と言う言葉もできました。イライザの会話では、人間は「パラノイア」といわれる精神分裂症の患者で、イライザは、パラノイアを診断する医者です。

チャットボットの歴史を見て分かるように、チャットボットはイライザに始まり、ワトソンを経て、Amazon Lex等というように多数存在します。「チャットGPT」や「BARD（現Geminin）」もこの中の一つです。

## 2. 第五世代コンピュータプロジェクト

第五世代コンピュータというのは、第4世代のLSIを超えるVLSI（超LSI）使っており、第五世代コンピュータにどれくらいの知能を乗せるかがポイントで、並列処理できる記号論理を使っています。並列処理であれば、高速で知能処理ができるだろうと考えられたわけです。

第五世代コンピュータ・プロジェクトの計画づくりは、1978年の秋から準備が始められました。そのねらいとするところは、10年～20年後のコンピュータを設計することでした。1982年4月第五世代コンピュータは、国家プロジェクトとして開始されました。狙いは1990年代の汎用コンピュータの開発でした。1983年国際会議「FGCS'81」が東京で開催され、エドワード・ファイゲンバウム教授が「エキスパート（専門家）システムとは、さまざまな職業の分野で人間の専門家と同じレベルで仕事をするコンピュータ・プログラムのことである」と強調しました。第五世代コンピュータの設計思想の中核は論理プログラミング（PROLOG）と超並列でした。

1982年の4月に国家プロジェクトとして、開始されてから約10年以上継続しました。その間、国家予算約540億のお金が投資されました。当時の約540億は、2023年現在換算では10倍以上になるでしょう。狙いは知識情報処理を行う人工知能でした。

第五世代コンピュータのパーソナルユース（個人利用）としては個人用逐次推論マシン「PSI」（Personal Sequential Inference machine の略）がありました。論理型言語の高速なプログラミング環境を提供するため、設計当時市場に出た256Kビットのダイナミックメモリ素子を用い最大16M語まで実装可能でした。2023年現在、ちょっとしたスマホなんかでも2GBビット語を搭載していますが、当時は16MBというのはすごいことでした。

第五世代コンピュータの中心部には、ICOTが設計・開発した知識ベースマシン「DELTA」がありました。DELTAは関係モデルに基づいてデータベースを管理しており、データベースの管理が非常に得意でした。

#### ・論理型プログラミング言語プロログ（PROLOG）

論理型プログラミング言語プロログというのは、1972年頃フランスのアラン・カルメラバーとフィリップセルによって考案されたものです。プロログプログラムのプログラムは論理式として読めます。論理式のBかつCかつDならばAであるというような表記は、プロログ（PROLOG）では次のように記述します。

A :- B, C, D.

(論理式：  $A \leftarrow B \wedge C \wedge D$ )

(意味) BかつCかつDならばAである。

「:-」は論理記号の「←」(ならば)に相当します。

「日本語を処理する」という三段論法は、このプロローグでかけます。

「日本語を処理する」脳の研究も重要です。目で見たと情報は「視覚中枢」を、耳から聞いて情報は「聴覚中枢」を、それぞれ経由して「Wernicke中枢」に集められます。その後、「概念(思考)中枢」を経たりして、「BROCA中枢」に至ります。BROCA中枢は、運動性言語中枢とも呼ばれ、言語処理、及び音声言語、手話の産出と理解に関わっています。

「数学の言葉」のプログラムの実行は、「数学」と「論理学」の定理の証明を機械的に行うことになります。例えば、「数学」の「 $1 + 1 = 2$ 」は真であり「 $1 + 1 = 3$ 」は偽です。

「論理学」の例では、知識①「ソクラテスは人間である」と知識②「人間は死すべきものである」から、新知識「ソクラテスは死すべきものである」が得られます。与えられた知識から新しい知識を得ることを推論(三段論法)と言います。

論理プログラミング言語PROLOGのプログラムの実行は、次のように定理証明を機械的に行います。大前提「すべての人間は死すべきものである」と小前提「ソクラテスは人間である」から、結論「ソクラテスは死すべきものである」が導き出されます。これをPROLOGで記述すると次のようになります。

```
mortal(X):-human(X).
```

```
human(Socrates).
```

```
mortal(Socrates).
```

次の例では、「全ての飛行機は空を飛ぶ」と「ボーイング747は飛行機である」から「ボーイング747は空を飛ぶ」と推論(定理の表明)できるというわけです。

```
flies(X):-A I rplane(X).
```

```
A I rplane(boeing747).
```

```
flies(boeing747).
```

PROLOGを使えば、機械的に定理の証明ができるわけです。

## ・ 談話理解実験システム : DUALS

談話理解実験システム「DUALS」(Discourse Understanding AI medat Logic-based Systems の略)は、次の例文では規則数は60規則、語い数は100語程度です。次の対話は、談話理解実験システム「DUALS」の実行例です。

「あと1時間でマニラへ着こうという時に、どうしたことが急にエンジンから白い煙が吹き出しました。

これを発見した機長のロールさんははっとしました。

(「これ」は「前の文全体の状況で、「機長」は「ロールさん」と理解する)

もし火でも吹こうものなら飛行機は爆発してしまいます。

(O(目的) 代名詞は「エンジン」と理解する)

下は広々と広がる太平洋です。

(O 代名詞は「飛行機」と理解する)

そうすると50人の乗客の命はどうなるでしょう。

(「そうすると」は「飛行機が爆発する」と理解する)

ロールさんは急いでスチュワーデスの淵上さん呼びました。

(「ロールさん」は「機長のロールさん」と理解する)

そしていざというときの用意するように命じました。

(O 代名詞は「ロールさん」、O 代名詞は「淵上さん」と理解する)

淵上さんの顔がひきしまりました。

『お客さまにお知らせしますか』

(話者は「淵上さん」、聴者は「ロールさん」、O 代名詞は「淵上さん」、お客さまは「乗客(文v)」、O 代名詞は状況と理解する)

『なんとかこのまま飛んでみる、お客さまには知らせないほうがよい』

というように、代名詞や状況等を理解しながら談話処理が行われます。

## ・第五世代コンピュータの辞書システム

第五世代コンピュータの辞書システムは次のようになっています：

見出し語【あびる】 . . . . . 0063

・読み1：1[あ-び-る]

・品詞1:動詞(DX)

・活用情報:語幹→あ

活用種→上一段(K 1) 活用形→バ行(BG)

・シソーラスコード1：A

・格支配パターン1：

[SP | MOA] { {が} A+ [NOO] {を} 0

・例文1：

太平洋のビキニ島で行われたアメリカ合衆国の水爆実験によって、日本の漁船「第五福竜丸」が放射能の灰を{あび}、そのために、やがて乗組員の中に死ぬ者が現れました、(出典：109069)

見出し語【あふれ】 . . . . . 0064

・読み1：1[あ-ふ-れ-る]

・品詞1:動詞(DX)

辞書というのは、例えば「放射能をあびる」の「あ」は、動詞の語幹で、活用種は「上一段」(略称は「k1」)です。動詞の語尾は、活用形「バ行」(略称は「BG」)です。意味分類コードの一種の「シソーラスコード」は「1：A」で、格文法の「格支配パターン」は「1：[SP | MOA] {が}A+[NOO]{を}0」です。

つまり、格支配パターン1は、シソーラスコードAの主格([SP | MOA])が、シソーラスコードOの目的格([NOO])を、動詞(あびる)の意味構文パターンで構成されることを意味します。さらに、動詞(あびる)の例文も辞書に記載されています。

## ・第五世代コンピュータの再評価

現在、第五世代コンピュータの再評価が行われています。

今日「人間中心のA I」では「A Iがどのような判断をしたか」をA Iが説明することが要求されています。これは、「A I倫理」の問題とされています。

「人間中心のA I」という時代の要望に応えるため、論理的に説明できる第五世代コンピュータの技術を活用しようと言う研究者も現れて来ています（2020 A I Summit、カナダの講演者）。

このように、A Iの歴史を理解することによって新しい問題に活路が見つかるかもしれません。よく昔から言われてますが「故きを温ねて新しきを知る（ふるきをたずねてあたらしきをしる）」と言いますが、第五世代コンピュータの再評価により「説明できるA I」に活路ができるのではないかと考えています。

### 3. 知識表現形式

知識表現にはいろいろありますが、まず意味ネットワーク（セマンティックネットワーク）は現在の人工知能において重要な知識表現の方法の一つとなっています。セマンティックネットワークは、もともと認知心理学における長期記憶構造のモデルとして考案されました。セマンティックネットワークは概念をラベル付きのノードで表現し、概念間の関係をラベルについたリンクと、リンクで結んだネットワークとして表しています。

#### ・オントロジー

オントロジーはセマンティックネットワークを更に発展させたものです。オントロジーは、本来は哲学用語で「存在、または存在に関する体系的理論」という意味で使われています。オントロジーのA Iでの定義は、「概念化の明示的な使用」とされています（トム・グルーパー）。

1984年サイク（CYC）プロジェクトが開始されています。サイク・プロジェクトの目標は、「一般常識全て、森羅万象をコンピュータに取り込み知識ベース化し、人間と同等の推論を行うシステムを構築する」プロジェクトということです。1984年グラス・レナートによりスタートし現在も継続中です。人間の一般常識がいかに膨大か、形式的な記述がいかに難しいかがわかります。

以下は澤井進が考案した知識表現形式です。特長は、言葉で伝えられない匠の技のノウハウや顔の表情などといった「暗黙知」を記述するために動画を活用する点です。「動画知」、言葉で伝えられる「自然言語知」と、検索するためのIEEE準拠の「メタデータ」という3項組の知識表現となっています。

## ・ワトソン

知識表現を使って、エキスパートシステムの延長上で有名になったのがIBMの「ワトソン」というものです。2011年米国のクイズ番組「ジェパディ」に出演し、歴代の人間チャンピオンに勝利したことで、ワトソンは一躍有名になりました。実際にチャンピオンになると賞金が支払われます。IBMのワトソンは基本的には質疑応答システムです。ウィキペディアの情報をもとにライトウェイト・オントロジーを生成して、それを解答に利用しています。

## ・東ロボ

2019年日本で東大入試合格を目指す人工知能「東ロボくん」の開発がスタートしました。2016年6月の進研ゼミの模試では、偏差値57.8をマークしてほとんどの著者立大学に合格できるレベルに到達しました。

しかし東ロボくんは質問の意味を理解しているわけではないので、読解力に問題があります。何らかの技術的なブレイクスルーがない限り東大合格が不可能という理由から、2016年に開発が凍結されました。

国立情報学研究所の新井紀子教授は、「深い意味を広範囲で読解しなければならないタイプの問題や抽象的な類推を必要とするような問題は今の時点では難しい。これまでの研究成果から分かったことは、子供は、AIよりも暗記や計算で劣っているからAIに負けたのではなくて、実はAIと同じように意味を理解しないで無理に問題を解いていたから負けたらしいということがわかってきました。正直言って東ロボの成績を上げるよりも中高校生の読解力を向上させる方が、国民としては喫緊の課題なのではないか」と話しています。

## 4. 機械翻訳

長尾真先生は「言語はAIで最も重要なものである。言語の翻訳（機械翻訳）は60年以上かけて研究され、ようやく実用に供されるようになってきました。テキスト翻訳は、テキスト入力、形態素・構文解析、相手言語の構造への変換、単語の入れ替えと、相手言語のテキストの生成で処理されます。

それには膨大な辞書が必要です。膨大な翻訳用例の蓄積が必要です。用例の翻訳をなぞって機械翻訳する訳です。一方、音声翻訳では、音声認識によってテキストに直す、テキスト翻訳及び、テキストを音声合成によって出力します。

機械翻訳の実用化で社会が変わります。対話（音声）翻訳や文書の翻訳によって世界中の人同士の意思疎通が良くなり、他国の社会や文化的背景がわかり、相互理解が深まり、世界の平和につながるという長所があります。人は外国語を学び、話したり、書いたりできるようになれば、機械翻訳システムをよりうまく使えるようになります。また他国の文化や人間性がよりよく理解でき、相互の信頼度が密になります。したがって、機械翻訳が実用になったからといって、外国語を学ぶことの大切さは減じないでしょう」と講演されました。

機械翻訳システムは①機械辞書(機械翻訳用の辞書)、②文法規則と③アルゴリズム(機械翻訳プログラム)からなります。機械翻訳システムには元の言語と目標言語との間にどのような処理を置くかによって大別して3つのタイプに分けることができます。一つは「融合方式」または「ダイレクト方式」というような方式です。例えば日本語から英語に直接翻訳を持っていくようにする機械翻訳方式です。二つ目は、「トランスファー方式」です。解析フェーズ、変換（トランスファー）フェーズと、生成フェーズに分けて処理する機械翻訳方式です。三つ目は「ピボット方式」です。一旦エスペラント語のような形で、日本語とか英語のように、翻訳対象文と翻訳文にもないような中間言語を介する機械翻訳方式です。中間言語表現までの解析と生成だけを作成すれば、各国語間の機械翻訳ができというものです。

融合方式では、英語と日本語の文の段階が「私は持っている」とか「Apple」は「リンゴ」といった個別の対応関係をシステムが直接データベースに保存しており、パイナップルと与えられた際にはもうすぐに考えられた断片の組み合わせの中から、出力文「私はリンゴを持っている」というのを出力するというようなものです。

トランプア方式では解析処理、変換処理、生成処理が別々になった例になっています。例えば「私は本を持つ」というような文章が入ると、まず辞書を引いて、「I、 a、 book、 have」と変換します。続いて、英語変換処理で、主語、動詞、目的語という順に並べ替えて、「I have a book」と変換します。これがトランスファー方式です。機械翻訳プロジェクトは世界中に沢山あり、各社が競って作っていましたが、今は殆ど残っていません。

## ・ルールベース機械翻訳 (R B M T)

機械翻訳の解析法には次の5段階があります。まず、「形態素解析」です。形態素解析ということで意味のある最小単位の形態素を解析します。続いて、「構文解析」(s y n t a c t i c p a r s i n g)で自然言語の文の構造を解析します。続いて、「意味構造解析」(s e m a n t i c p a r s i n g)で文が表す意味構造を認識します。続いて、「意味解析」で単語の意味に深く踏み込んだ解析を行います。解析フェーズの最後は、「文脈解析」で文章全体の意味を考慮した自然言語の処理を行います。「文脈生成」で文章全体の意味を考慮した自然言語の生成を行います。2017年にトランスフォーマーが出て、文脈解析と文脈生成までうまく処理できるようになりました。

## ・統計的機械翻訳 (S M T)

長尾先生の機械翻訳方式は「統計的機械翻訳」(S T M)と呼ばれていますが、当時は日英対訳用例「Eコーパス」を使った「用例翻訳」と呼ばれていました。統計的機械翻訳は、第2次A Iブームの産物ですが、日米コーパスを学習した翻訳モデルと言語モデルを使います。例えば「昔々」ということがあると、翻訳モデルの方で60%の確率で「あるところに」という言葉が出てくると予測します。翻訳モデルは、出現頻度から、こういう言葉が出てくると、次にこういう言葉が出現するのは何パーセントというような情報が入っています。言語モデルの方も出現頻度で、例えばこのような場合には、「おじいさん」の出現頻度は30%で、「おばあさん」の出現頻度は40%の確率であるというような情報が入っています。第三次A Iブームのニューラル機械翻訳になると、ニューラルネットの中間層にその言語情報を全て教え込んでいきます。それで機械翻訳をやっていくというのが第三次A Iブームの機械翻訳です。

## 5. エキスパートシステムと知識(暗黙知)獲得の問題

第2次A Iブームでは知識獲得の問題が浮かび上がって来ました。エキスパートシステムは各専門分野の知識を取り込み、その分野の専門家(エキスパート)のように振る舞うシステムです。

有名なエキスパートシステムは「デンドラル(D E N D R A L)」と「マシン(M Y C I N)」です。

## ・デンドラル

デンドラルは、1965年スタンフォード大学エドワード・ファイゲンバウム教授が開始したプロジェクトで、未知の有機化合物を質量分析法で分析し、有機化学の知識を使って未知の有機化合物の分子構造を特定するものでした。DENDRALは、化学者が行うような判断と問題解決の過程を自動化したものであるため、世界初のエキスパートシステムとされています。DENDRALの成功により、巨大な知識ベースを利用する知識工学（knowledge engineering）という新しい学問分野が始まり、日本の第五世代コンピュータ・プロジェクトにも大きな影響を与えました。

## ・マイシン

マイシンは1970年代スタンフォード大学で開発されたもので、DENDRALから派生したもので、血液中のバクテリアの診断、緑膿菌の有無の診断支援をするものです。感染症の専門医が正しい処方する確率は80%で、マイシン自身は69%ですが、開業医の内科医の40%よりはるかに良い成績です。500ルールを持ったルールベースのLISPプログラムになっています。簡単な質問に順番に答えていくと、感染した菌を特定し、それに合った抗生物質を処方するというシステムです。あたかも感染症の専門医のように振る舞うことができました。

診断のための対話というのは、例えば「培地全体はどこ？」という問いに「血液だ」と、「細菌グラム染色の分類の結果は？」という問いに「ネガティブ」と、「細菌の形は？」という問いに「棒状」と、「患者の痛みはひどいか？ひどくないか」という問いに「ひどい」と回答した場合は、診断結果として「細菌は緑膿菌である」と判定します。専門家の知識を扱った利用の領域で、あたかも専門医と対話しているような、視点の機能や説明機能を備えていることで、エキスパートシステムの実例として大きな注目を集めました。これならビジネスでやってみようということで、第二次AIブームが開いたわけです。

## ・知識獲得の問題

エキスパートシステムの開発は知識獲得の問題があって、人間の専門家からの知識獲得はとても困難でした。専門家の知識の多くは経験的なものであり、またその知識が豊富であればあるほど「暗黙知」であるため、つまり言葉では説明できないものでした。

例えば、優れた内科医は、患者の顔を見たり、聴診器を患者の胸に当て患者の体の音を聴くだけで、かなりの程度で病状を判断できます。どのような表情を見分け、どのような音の違いを聴き分けているのか、言葉で説明することは難しく、分かっているのにうまく言えない知識です。マイケル・ポラニーは、言葉では説明できないが、理解して使っている知識があることに気付き、「暗黙知」と名付けました。暗黙知を自発的に述べてもらうことはほとんど不可能であり、上手にヒアリングで取り出さなければなりません。

知識獲得の問題は今後に残されています。エキスパートシステムが扱うような一部の専門家だけが持つ高度な知識は明示的で体系化が終わっている場合が多い。常識的な知識は「暗黙知」で明文化されていないことが多く、このような知識をコンピュータで扱うのはとても難しい。知識を共有したり再利用したりする方法も問題になり、コンピュータで知識を扱うための方法論（意味ネットワークやオントロジーなど）が注目されるようになった。

経験から得られる暗黙知とは、一言で言えば、言葉で説明できない知識です。別の言い方をすると言語化しがたい知識です。暗黙知は、経験や五感から得られる適切な知識で、身体的なものとか、匠の技があります。それに対してコンピュータで処理できる知識は、言語化された明示的な知識で、「形式知」と言われます。言葉で語れるような知識はコンピュータで処理できます。

言語化してない暗黙知はコンピュータでは処理しにくい。動画知には暗黙知が含まれるので、動画を上手く使えばいいのではないかと考えられています。

## 課題

A I 搭載の自動運転の車は、信号無視で突然歩行者が飛び出した時、壁に激突しても歩行者を救うべきか、それとも歩行者を犠牲にしてドライバーの命を救うべきか？について考察し、あなたの考えを 800 字で説明しなさい。