

特集「学習と知識獲得技術の新展開」について

元 田 浩*

人間の学習能力はすばらしい。幼児が新しい知識を吸収していく速度には目を見張るものがある。成人になればなつたで、深い洞察力と経験がものを言う。日常生活のあらゆるものが学習に反映され、人間は一生学び続ける。学習能力は人間の知的能力の代表的なものであると言えよう。計算機に人間らしい知能を与えることが人工知能の究極の目的であるとすれば、「学習や知識獲得」はまさに、人工知能が人工知能たり得る基本的な課題であると言ってよい。

人間は学習により知識を獲得し、未知な問題に対する解決能力を向上させる。当然エキスパートシステムに対しても同様な能力が期待される。しかし、残念ながら、現状では知識工学者といわれるエキスパートシステム構築の専門家が、辛抱強くエキスパートから知識を抽出し、構造化して入力しなければならない。そして当然ながら、エキスパートシステムの能力も入力した知識でできること以上の域を出ない。

エキスパートシステムが諸処で開発され、その性能が実用性の観点から厳しく問われ始めた昨今、知識獲得の困難さに対して早急に解決のいとぐちを見出すことが切実な問題となっている。このような状況を鑑み、本特集では「学習と知識獲得」の現状と近未来像についての解説を企画した。実用システムの開発に従事している会員諸氏にも十分理解できるように、各執筆には理論面に偏りすぎることなく高度な内容をやさしく解説していただくようお願いした。なお、本学会誌 Vol. 2, No. 3 で紹介した特集「高次人工知能へ向けてのパラダイム」は本特集と密接な関連があるので、参考にしていただきたい。

本特集は6編の論文から構成されているが、大きく3部に分かれている。最初に科学の立場から、①学習の基本である概念の帰納的学習と、②最近進展の見られた知識集約型学習の2編で、学習の本質と最近の動向を理解していただく。次に、工学の立場から、③実世界の問題を扱っている人々が今どのように苦労して

知識を獲得しているのか、④現在入手できる最先端の実用化されているツールが知識獲得をどこまでサポートするのか、⑤現在研究開発中の新しい支援ツールでは何ができるようになるのか、どんな進展が期待されるのか、の3編で、実用化の現状を理解していただき、近未来像を明確にする。最後に、⑥今後の学習、知識獲得研究の新しい流れを展望して、締めくくる。各記事に関し、内容の重複がないよう配慮したが、最後の2編に多少の重複が見られる。これは内容の性格上やむを得ない。

なお、最近話題を賑わしているニューラルネットも、学習に興味ある側面を提供しているが、これに関しては別途、他の特集で取り上げられる計画があるので、今回は割愛した。

第1の仁木、石崎氏の解説「概念の帰納的学習」は、概念を学習するとはどういうことであるか、それを計算機上でどういうメカニズムによって実現するかについて紹介したものである。

計算機で概念を帰納的に学習する一般的な方法は、概念記述言語を準備し、この言語により仮説空間を記述し、この空間内の探索問題に帰着させることである。このような定式化の代表例として、教師からの提示による概念獲得学習があり、その中でも単一概念学習の統一的枠組を与えるバージョン空間法について詳しく説明している。正の実例により概念の一般化を、負の実例により概念の特殊化を繰り返すことにより、すべての正の実例を覆い、負の実例を排除する唯一の記述を仮説空間の中で探索する過程が具体例で示されている。さらに、探索問題につきものの組合せ的爆発を防ぐ手段として、可能な仮説空間を制限するためのバイアスの導入の重要性を指摘し、その制御の方法が紹介されている。また、教師なしの概念学習法の代表例としては、与えられた実例を適切に分類記述する複数の構造記述を学習する概念クラスタリングの手法が概説されている。

このような計算機による概念の帰納的学習とは別に、人間はどのように帰納的学習を行っているかにつ

* 日立製作所基礎研究所

いての実験結果も紹介されている。両者の相違点と類似点とが考察され、帰納的学習過程に影響を与える因子が幾つか同定されている。このような研究は今後ますます重要になるであろう。人間の特性をどのように計算機による学習に反映するかは帰納的学習の長期的課題である。

第2の沼尾氏の解説「説明に基づく学習」は、副題「領域固有の知識を用いたアプローチ」からもわかるように、知識集約的な学習法である EBL を解説したものである。人間は多くの背景知識を持っていればいほど効率よく学習できるようになる。仁木氏らの解説で紹介されているように効率的な学習のためには探索空間を狭める工夫が必要である。バイアスはその一つの方法であるが、EBL は領域知識を利用するものである。

この方法は最近多くの研究者に注目され、現在脚光を浴びている。具体例の教示を受け、内省することによりすでに獲得している領域固有の知識を効率的に使用するための知識を獲得するものである。問題解決の場面を考えれば容易に想像されるように、特定の問題でもよから解き方を一つ教えてもらうということは、非常に大きな情報量の提供を受けたことになり、計算量を激減する。この方法に対して、知っている知識を組み合わせても本質的には何も新しい知識は生成されたことにならないという疑問が呈せられるが、知識の変換によって価値が生じたと考えればよい。一般には例外をもれなく記述して知識を正確に記述することは不可能であるので、一見正しそうな領域知識を組み合わせた結果正しくない結論が生じる可能性がある。具体例が与えられるということは、結果が正しくなる知識の使い方が少なくとも一つ与えられるということであるから、この意味では新しい知識を学習したことになる。本解説ではこのほかに、繰り返しの一般化など EBL の拡張や EBL と類似の概念であるマクロ作用素、チャンキングなどについても紹介されている。

第3の小林氏の「大規模エキスパートシステムの開発における知識獲得」は、原子力発電プラント建屋内の配管自動ルーティングのエキスパートシステムを開発してきた経験を知識獲得の面から解説したもので、大規模エキスパートシステムを手作りで開発した数少ない貴重な事例である。

どのような知識がどのように使われているかの計算機化すべき業務の分析、データベースや他のシステムと開発するシステムとの関連(全体システムの中での位置づけ)、推論手法の選択、システム開発前の専門家からの知識獲得、システム開発後の中間結果からの

フィードバックによる知識獲得、知識ベースエディタ、などが事例を通して解説されている。最終システムに至るまでに三度作り直したこと、最初の二つの方法は最終システムとは大きく違っていること、知識獲得は Example-Driven で進め、専門家とのインタビューだけでなく専門家から自発的に書き出してもらうことも有効であったこと、同定した知識を核に同一の機器に関する他の知識や類似の機器に関する知識へと範囲を拡大していったこと、KJ法を使用して分類、整理したこと、知識ベースエディタを開発し専門家に直接画面上でルールを修正してもらったことなどが報告されており興味深い。類似のシステムを開発する人々には参考になるであろう。

第4の熊谷氏の「実用化ツールの知識ベースエディタ」は、最新のツールで提供されている知識ベースエディタの実状を詳しく解説したもので、汎用の知識ベースシステム構築ツールを使用してエキスパートシステムを開発したいと考えている人々に非常に参考になる。

ここに紹介されている知識ベースエディタは、いわゆる第2世代ツールのエディタで、複数の知識表現と推論制御の方法をサポートしている。標準的な知識表現形式の枠構造が提供されるので、基本的には知識の中身のみを入力するだけでよく、知識ベースの作成や修正の手間が大幅に省ける。メニューに従って、画面上の知識ベースの構造を見ながらユニット、スロットなどを作成していく具体例が説明されている。ユーザインターフェイスは、極めてよくできており、自然言語に近い表現を用いて知識の検索や変更が可能であり、推論実行中に結果を見ながら知識ベースの内容を動的に変更することも可能になっている。ルールも自然言語に近い表現を用いて入力することが一般的になりつつある。知識の表示にはグラフィックエディタが用いられ、知識の構造が視覚的に表現される。また、デバッグを容易にするために、推論の過程も可視化されて表示される。知識の一貫性保持に知識整合性機構(TMS)が内蔵されており、知識ベースエディタは知識ベース構築ツールとはもはや不可分の関係にある。しかし、それでもなお現在の知識ベースエディタは知識工学者のためのものであって、計算機に疎い専門家にとっては必ずしも使いがってのよいものではない。専門家、知識工学者(システム開発者)、ユーザそれぞれにとって、さらに使いやすくするための課題も示されている。

第5の溝口、角所氏の解説「知識獲得支援システム」は、現在研究開発中であり、次に実用化されるであろう

う知識獲得支援ツールについて紹介したものである。知識獲得は問題解決システムの枠組の中で総合的に論ずべきものであって、知識獲得のある一面のみを取り出してもあまり意味はないとの一貫した考えが根底にある。

ここでは、知識獲得の幾つかの形態のうち、インタビューに基づく知識獲得が中心に紹介されている。近い将来実用化（現在でも研究レベルではいい成果が出ている）が期待される方法は、問題解決の対象となるタスクに依存して決まる知識の使われ方、すなわちタスクに固有のインタビュー戦略を積極的に活用したトップダウン的な知識獲得である。代表例として MORE/MOLE, ETS/NeoETS/AQUINAS, SALT, I²S/SIS の4系統の支援システムが紹介されている。MORE/MOLE は診断型の知識獲得を支援するシステムで、診断に特化された獲得戦略を用い、専門家に自分自身が持っている知識を意識させ抽出することに重点をおいたシステム、ETS/NeoETS/AQUINAS も診断などに代表される分類型の知識獲得を支援するシステムであるが、人間が経験を概念に抽象化しそれを用いて新しい環境を分類する心理学の理論を応用した特徴あるシステムである。とくに、AQUINAS は知識獲得を総合的に支援する環境を提供するものとして注目されている。SALT は設計支援エキスパートシステムのための知識獲得を支援するシステム、I²S/SIS は著者らの研究室で開発されたシステムで、インタビューそのものをタスクとするエキスパートシステムとインタビューのためのエキスパートシステムを構築するための汎用的なツールである。著者らも指摘するように、知識獲得を円滑にするには問題解決の構造に適したエキスパートシステム構築方法論を確立することが先決であり、知識獲得の研究もその枠組の中で進めていかなければならない。

最後（第6）の國藤氏の解説「知識獲得と学習研究の新しい流れ」は、これまでの解説からも明らかのように、知識ベースシステムの効率的な開発には、知識獲得のための方法論の整備が最も重要な課題であるとの認識に立ち、問題点を分析し、解決のための指針を展開したものである。

数種類のエキスパートシステムを選定し、実際に開発に携わった当事者から知識獲得の方法をインタビューで聞き出した結果の分析では、対象のモデリングの重要性よりも、その上流に位置するシステム分析の方の重要性が浮き彫りにされている。知識獲得過程の下流から上流までの全工程の支援を目的としたツールは、第3世代の知識獲得支援ツールと言われる。溝

口氏らの解説でも紹介された MORE, ETS などは第2世代の支援ツールであり、AQUINAS は第3世代のツールに位置づけられる。このほかに注目すべき第3世代のシステムとして、会議における思考過程の発散ならびに収束を支援する知識整理支援システム COLAB や現在、機械化が注目されている KJ 法が紹介されている。知識獲得は学習と不可分の関係にあるが、実用的な学習のためには学習可能性と計算量を理論的に押さえることが重要で、そのための統一的枠組として学習スキーマが再考されている。最後に、これらの研究をふまえて学習機能を持つ知識獲得支援ツールの実現像が提案されている。表現こそ違おうが、溝口氏らが最後に示唆しているエキスパートシステム構築方法論と相通じるものがあり、基本的な枠組は形成されたものと考えられる。問題はいかに効率よく実現するかであろう。

人間の場合、本を読む、他人から教えてもらう、自分で考える、と種々の学習方法があるが、すでにわかっていることで自分が知らないことは、わかっている人（もの）から教えてもらうのが一番効率が良い。計算機による学習でも、まずこれができるようにするのが先決であろう。これですら単なる知識の入力ではなく、解釈、変換、同化、既存知識の修正など難しい問題、すなわち、自分で考える部分を内蔵しており、学習は単独の原理で片づくほど単純ではない。

もやもやとした知識、はっきりと表現できない知識をどう取り込むか、暗黙知の問題をどう扱うかも大きな課題である。イメージによる推論、大局的理解、類似性認識、原理の抽出などの人間の知的能力（それもかなり高度な知的能力）も学習と深く関連している。このような能力が記号処理だけで実現できるものかとの疑問も生ずる。ニューラルネットが解決のいとぐちを与えてくれるかもしれない。イメージによる推論、たぶんそれは超並列分散処理で実現されると思われるが、その理論的研究も必要であろう。さらに、何故、学習したいと思うのか、どんなときに学習が進むのかななどの認知心理学的な側面のモデル化も今後挑戦すべき課題である。

この特集を読んで、計算機による学習および知識獲得はものになると思ったか、それとも、しばらくはとでも期待できそうもないと思ったかは、会員諸氏の興味の置き方、抱えている問題によっても異なるであろう。本特集は基本的には肯定的な立場をとっている。否定的な考え、批判的な考えを紹介することも、面白いと思ったが、これはいずれパネル討論でも企画したらと考えている。いずれにせよ、計算機による学習と

知識獲得の進展には、具体的なエキスパートシステム開発の経験をフィードバックすることが不可欠であ

り、理論と実際が遊離することのないよう注意して進めていく必要がある。

—— 著 者 紹 介 ——



元田 浩 (正会員)

昭和40年東京大学工学部原子力工学科卒業。同42年同大学院原子力工学専攻修士課程修了。工学博士。同年、日立製作所に入社。同社中央研究所、原子力研究所、エネルギー研究所を経て、現在、基礎研究所主管研究員。原子力システムの設計、運用、制御に関する研究、診断型エキスパートシステムの研究を経て、現在は人工知能の基礎研究、とくに推論機構に関する研究(定性推論、学習、知識コンパイルなど)に従事。昭和45年日本原子力学会奨励賞、同52年日本原子力学会論文賞、同59年日本原子力学会論文賞受賞。人工知能学会、情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、日本認知科学会、日本原子力学会、AAAI、ANS各会員。