

いま、コンピュータが変わる！ Now, computer is changing!

——第5世代コンピュータへの歩み——

Introduction to Fifth Generation Computers

内 田 俊 一 (新世代コンピュータ技術開発機構)
Shunichi Uchida (ICOT)

第5世代コンピュータは、いろいろな専門分野の知識を持ち、それをもとに推論できるものと考えられている。もちろん、推理小説に登場する名探偵のような高級な推論はできない。しかし、医師用に検査データの異常を発見して可能性のある病名リストを作ったり、弁護士用に過去の判例から必要なものを抜き出したり、研究者用には技術論文を翻訳したりできる。自然言語で問いかけ、会社の経営状態を示すデータを作成することもできる。

このような人間の助手となるインテリジェントなコンピュータを実現するには、これまで土台としてきたノイマン型の計算モデルをより強固な土台と取り換えなければならない。知識情報を扱うにふさわしいコンピュータの土台とは何か？これを見出すことが、目標である。

計算マシンから インテリジェントな人間の助手へ

現在のコンピュータのルーツとなるデジタル・コンピュータが試作されたのは、1943年のこと。米国のペンシルバニア大学で作られたENIACだ。これは真空管1万8000本、リレー1500個を使い、重さ30トン以上、消費電力は毎時140キロワットという巨大なもの。加算に200マイクロ秒、乗算に3ミリ秒という当時としては驚くべき速さで計算し、「本物の砲弾より速く、弾道を計算できた」と語り草になったという。

ちなみに、ENIACの演算速度は現在のマイコンの100分の1、大型コンピュータの1000分の1以下だ。サイズは現在、極端に小さくなり、単位体積当たりの情報蓄積量はENIACの1万～1億倍になっている。

この驚異的な発展は、主に論理回路を構成する素子の進歩によっている。特にIC(集積回路)の登場は、コンピュータの性能を高めただけでなく、その運用範囲をバラエティに富んだものとした。もちろんソフトウェアも第1世代の数～数百ステップのものから、数十万～数百万ステップの複雑さやよりないものとなり、コンピュータは高度な機能を持つようになっていく。

しかし、第1世代から今日まで変わることなく守られてきたものがある。それがノイマン型の計算モデルだ。現在のコンピュータがノイマン型コンピュータと呼ばれる由縁である。

単純化を追求したノイマン型

では、初期のノイマン型コンピュータとは、どんなものであったのだろうか。

エレクトロニクス技術がまだ未熟であったことから、当時の研究者達は、まず汎用性を保ちつつ、ハードウェアを極限まで単純化しようとした。複雑な計算も単純な操作のくり返しでできることを示したイギリスの数学者チューリング、この考えをもとにストアド・プログラム方式のコンピュータを考えたアメリカの数学者フォン・ノイマンらの努力も、まさにこの単純化に注がれた。ノイマンは汎用性はプログラムを目的ごとに入れ換えることで実現し、単純化はストアド・プログラム方式で達成した。

すなわち、プログラムの実行は、1度に1命令ずつメモリーから取り出す逐次型とし、命令実行の制御と演算部は中央制御装置(CPU)としてまとめ、メモリー装置とは分離した構造としたのである。

しかし、ENIACの後を受けて作りはじめたノイマンらのコンピュータは使用した素子の不安定性により大幅に完成が遅れ、イギリスのウィルキンスらに先を越されることとなる。

すなわち、当時は1台のコンピュータを動かすことで精一杯であり、何台ものコンピュータを結合して並列化するなどということは、とても実現できる状況ではなかった。しかし、これは私の想像だが、数学者であるチューリングやノイマンは、現在われわれが研究している並列処理に向けた途

理型や関数型の計算モデルなど、数学的に整ったものをまず考えたのではなかろうか。しかし、その実現には現在でもVLSI(超LSI)が無くしてはできないほどのハードウェア量が必要で、当時は、夢のまた夢であったろう。そこで彼らは、徹底的に簡素化してノイマン型コンピュータのモデルに至ったのではないだろうか。

現在的大型コンピュータは高速化、大容量化のため、ノイマン型の計算モデルの基本的な性質を保ちつつ、内部を並列化している。ハードウェアもそれにつれ、初期のものに比べてはるかに複雑化している。

ノイマン型コンピュータの限界

現在、ハードウェアを有効に使うための制御用ソフトウェアも大きくなりオペレーティングシステム(OS)として独立している。また、プログラムを書くとき、機械語を直接使うことはまれで、FORTRANやCOBOLのような人間にとって使いやすい高級言語が使われるようになってきている。コンピュータが、これらの言語を機械語に翻訳してくれるのだ。

このようにコンピュータのハードウェアやソフトウェアの構造が複雑になったにもかかわらず、その動作原理は初期のものと共通点が多い。忠実にノイマン型の計算モデルを踏襲しているためだ。

このノイマン型の計算モデルの特徴は、汎用できわめて簡素であることにある。簡単なるがゆえに、ハードウェアは作りやすく、素子の進歩につれてコンピュータの能力が大幅に向上した。単なる数値計算からデータベース管理、設計支援(CAD)、自然言語理解やエキスパートシステムへと用途が高度化した。しかし同時にいろいろな問題が起こってきた。

その第1は、ソフトウェア危機と呼ばれるものだ。高度な機能を持たせようとする

と、ソフトウェアが複雑なものとなり、正しいプログラムが作りにくくなった。ソフトウェアの生産性、信頼性が上がらないのだ。プログラムの正しさをコンピュータで検証させる研究がされたが、皮肉なことに、ノイマン型のプログラムは検証しにくいことが示された。

その間にも、ソフトウェア開発にかかるコストは急上昇し、コンピュータ・システム価格の実に9割を占めるに至っている。VLSIによってハードウェアがさらに安くなると、この比率はさらに高くなる。こうなった原因の一つは、機械語が簡単すぎ(低レベル)、適用分野の記述レベルとのギャップが大きすぎるためである。

第2は、スピードだ。現在の逐次型の実行方式では、論理素子のスピードを上げても、コンピュータ全体の速度はそれ程改善されない。すでに、論理素子の高速化は極限に近づきつつある。素子による信号の遅れは素子間の配線の遅れと同等になってきているのだ。論理素子自体を高速化するだけではなく、配線も極力短くしなければならぬ。従ってVLSI化が必要となる。しかしVLSIを用いても大きな改善は期待できない。それに、ノイマン型コンピュータは、回路構成に規則性が乏しく、VLSIの能力をフルに活用するには適当でないだろうといわれている。

新しいコンピュータ像を求めて

ノイマン型コンピュータの限界を感じ、ここ10年、多くの研究者がその限界を克服する新しいコンピュータ像を模索してきた。人工知能の研究が代表的だ。人工知能の研究は、最近、知識表現や推論のための研究を通して、望ましいコンピュータ像を描き始めている。それは、計算モデルとプログラミング言語の提案を含んだものだ。

同時に、ソフトウェア工学の分野においては、複雑なソフトウェアを能率よく作れるようにしようと、仕様の記述、検証、合成などの研究を進めてきた。そして考え出されたものが、論理型や関数型、対象指向型と呼ばれるプログラミング言語である。これらは数学における関数や述語論理における論理式、さらにメッセージ交換モデルをベースとし、記述レベルはノイマン型のプログラムに比べ、ずっと高級になっている。

また、一つ一つの小さなプログラム・モジュールを作る場合の規則も、数学的な理論に基づいているため、複雑なものが見通しよく作れる。プログラムの検証もしやすい。

よいことづくめのようなが、ことはそう簡単ではない。このようなプログラミング言語を能率よく動かすためのコンピュータを作るには、多くのハードウェアを必要とする。それ故に、これまで作られなかったのである。しかし、人工知能の研究には、高レベルのプログラミング言語で記述することが、複雑なソフトウェアを作る上で必須の条件であった。このため LISP や PROLOG といった言語を作り、対処してきたのである。

これらの新しい言語を作っても、ノイマン型のハードウェア構造は、それらの十分な土台とはなり得ない。ソフトウェアの厚い皮をかぶせるから実行能率がよくないのだ。ソフトウェアの負担を軽くする新しいハードウェアが必要となってきたのである。

並列処理を支えるVLSI

人工知能のプログラムを本格的に実用規模で動かすには、現在的大型コンピュータの何十〜何百倍もの能力を持つものが必要だといわれている。大規模な並列コンピュータ技術なくしては、実現できないのである。

さて、ソフトウェア面の研究を見てきたが、その間コンピュータ・アーキテクチャー

の研究者は何をしてきたのであろうか。彼らの第1の興味は、性能の向上にあった。

1台のコンピュータでは処理能力に限界があるため、多数のものを接続した並列コンピュータを作ろうとしたのだ。

ハードウェア価格が下がり、ミニコンやマイコンが登場すると、何十台ものノイマン型コンピュータを接続する試みが行われた。しかし多くは失敗している。並列コンピュータを動かすプログラムの作成が思いのほか困難であったためだ。ただし行列計算や図形処理のような処理が単純で、並列プロセッサ全体の動作が制御しやすいものについては、成功している。

その後、単にノイマン型コンピュータをたくさん並べただけでは、ソフトウェアは複雑化するばかりであることがわかってからは、アーキテクチャーの研究者も、計算モデルやプログラミング言語の理論的な性質に目を向けるようになった。その結果、関数型の計算モデルが注目され、これに基

づくデータ駆動型マシンやリダクションマシンが提案された。これらのマシンは、何十〜何百という要素プロセッサを接続することを前提として、研究されている。そして、プログラムの作成を容易とし、ソフトウェアの負担を軽減するために、要素プロセッサ自体の内部構造も、ノイマン型とは異なっている。論理型や関数型の並列コンピュータの実現は、個々の要素プロセッサを作るのでさえ、多くのハードウェアを必要とするのだ。

ところで、アーキテクチャー研究が進化した背景には、IC技術の進歩が見逃せない。ICの集積密度は年々向上し、1チップの上にのるコンピュータも8ビットから16ビット、さらには32ビットへと進歩してきた。現在、数十万個のトランジスタがのっており、数年後には、百万個に達するといわれ、アーキテクチャー研究の大きな支えとなっている。

では、このVLSIの能力をフルに生かす

アーキテクチャーは、どんなものになるのだろうか？

この研究はまだ始まったばかりで、今後には待たなければならない。しかし、VLSIにはその設計、製作上、同一の回路を繰り返していくつも並べられるような構造が通していると考えられている。この点から、データ駆動型マシンのような並列コンピュータとの相性はよさそうである。このVLSIの登場で、第1世代では考えもつかなかった大量のハードウェアを使うことが可能となり、新しい並列コンピュータは夢から現実の研究開発目標となった。

論理型で人工知能を目指す

その誕生から40年余、ノイマン型コンピュータの上で培われてきたソフトウェア、ハードウェアの技術は、今、ノイマン型コンピュータの限界を越えた新しいコンピュータ像を描き出しつつある。その像こそが、第5世代コンピュータプロジェクトが10年がかりで追究する知識情報処理コンピュータなのである。そして人工知能の研究が目指していたものでもある。

では、このようなコンピュータの理論的土台は何か？ 数多くの議論を重ね、われわれは論理型の計算モデルを採用したのである。この論理型の計算モデルについての説明は次の章にゆずるとして、簡単にふれておこう。それは、三段論法をベースに組み立てたものだ。コンピュータはハードウェアによって、この三段論法を基本とする演算を実行する。つまり、簡単な機械的推論をすることから、推論マシンとも呼ばれるのだ。

そのプログラム言語は、核言語と名づけられ、論理型の言語を並列処理の記述がしやすいように拡張したものだ。細かな実行順序の制御やメモリの割り付けなどを、プログラマーはいちいち管理しなくてよい。もちろん、管理しなければできるようになっているが。

そして、プログラムの記述レベルが高いことから、複雑な意味内容を持つ処理も簡単に表現でき、いろいろな知識を表現する土台として、通しているのだ。

論理型の計算モデルでは、コンピュータの機能としては与えられた知識を“探す”ことが主となる。プログラマーは、プログラムの実行順序や扱うべきデータの場所を逐一指定する必要はない。コンピュータが勝手に判断してやってくれるのだ。もちろん勝手にやってもらってこまる場合も多く、その時は、順序や場所を指定できる。一般に、勝手にやらせると無駄が多くなる。

世界をリードする第5世代開発

第5世代コンピュータは、論理型の核言語を機械語として持つ並列コンピュータで、高レベルなプログラムの記述を可能とする。また、十分な速度と記憶容量を備えることを目指しているのだ。

その性能を示す尺度は、新たにLIPSという単位を導入した。LIPSは論理型プログラムの求める1行を探し出す操作。これは三段論法の1ステップに対応するのだが、これが、1秒間に何回実行できるかを示している。そして目標性能は、100メガ～1ギガLIPSで、現在の大規模のCPUを数百台並列に接続したものに相当するものだ。

その実現にはまだまだ課題が山積されている。推論のベースとなる知識を大量に記憶する機能も必要だ。ここでいう知識とは、プログラムデータを分類し、構造化したものと考えてよいだろう。容量として100～1000ギガバイトを目標としている。

また、コンピュータの構造を考える場合、高速に推論を行う部分と大容量の知識を蓄えて能率よく管理する部分とでは、異なる構造にしたほうがよいと考えられる。前者を推論メカニズム、後者を知識ベースメカニズムと呼んでいる。

これらをどう実現するかは、まだ十分に明らかではない。しかし推論メカニズムは

データ駆動型マシンやリダクションマシンなどの高並列アーキテクチャが、そして知識ベースメカニズムに対しては、関係データベースマシンのアーキテクチャと、推論メカニズムの一部とを組み合わせたものが用いられると考えられている。実装には、VLSI技術をフルに活用することになる。

このほか、音声や図形を用いてコンピュータと人間が対話を行えるようにするため、媒体ごとの専用処理を行うものも必要だ。

まだまだ開発しなければならないことばかりであるといってよいだろう。ノイマン型コンピュータを生み出した以上の創造性と、それを定着させる工学的な技術的蓄積も必要だ。

幸い日本は、この研究開発において世界に先駆けることができた。今後ポテンシャルを高め、実質的な研究成果においても、世界をリードしていきたいものである。