

電子計算機の将来*

高橋 秀 俊**

電子計算機の将来というのが、いま私に与えられた題であるが、将来の事などを予言して、当たっためしはない、むしろ当たらないからこそ進歩もあり、励みもあるので、ここでお話しできるのは、現在の状況から予想できる将来、それもせまい私の眼だけから見た将来であることは、御承知いただかなければならない。

さて、電子計算機の研究も、1950年前後の日ごましい進歩にくらべて、ここ数年はあまり目立った進歩はないようにみえる。むしろ量的に、ますます大量の計算機がメーカーによって製造され、普及して行っていることが目立つ、しかし、これは完成した計算機という面であって、研究の段階では昨日も今日も世界のどこかで新しい部品、新しい原理が発見されているという調子で、年をおって増大する研究者の新しい研究は応接にいとまがない。

特に今日の花形産業の先進国での一般の傾向は技術よりも要求が先に立つことである。ある技術が強く要求されれば、ほう大な予算と人員が惜しみなく注ぎ込まれ、結果として、どんな無理な要求も技術的に完成されてしまうということである。だから、将来を卜するには、現在の技術を見るよりも、現在の要求を見た方がよいことになる。では電子計算機に対していま何が要求されているだろうか。

1. 計算機に対する要求

それはまず

(1) もっと複雑な計算、あるいは新しい型の問題に計算機を応用すること、これについては、後でもっとわしくのべる。

(2) 完全な自動化—すなわち計算機に問題を入れて答を印刷させるだけでなく、科学の実験室なら実験のためいろいろなダイヤルをセットすることから、測定値を読み取り、これに数学的処理を行って、最終的な答を得るところまでを完全に自動化すること。事務や経営管理の方なら、原始証票をつくる所からあとはデータの伝送、集計から OR 的な計算までを一貫して

自動化することなどである。具体的な例としては、鉄道における配車事務の自動化などがあげられる。

(3) 計算機同士の communication. つまり将来何千台、何万台という計算機ができて、それらが、人間のやることを、相当部分やってくれるとすると、計算機同志が電話をかけたりして、“話しをする”ことが当然必要であろう。そうなると、少なくとも、計算機同志の通信のための共通語 (common language) というものが必要である。それはいかなるものであるべきか、計算機はまさか“今晚いっしょに食事に行きませんか”などという通信もしましから、人間のことばとは大分違うだろうが、またいまの計算機の内部語のようなものでもこまるであろう。そのほかプログラムへの割り込みとか、多重制御というようなことが問題になってくる。

(4) プログラミングの簡易化。計算機は今後普及してくれば、特別のオペレーターや専門家でなくても誰でも使えるようにならねばならないから、見慣れない命令コードなどは知らないでも、我々が日常使う数式や言葉とあまり違わない形でプログラムを書けば計算機自身が、それを本当の計算機のことばに翻訳して計算を実行するようにならなければならない。いわゆる自動プログラミングである。今日でも Fortran その他の自動プログラミングの方式があるが、今後はもっと広範囲の問題 (非数学的問題など) に適用できるものが要求されよう。

(5) 特殊目的の計算機。計算機と同様に記憶、論理演算の機能を主とする装置で計算以外の目的に使われるもので、現在あるものでは、座席予約機械、電話料金自動計算機 (CAMA) などがある。将来、図書館での文献検索、電話番号簿の検索、その他、あらゆる種類の情報サービスを機械化することになろう。

(6) 小形化、廉価化、高温・低温に耐える計算機等。これらは今日は主として軍事的な要求から強力に研究が進められているようであるが、これらの技術が完成すれば、手で持って歩ける電子計算機とか、家庭器具の完全な自動化とか、いろいろの夢が実現され、影響は測り知れない。

* Future of Electronic Digital Computers, by Hideo-toshi Takahashi

** 東大理学部物理学教室

2. 計算機で解きたい問題

次に、前にあげた最初の問題、つまり普通の問題を入れて答を取り出すという意味での計算機に対する要求について少しくわしく考えてみる。まず、最も月並みなどところからはじめると

2.1 科学的技術計算

この分野では、今でも電子計算機はずいぶん役に立っているが、現在の普通の計算機ではどうにも扱えない問題の一つは3次元の偏微分方程式、たとえば、Laplaceの微分方程式だとか流体の流れの方程式などである。特に、流体の乱流などという現象は3次元にならなければ現われない現象であり、そのほか航空機や船の設計など実用上の問題にはどうしても3次元の問題を解かなければならないが、普通やられているように、空間を格子点に分けて、それらの点における関数値の間の差分方程式としてやるやり方だと、2次元で1万個の点について解いたものなら、3次元ではその100倍の100万個の点について解かねばならないから、記憶容量も100倍いり、速度も100倍ぐらゐ速くないと妥当な時間で問題を解くことはできなくなる。ますます大容量の記憶をもった、ますます高速度の計算機がこの方面から強く要求されるわけである。

天体物理の問題などは電子計算機の最も有効な働き場だろう。太陽の内部で、どんなことがおこっているか、恒星が、混沌たる宇宙の中からどうして発生し、何十億年の間にどう進化して行くか、どれも直接そばに行つて観測することはできない現象であるが、しかし、根本になる物理法則は大体すべてわかっているのだから計算できるはずである。こうして、太陽の表面に見られるいろいろの現象、宇宙のいろいろの性質や宇宙線の起原などということも着々と明らかにされて来るであろう。これなども、ずいぶん計算機にとっては複雑な、しかしかなり straightforward な問題である。

ではこうして物理学その他に出てくる純数学的な問題は、電子計算機の進歩によってすべて解決してしまうだろうか。否、物理学に話を限っても、いくら電子計算機が発達したとしても、今のような純数値的な攻め方では絶対に解けないといつてよい問題はいくらでもある。量子力学の多体問題とか、統計力学の問題などがそれで、これらは変数の数、つまり次元数そのものが無限大といつてもよいほど大きいのが特徴で、計算機の数・容量が増してやがて4次元、さらに5次

元の方程式が解けるようになったとしても、この種の何百、何千次元の方程式を解くことは思いもよらないわけである。それどころか、たった3個の電子の運動を解く(たとえばLi原子)のでさえもちょっと見込みはないという方が正しい。

2.2 非算術的問題

大きな数の加減乗除をやる算術的問題でなくて、ある論理的条件をみたす解を出すこと、たとえば実習や遠足などの組分けの問題、時間割の編成、論理演算回路の設計、誤訂正符号の創案など、いわゆる組み合わせ問題(combinatorial problem)があげられる。この種の問題は現在行われている探索式のやり方では、非常に多くの無駄な試行を重ねて遂に正しい解に到達するわけだから、普通の算術的問題にくらべて著しく長い時間を要し、その意味で、計算機の手はいくら速くてもこれで十分ということはないわけである。

この種の問題で最近取り上げられたのは数学の定理の証明を機械化することで、既にある程度の成果が得られたが、これを発展させるにも、プログラミングの研究と共に計算機の手速の向上が望まれる。それに、今日の電子計算機は算術的計算機として発達して来たのでその方に便利な機能を備えているが、非算術的問題には甚だ非能率的なことである。どういう設計にしたら非算術的問題に適するか、これも将来の重要な問題である。

2.3 パタン解析

図形たとえば文字を機械に読ませるといふことは、紙の上の各点を走査して黒白を電気的信号にしたうえで、これに対する情報処理つまり判断を行う必要がある、この判断も文字の位置(上下、左右)、傾きが多少あつても、インキのかすれ、汚点などが多少あつても正しく判別できることが望まれ、決して走査された図形とそれから判別される文字とは1対1の対応はしていない。

つまり、いろいろの変化をもつた一群の物理的実態からある特徴を抽象して、他のものと区別することがパタン解析、あるいはパタン認識の問題で、図形だけでなく、音声の解析、文章の解析(意味論的解析)、音楽の解析などが考えられる。音声の解析では、同じ「ア」なら「ア」の音は、物理的な音波としては、発声する人、声の大小、高低、室の状況などで著しく異つて、音波の波形を見たのでは、なんら共通点を見出せないぐらゐであるのにかかわらず、我々は耳で同じ「ア」と感ずる何かの特徴があるわけで、その特徴

を見出し、実際に判別する仕事を機械にやらせることが問題で、これが可能になれば音声タイプライターができることになる。

文章の解析、つまり、文章からの意味を汲み取ることとを機械化するという事は、いいかえれば別の言語、たとえば機械語（*machinese*）に翻訳させることで、これは機械による翻訳の第一歩か、あるいはむしろ最後の一步になるであろう。

音楽の作曲を機械にやらせるという試みも最近若干みられる。これもその目的は、機械に名曲を作らせるということより、名曲とはいかなる特徴を有するものかという解析を目的として行われたものであろう。これもまたパタン解析の一つである。次項でいうようにパタン解析は脳の作用の根本の一つで、人間の脳の作用を機械で行わせるために必要な仕事の大半を占めるといつてもよさそうである。

2.4 学習プログラム

これは上のパタン解析と密接な関係がある。前にのべた数学の定理の証明を機械化する問題を考えよう。それには、公理として与えられた命題から、論理の規則を適用して、いろいろ新しい命題を作って行き、証明すべき命題との間を鎖でつなげばよいわけである。しかし、公理を組み合わせるしかたは無数にあるから、それを（文字どおり）片端から、一定の規則でできる順序で試して行ったのでは、自明といえるような簡単な問題を除いては成功覚えない。どうしても目的とする定理を考慮して、試行に一定の方針を与えなければならない。

すなわち公理を組み合わせ得た中間的な命題が、目的に達する道程の一部であるかどうかの判断であるが、そのような判断が一般的にできる道理はないので、これは文字や言葉が互に似ているか、いないかを判断するのと同様に、一つのパタン認識の問題なわけである。

定理の証明は、創造的思考の典型的なものであるが、これに限らず一般に創造的な作業にはいつも、“部分的成功”を判断する能力が基本的になるわけである。しかも、この場合のパタン認識は、対象のどのような特徴をとらえたらよいかということが与えられていない点で、より困難なわけである。

このように、明確な操作として与えられていないで単に目的だけが与えられたような問題を計算機にやらせるには、普通のプログラムをつくるわけにはいかない。操作が与えられていないのだから、いわば一か

バチかの試しのプログラムをある程度ランダムに与え、その上、そのプログラムをいろいろ（やはり適宜ランダム性を入れて）変更し、それが成功したか、失敗したかを適当に判断して（ここにパタン認識が入る）、それによってプログラムを次第に組織化して行くような方法、すなわち学習（*learning*）である。

このような方法によって、最初、プログラムをつくらなかった人が全く予想しなかったようなプログラムが機械の中にできたとすると、これこそ本当に機械が“考えた”ということができるのであろう。思考ということには学習ということが前提になっていることがわかる。

学習プログラムは単に成功か失敗かの判断だけをたよりに学習していたのでは、非常に進歩が遅いと思われる。しかし成功か失敗かを人間が適当に教えて、激励したり、やめさせたりすれば、ずっと早く難しい問題を扱えるようになるだろう。“教育”が有効なのは人間の場合と同じである。殊に複雑な仕事をするプログラムを全部人間が作ることは、労力が大変だから、将来は、そういうものはみな機械に考えさせて、人間はただ機械がいろいろ苦心惨胆しているそばで批評してやればよいということになるかもしれない。

創造的な仕事をやらせるときは、目的に全く合致しそうな試みでも、時間が許す限りいろいろとやらせて、いわば探険させることが効果があるらしい。こうして、機械の“好奇心”をみたしてやることによって、以後の進歩が速くなる。要するに、こうなると、機械の教育学ができて、それがまた人間の教育に適用されることになりそうである。

3. 計算機に要求される性能

以上のようないろいろな種類の仕事をするためには計算機の金物に対する要求がでてくるわけである。

3.1 速度

これは速ければ速いほどよいことはいうまでもないが、ことに創造的なプログラムのようなものでは、入出力にくらべて、内部の演算速度が物をいう。現在ある計算機は一つの命令の時間が 10^{-6} 秒ぐらいが最も速い部類であるが、この 100 倍、つまり 10^{-8} 秒ぐらいまでは上る可能性がなくはない。困難はむしろ記憶装置の書込、読出の時間にある。

3.2 記憶容量

これも大きければ大きい程よいし、人間にくらべて最も劣っている点である。しかし普通の用途ではすべての記憶が、いわゆる即時読出可能の状態になければ

ならないというものでないで、記憶を即時読出・書込の1次記憶と1,2次記憶との間にブロック移動が可能で2次記憶(磁気ドラム, テープ, 円板等)とに分けるのが実際的である。

1次記憶は 10^6 ビットぐらいあれば大体十分、2次記憶は 10^8 ビットぐらいはほしいと思われる。なお、超高速計算機では極く小容量の、0次記憶ともいえるべき高速書込・読出のできるレジスタを幾つかもつてい必要が出てくる。

3.3 固定記憶

翻訳機械における辞書のように、書込はまず必要がなく読み出すだけのそのかわり極めて大容量の記憶装置が必要な場合がある。これが固定記憶である。

3.4 特殊入出力

前章でのべたいろいろな応用によって、画像や音を直接受け入れる入力、画像や音を発生する出力、アナログ・デジタル変換器、デジタル・アナログ変換器などが必要になる。

3.5 制御方式

計算機の制御の方式にもいろいろの変形が考えられる。プログラムの進行を外からの信号によって中断して他のプログラムに移したり、また前に戻したりすること(割込)、いくつかのプログラムを並行に一つの計算機の中で行うこと(多重制御)などのことが目的によって必要となる。

4. そのための技術

以上のような要求が強く出されるのに応じて、そのための技術が着々と発展して来ている。それらをここで詳しくのべることは到底できないので、主な傾向を拾ってみると、

4.1 パラメトロン

これは最近ダイオードの障壁容量かバイアスによって変ることを利用したC-パラメトロンが注目され、数千メガサイクルの励振波で、百メガサイクル程度のクロックをもつ高速演算回路が可能になって来た。しかし、回路構成などに大分問題がある。

4.2 江崎ダイオード(トンネルダイオード)

これも上と同じく 10^{-8} 秒程度のクロック周期で動作する可能性があることから注目を浴びている。しかし、これはいわゆる2端子素子で、トランジスタのような4端子素子とは異った回路技術を必要とするところから、目下その研究にも力が注がれている。

4.3 超伝導素子

クライオトロン(cryotron)などの名で呼ばれているもので、構造が極度に簡単でかつ小形にできる点が特徴であるが、液体ヘリウムで冷さなければ動作しないのが不便な点である。

4.4 磁性体薄膜

磁性体、特にフェライトは記憶素子として広く用いられているが、速度を上げ、電力を下げるのに、金属(パーマロイ)の薄い膜がより有利であることが注目され、超高速計算機の記憶装置としては今日最も有力である。

薄膜の有利な点はフェライトよりもはるかに保磁力が小さい合金が使用できること、寸法比(直径対厚み)が大きいため環状にしないで反磁界係数を小さくして残留磁化をもたせることができ、したがって、適当な製造法(斜入射蒸着、磁界中での蒸着、磁界中での電解)によって磁気異方性を与えて、全体を単一磁区として動作させることが可能になったことである。

このことのために動作速度を上げて、磁化反転時間を数ミリマイクロ秒にすることが可能になったのである。通常はガラス等の基体の板の上に円板状に蒸着したり、ガラス、金属などの線の上に電解でつけたりして用いられる。パラメトロンを薄膜でつくることも研究されている。

5. その他の問題

5.1 小形化

電子計算機を小形かつ安く作るということは、高速化とは別の方向での強い要求である。もっとも、超高速の計算機をつくる場合は機械の各部の間を電気信号が往来する時間を短くするために、必然的に小形化が要求されるのであるが、それとは別に小形にすることは計算機の応用分野を広くするための前提となる。これに対する方法として、今までの方式でただ個々の部品の大きさを極度に小さくし、それに適する製造法、たとえば印刷配線と同様にして、部品までも一体に作ってしまうような技術が研究されている。

一方で、廉価かつ高信頼度の部品として、磁性体の素子(フェライトコア等)があり、これを主体とした演算制御回路も多く研究されている。それらの多くは、幾つかの巻線を施した磁心とダイオードとを用いるものであるが、ダイオードを用いることは切角高信頼度の磁心を用いたことの効果を半減するので、ダイオードを用いず、磁心だけで回路をつくる研究も行われている。

そのようなもので重要と思われるのは、多重連結、つまり多数の孔をもつ磁心を用いて、磁性体中での過程によって種々の論理演算を行わせる方式で、いわば在来のもので電気回路を使ったのに対して、磁気回路を主体とした演算装置ということかできる。

梯子形をしたフェライトに種々の巻線を行って、論理演算をさせる LADDIC とか、帯状磁性体の上に存在する磁区の配列を適当に変化する、駆動磁界によって移動させて行くシフトレジスタなどが報告されている。

この種の方法で、できるだけ電気回路を使わず、磁性体の中だけで各種の操作を行わせることができれば、極めて簡単な構造をもった超小形の計算機が実現されるであろう。

5・2 化学的素子

最も精巧をきわめた情報処理機械である我々の脳は、半導体でも磁性体でもなく、化学的な素子であるところの神経細胞からできている。神経がどのような微細構造をもち、どのような原理で動作するかはわかっていないが、とにかく化学的な変化が動作の基本になり、エネルギーもまた化学的な経路で与えられていることは疑いない。

そこで我々のつくる人工頭脳にも化学的素子がアトラクティブになるわけである。そこで National Cash Register では、液状化学物質を微細なゼラチンの袋に封じ込む技術を完成し、またある種の化合物に紫外線をあてるとその分子の結合が一箇所切れ、また赤外線をあてると元どおりになるというようなことを“化学的記憶”に使うことを研究している。いずれにしても“化学計算機”はできたとしても速度はあまり速くはなりそうもないが、小形大容量という方向で将来の可

能性として興味がある。

5・3 光学的記憶装置

これは記憶といつても前にのべた固定記憶装置としてであるが、固定記憶、つまり読むだけで書き込む必要のない大容量の記憶としては、今のところ記憶内容を黒白のパタンで表わした光学的記憶装置が最も実際的である。我々人間の使う固定記憶装置である書物はもちろんすべて光学的である。しかし計算機の記憶装置に、本のように頁をめくる形のものにはちょっと使いにくいので、回転する円板や円筒に情報を記録し、磁気ドラムなどと同様にして光学的なヘッドで読み出ししたり、フィルム上の情報をフライングスポットで照らして読み出ししたりする。

光学的読出しの特徴は、ヘッドによる読出よりも分解能が高いので、情報の面密度を多くできることである。一方、磁気記録のように簡単に書込、消去ができないのは欠点であるが、また利点でもある。

光学的な記憶の書込も全くできないわけではないし、何千万ビットの情報をこれに書き込む（しかも我々に理解し難い符号で）のには、何らか機械の助けを借りなければならない。それには、電子写真の技術などが恐らく活用されるのではあるまいか。

以上いろいろなことを、またそれほど新しみのないことを雑然と述べたので、電子計算機の将来という題に対しては羊頭狗肉のそしりを免かれたいと思う。こう話している今にも、世界のどこかで、想像もされなかったような新しい素子が発明されたり現象が発見されているかもしれない。しかしいささかでも御参考にしていただければ幸である。