

## 随 想

## 自 動 設 計 雑 談

林 国 一\*

## 自動設計という言葉は許せない

齒に布を着せない友人がいる。そういう筆者も口の悪いことでは定評があるのだが、その友人いわく「自動設計という言葉はどうも気に入らない。自動製図の研究なら許せるが、自動設計の研究というのは許せない。何となれば、設計というのは人間の創造活動そのものであつて、自動化などできるものではないからである」といつて筆者を叱るのである。

人間の創造活動を真に自動化できるとは考えられない。N. WIENER が自伝の中で、たとえ話として、「計算機（原文では猿）に十分な時間を与えれば、シェークスピアのハムレットを書くであろう。しかし、それ以外に無限に近いでたらめを出力する。その中からハムレットを探し出すことが可能であろうか。シェークスピアの偉大なところは、およそシェークスピア的でないものを大部分取り去っているところにある」と述べている。WIENER はさらに続けて、「最高の創造は最高の批判にほかならない」といつている。これだけではよくわからないが、察するに、自己の作品の気に入らない部分を直し切つたとき、世に受け入れられる創造品となるような批判眼がなければ創造はできない、という意味であろうか。

トルストイ (Lev Nikolaevich TOLSTOY) は、草稿を秘書に清書させ、それを直してまた清書させる、という過程を気に入るまで続けたそうである。WIENER のいう創造の定義に一致していると思う。

以上の話は、天才が天才を論じたもので、筆者ごとく凡人にそれが通用するとは考えられないが、天才といわれる人でさえ、自分で自分の作品が気に入らないで苦しむのならば、我々はさらに苦しまねばならないのだろう。

設計も同じこと（天才と呼ぶべき開発設計者が過去も現在も大勢おられることを主張したい）であつて、設計者はある種の心の整合を求めて、何度も構想を練り直し、図面を書き直す。これはシェークスピア的でないものを消し去ることをめざしているのであろう。この段階で設計者の秘書が勤まるような計算機を育てられないものだろうか。人間の秘書では、仕事がおそくて、とても勤まらない。また、設計中の機械を実際に運転したときに、何事が起こるかを、人間がその現象を基本的に既に

知つている、という条件のもとに、計算機が計算しつくすことはできないものだろうか。すなわち、創造ではなく、ルーチン・ワークについて、できるだけ有能な下働きができるような計算機あるいは計算法を開発するのが、設計の自動化の研究の目的であろうと思う。つまり、創造と非創造を分類する仕事であろうか、というようなことを話して、前記の友人の、とりあえずの許しを受けるのであるが、心から許してはいないのであろう。その証拠に、同じ叱責を既に少なくとも3回受けている。

## 計算機馬鹿

研究室の学生が、「自動設計の研究つてのは、人工知能の研究なんですね」と感にたえた面持ちで切り出した。人工知能という言葉は少しどぎつい表現で、人前ではなるべく使わない方が無難である。しかし、設計のなにがしかの部分の自動化するとなれば、多かれ少なかれ、人間の脳みそを含む各部の働きを部分的に代行するのであるから、知能がばかに低いことを気にしなければ、たしかに人工知能の研究といつてよい部分があろう。研究をしている当人達は、「知能の程度を後日きつと人間に近いところまで上げて見せる」という夢を持つているので、それでよいのであるが、そうでない人達は、「思い上がりも程々にせい」とにがにがしく思つておられるに違いない。

あるとき、研究室の学生が、計算機のハード、ソフト両方にまたがる修士論文を発表した。この学生は重厚な話しぶり、なかなかオリジナルな研究結果を述べたのであるが、これを聞いておられた材料強度のボスの先生が一言「君の計算機で材料の強さが決定できるかね？」しばらく考えて、学生が、これまた一言「できると思います」と答えた。ボスと筆者は顔を見合わせて「質問の意味がわかつていないようですね」とその場は笑つて済んだが、この質問は、計算機などに付合つている連中がともすれば陥りがちな誤つた認識をつく強烈な批判で「人間にわかつていない現象まで計算機は扱えるのかね」というのが、その本意であつたと思われる。

## 設計の自動化へのアプローチ

設計の自動化については、多くの対象について、多くのアプローチがありそうである。筆者自身は次のようなことをやりたいと思つている。一つは図面処理に関することである。計算機に図面を読ませたい、図面はその解

\* 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授 工博

積が一通りであるように書かれているか、図面をどう書けば一通りに読めるのか、図面に書かれている寸法を読ませたい、各部品のすべての寸法が決定されるためには寸法をどう記入すればよいのか、図面が示す機械は組み立て、分解が可能であろうか、もし不能のときにはどうすればよいのか、各部品の形状、寸法をいかに決定するのか、計算機は部品の形状なるものをそもそも認識することができるのか、部品の形状は加工可能なものか、機械のスケレトンを入力して、詳細構造、寸法を計算機に決定させてみたい、等々である。

もう一つは、機械を運転したときに発生するであろう物理現象を全く自動的に計算しつくすことである。これには本質的に新しいことは何もない。すなわち、人間がその法則を既に発見している物理現象に関する計算式は与えられている。必要なだけのメモリーを持つ計算機が存在し、必要なだけの時間が与えられるなら、上に述べたことは実行可能である。ただし、計算機はある有限のプログラムを持ち、既知の現象の基礎方程式は必要なだけ組み込み済みであつて、ある物理現象の境界に関する事項と結果に対する要求精度だけが入力されると、これを受けた計算機が、その物理現象にかかわる空間をメッシュに切つて解くか、切らずに解くか、それは一切計算機まかせとしたい。このようなプログラムを部分的にせよ作り上げるのは大変なことであるが。

ともあれ、現時点では、計算に要する時間の壁によつて、一般に実行可能でない。ゆえに超々高速の計算機がほしい。その程度は現代最高速の計算機より、少なくとも100倍、できれば1000倍くらい速いものである。メモリ容量ももう1桁くらい多くほしい。あとで述べるSOLOMON形計算機がその候補でありうる。

さて最後に、部品の形状は要求仕様と、もろもろの制約を満たした上で、不都合な物理現象を避け、材料のむだがないように決定さるべきもので、その自動化について既にかかなりの数の研究が見られる。これらの研究者は、解が一意的であるとはいいいがたいことを感じておられるようである。人間と計算機の対話が必要な領域かもしれない。

#### 他分野との関連

我々の機械は、まず世の中で硬いものの代表である。遺伝子といえば生物であるから、軟らかい方の代表と考えることができよう。しかし、遺伝子そのものは結晶に近い分子の結びつきの強固さがある。ゆえに機械に近い、という遺伝子屋さんに叱られそうなので、人前では話さないことにしていた。

日本の中では、あまりはやらないが、外国からはときたまファンレターが来る。「貴殿の論文はおもしろいから別刷を送れ」というものである。あるとき、Stanford大学医学部遺伝学科のJoshua LEDERBERGという教授(Nobel賞受賞者)から、これが来た。筆者が学生と組

んで、習作のつもりで、おそろおそろ出した「凸多面体の位相幾何学的自動生成」という論文へのリクエストであつた。内容は、簡単にいえば、 $n$ 面体を出せと入力すれば、ありつたけの凸 $n$ 面体(実際には全部ではなく、限られた種類に属するもののすべて)を、たとえばスケッチ図の形で出力してくるような算法を述べたものである。これは機械部品の形状を多面体でモデル化しようという魂胆から出た研究であつた。この手法は組み合わせ問題をストレートに扱っているのだから、凸10面体を全部出させようとする、日本で利用できる最大の計算機でも、メモリ容量、時間共に不足するという駄作であつた。

あとで知つたことであるが、LEDERBERG教授も高分子の異性体の数え上げで、筆者らと類似の方法を筆者らより前に発表しておられる。ついでながら、グラフ理論の応用という点で、多面体の発生と電子回路用プリント基板の配線パターン設計の自動化とで、一部類似のところがある。T. A. J. NICHOLSONが草分けの1人で、筆者らより前に論文を出しているが、ぴつたり同じ方法を用いている部分があり、NICHOLSONの方が定式化の点で進んでいる。何のことはない、少なくとも2つの先行する類似の手法があるのを知らずに、それらより、どちらかといえば、退歩したものをあとから出したという不始末である。

#### SOLOMON 計算機

もう3年近く前のことになるが、シカゴの学会へ歯車の疲れ強さの研究を発表しに行つたとき、東京からの飛行機の隣席に、よく飲み、かつ眠るスカッとした青年紳士がいた。ハワイに近づく頃目ざめたこの青年と、日の出を楽しみながら話してみると、科学朝日の田沢健次郎さんという人で、これから遺伝子特集号の取材に出かけるところですという。LEDERBERGさんのところへ行きますかと聞いたら、いや、あの人は気むずかしいそうですからどうしようかと思つていますという。ああ、やっぱり機械屋は遺伝子屋さんには近付かない方が無難だな、とこの時思つた。

さて、シカゴへ行つたついでという申し訳ないのだが、シカゴの南180kmのアーバナ・シャンペインの町にある、というより、町の半分を占める、イリノイ大学は計算機学科(これは小さい建物)のD. L. SLOTNICK教授を訪ねた。

この人がいい出し、かつ実行したことは次のようになる。まず、よくできたたとえ話がある。劇場に客を満席にする。すべての人にそろばんを1つずつ持たせる。すべての人に任意の数を想つてもらふ。ただし、最前列の最左端の人は100という数を与えられていて、その値を決して変えない。また最後列の人は、すべて値0を想うことを指示されていて、これも決して値を変えない。これらの例外を除いて、すべての人が同時に次の計算を行

う。自分の前と後ろ、左と右の人の数値をもらつて、それらをすべて加え、4で割つて自分の新しい値とする。端にいる人は隣が欠けている。そのときには、たとえば右が欠けていたら、左の人の値を右の値として使う。こういう計算を皆がいつせいにやり、値が変化しなくなるまで続けると、2次元の温度分布の問題を、差分法を使つて、逐次近似法で解いたことになる。これを地で行つた計算機を、SLOTNICK は SOLOMON 計算機と名付け、1962年に提案している。そして現に作つた(1973年から稼働)<sup>2)</sup>。ILLIAC IV という有名な計算機で、そろばんを  $8 \times 8$  の 2次元配置で 64個持つている。すべてのそろばんは前後左右のそろばんと直接伝送線で結ばれている。端のそろばんは反対の端のそろばんと結ばれている。設計はイリノイ大学とバロース社で行われ、製作はバロース社である。

筆者らも SLOTNICK におくれること 10年にして、同じことを想い、そして SLOTNICK と ILLIAC IV の名前を知つた。SOLOMON 形計算機は、たとえば話でおわかりいただけたと思うが、連続体の力学問題を数値的に解くのに、基本的に適している。しかし、ちよつと考えても、いくつかの問題がある。たとえば、256個の演算装置が  $16 \times 16$  の 2次元に配置されていると仮定しよう。正形状の連続体の平面問題を、ちょうど  $16 \times 16$  のメッシュに切つたとすれば、この計算機にぴったりであるが、現実離れした問題である。詳しく述べると長くなるので、はしよるが、現実の物理現象では相隣るメッシュ点を、計算機の中では離れた演算装置に割り当てざるを得ないのが一般である。そうすると、遠く離れた演算器間でデータの授受をせねばならない。しかも、できればすべての演算器間において同時に、データの伝送を完了するのに必要なステップ数が多すぎると、明らかに計算機の効率が落ちるし、さりとて、たとえば、すべての演算器間を直接伝送線で結ぶことは配線の容積の点でパンクする。伝送線は ILLIAC IV のようにするか、せいぜい各軸方向で全演算器を直接結ぶのが可能な最大限である。これらの問題をつきつめると、たとえば、 $n \times n \times n = n^3$  個の 3次元配置の演算器が各軸方向にのみ直接伝送線で連結されていて、1から  $n^3$  までの連続した整数が、各演算器の位置に、ランダムに割り当てられているとき、この数字を演算器の番号順に要領よく整理させる方法があるかという問題に帰着する。これを研究室の横山、秋山両君が見事に解いてみせてくれた<sup>3)</sup>。明石高専の数学の加納幹雄講師が非常な興味を持つて下さつて、数学的展開をはかつておられる<sup>4)</sup>。SOLOMON 形計算機が、がまんできる効率で働くことを保証するには、他にもまだまだ問題点があり、現在それを1つずつ、つぶしているところであるが、SLOTNICK が ILLIAC IV を作る段階で、これらのことを検討しつつして現物を作つたのか、あるいはその後継続して検討しているのかどう

かを、SLOTNICK 自身に聞いたかつたので、訪ねてみた次第である。

上記の整列に関する英文論文の原稿と簡単な例題をあらかじめ SLOTNICK に送つておいた。約束の日の約束の時刻に部屋をノックすると「入れ、林か?」と中から大きい声でどなつている。「そうです。あなたは SLOTNICK 教授か?」と、こちらも大きい声を出した。さて、開口一番 SLOTNICK は「送つてもらつた、あなた達の論文は難しくてよくわからん」という。「そんなばかな」と思つた。SLOTNICK は数学科の出身である。論文本体は、こちらの英文がまずくて、よくわからないということはあろうけれども、添付した例題は大きい図と文字で書いてある。SLOTNICK が一度でも考えたことがあれば、一瞬にしてわかるはずである。これで SLOTNICK 訪問の目的を達した。

ところで ILLIAC IV はイリノイ大学ではなく、NASA の研究所にある。「SLOTNICK 教授、ILLIAC IV はなぜ NASA へ行つてしまつたのか」と聞いてみた。ベトナム戦争の頃、軍時研究だと学生達がさわいで、イリノイに置けなくなつたという話を前に聞いていたので、それを確認してみたかつた。「私は不運でした」と涙声になつた。それ以上詳しく聞くのは失礼な気がしたので、実は我々も研究室の経常予算でできそうな ILLIAC IV の小形判を作り始めている。将来、もしできれば 256個くらいの演算器を持つものを作つてみたい。何か助言があるかと聞いたら、伝送線の配線問題をどうするか(これは普通に配線すると、4K個くらいの演算器数になると、配線の重なり厚さがメートルのオーダーになり、配線不能)、熱放散の問題をどうするか、現在の技術水準で適当な演算器数などについて、質問、助言のあと「ぜひ、実現できるよう祈る」といつた。

専門家の間で、ILLIAC IV の評価は高くないようである。イリノイ大学内部でもそうで、それもあつて、先生達も学生に同調してしまつたのだと、あとで同大学の機械科の先生から聞いた。しかし、超大形、超高速の計算機のことを書いている本には、まず例外なく ILLIAC IV が出てくる。この計算機にも欠点はあると思うが、何よりも、それを使うための基礎理論の未確立が、かんばしくない評価の原因と思われる。世に出るのが少し早すぎたということであらうか。

#### あとがき

思いつくままに、気ままなことを述べさせていただいた。

設計の自動化に関連する研究をしていて、第一に感じるのは、研究そのものに対する世の批判があることで、これは人間の知的な仕事の機械化という方向が見られることと、それにもかかわらず、できたものはただのプログラムではないか、という羊頭狗肉的な不整合が見えるいやみを否定できないことによるのであろうか。と

もあれ、筆者らとしては方向を誤らないように、一歩ずつ仕事を進め、有用な結果を得たいと願っている。

第二に感じることは、工学の他分野、たとえば、航空、造船、電子、土木、建築等では、既に定本となつて実用されている、設計の自動化分野があるのに、機械一般の分野では必ずしもそれが見られないことである。焦点の定め難さが原因であろうと思うが、狭くいえば、機械工学分野の独立性、もう少し広く見れば、日本の技術の独立性を将来ともに保つために、設計の自動化工学も早期に確立されることが望まれる。

#### 文 献

- 1) N. WIENER, (鎮目恭夫訳): 創造性の本質, 丹羽小弥太編, 科学革命の世紀 (1967), p. 197 [平凡社]
- 2) 加藤満左夫, 苗村憲司: 並列処理計算機, (1976) [オーム社]
- 3) 横山正明, 林 国一, 秋山 睦: 高速連装計算機による工学問題のダイレクトシミュレーション (第3報), 機論, 44, (1978) 381, p. 2001
- 4) 加納幹雄: ある種のグラフ上のデータ置換問題について, 明石高専研究紀要, (1979) 21, p. 63