

# 建築分野におけるコンピュータ利用の現状と展望

和田 章\*

## 1. はじめに

ある日の昼下がりに、私鉄のターミナル駅で出発まで時間のあるほとんど乗客のいない電車に乗ってきた女子高生が、ルーズソックスとチューブに入った滑り止めをおもむろにカバンから取り出し、さらにスカートの長さを調節したりして、一見不まじめ風の高校生に変身し始めた。そのまま、何となく見ていると四角い鏡までとりだしてお化粧を始める。ここで、私の頭をよぎった思いは複雑である。若者がこんな状態ではこの世はもうお仕舞いだ。でも、この高校生は我々の人間社会に何か悪いことをしているのか。電車の中で変身し、お化粧を始めることは良いこととは思わないが、少なくとも社会に大きな迷惑はかけていない、個人的な些細なことである。これに比べて、英知を集めだまじめで進めている大型のプロジェクトが思ったように進まないことが多く、社会に掛けている迷惑は比較にならないくらい大きい。だからといって、あの女子高生生のスタイルが今の文化だとも思いたくない。

コンピュータを使ってものごとを効率的に進め、その結果としてあまった時間は創造的活動に役立てるというたい文句のもと、この30年に電算化の嵐は日本中を覆った。これらに関してきたほとんどの人々は、次の世の中をもっと住みよいものにと夢見て、日々頑張ってきたに違いない。しかし、結果は思い通りにはならなかった。忙しい人はますます忙しく、その結果として生まれるはずだった余暇の時間は頑張ってきた同じ人には与えられず、新卒の学生の就職難を起し、さらに深刻な問題として企業のリストラクション、人員削減となって表われた。女子高生を退廃的にした遠因になっているかもしれない。

電算化については、これだけ多くの人が押し進めてきたのだから、良い結果も沢山あったに違いない。しかし、すべてに良い結果を生むと思って突き進んできたことが生んできた悪さを見ると、電車の中でお化粧している女子高生の方が、何もしていないだけ余程ましなように思えてくる。7兆円以上の国債が発行され、景気対策のために補正予算が組まれた。小学校にインターネットを

導入する費用も含まれている。大きな方向としてこちらに向かうのであろうが、忘れるものが無いか考えなくてはならない。カマキリもバッタも攫めないものが言っても迫力はないが、ホームページで虫や鳥の鳴声を聞くよりより、野山を駆け回って本当の虫や鳥にあったほうが良いに決まっている。

## 2. 効率向上と電算化

30年以上前のことと思うが、我が国に郵便番号を用いた自動振分機が導入されようとしたとき、東京中央郵便局の局員の人たちは導入に反対して、ストライキを行った。宛先別の格子棚に目にも留まらぬ早さで手紙や葉書を放り込む仕事をしていた沢山の人々である。今となって思い起こしても虚しいが、この自動化はどうしても止められない流れであったのだろう。郵便番号と自動振分機導入の数年後、建築の構造設計の中でルーチン的な仕事を電算化することが盛んに行われた。施工会社や設計事務所が競って、プログラム開発を進めた。不思議なことでもないが、この動きに対してストライキをしようとした構造技術者は一人もいなかった。帳簿を付けるような単純計算から開放されたいという気持ちはみんなにあったのだと思う。どこの会社でも、その企業の目的を達成するのに必要な陣容を揃えて日々の仕事をこなしていく。構造設計の技術者がその仕事の効率を高めるために、ルーチン的な仕事を電算化するとき、その目的は余った時間を創造的な仕事に使ったり、次の仕事のために研究活動を行うはずだった。しかし、同じ量の仕事をこなすための人員が減らされたり、同じ人数で、以前より多くの仕事をこなすことになった。その結果、非効率な仕事をしているセクションに比べ、人数が減り、社内での発言力が小さくなることもありうる。思った通りにはいかない難しさがこんなところにもある。

建築の仕事ではないが、役所仕事の効率の悪さは常に指摘されている。国立大学でも同様である。大学を独立法人にしようとしているが、これにより相当の事務の効率化が図られるはずである。その結果、リストラが行われ、新卒の就職先がまた減ることになる。この流れはやはり止められない。建築の設計から施工、竣工後の維持管理、解体後の資材の有効利用、この大きな流れの中にも非効率な部分は多い。電算化による効率向上を図り、

\* わだ・あきら/東京工業大学教授 建築物理研究センター長 (正会員)

より良い建築を作っていくことができるはずである。しかし、その結果産み落とされる問題点にも気を使っていかなければならない。大学の事務局、どこにでもあるお役所、システム化されていない建築関係の仕事場、こんなところでは、机の上が資料置き場のように図面、仕様書、書類で山積みになっている。仕事場の机の上が山積みになっているところに電算化、情報化による効率化の余地が残っているとと言える。

### 3. 3極真空管

壁のスイッチを入れると電気がつき部屋が明るくなる。スイッチを入れると電気は流れる、この流れる電気を使って電磁石を働かせ、別のスイッチが入る仕組みを作る。そうするとまた電気が流れる。これの繰り返しにより電気を利用して計算させる装置を作ることができる。これが電磁リレー式計算機である。3極真空管は極が3本あり、陰極から陽極へ飛ぶ電子の量を3本目の極に与える電圧によって変えられる性質を持っている。第3極に与える電圧の変化に比べ、陰極から陽極へ飛ぶ電子の量や電圧を大きくできることが大きな特長である。この真空管にスイッチの役目を持たせることができる。これを使って作られた計算機がペンシルベニア大学で1946年に開発された「エニアック」であり、真空管を約1万8千本使った電子式計算機の始まりである。このチームにジョン・フォン・ノイマンが参加し、1952年にプログラム内蔵型のコンピュータが開発された。朝日新聞（1999年11月14日）によると、基本的にはノイマン型と言えるパーソナルコンピュータの今年の出荷は1億台を越すそうである。世界の老若男女の60人に1台であるから、相当の数である。この50年の間に、3極真空管はやはり3本足のトランジスタに置き換えられ、次には集積回路へと改良されて今日に至っている。

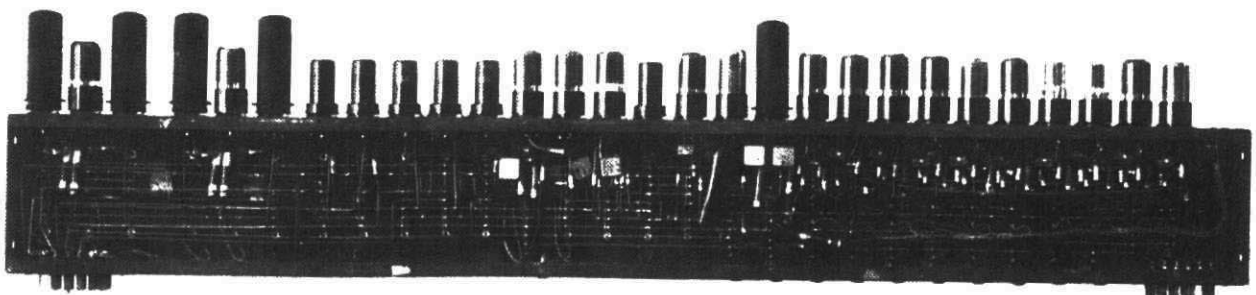
日本の建築界に電子計算機が導入されたのは東京オリンピックの開かれた1964年前後である。この導入初期に電子計算機を使って計算、研究、開発を行っていた人たちは、容量の小さなコア式メモリと紙テープ、そして手動式のタイプライタをそのまま電動式にした一文字ずつしかタイプできないプリンタの計算機を使って骨組計算などを行っていた。その前後、本格的に使った計算

機は16Kバイトのメモリ、1024Kバイトのハードディスクとラインプリンタを持っていて、我が国初期の超高層建築の骨組解析、地震応答計算などに使うことができた。現在の携帯用のパーソナルコンピュータでさえ、100Mバイト程度のメモリと数ギガ程度のハードディスクを持っているから、容量だけでもそれぞれ1万倍程度になる。前者はガラス張りの電子計算機室に大切に置かれていたコンピュータであり、後者はかばんの中に入れて持ち歩けるパーソナルコンピュータである。ただ、当時の人々は今になって、遅いコンピュータを使って徹夜してプログラムを作っていたことを懐かしんでいる。コンピュータの性能さえ許せばやりたいことは無数にあった。この流れの中にあって、ほとんどの人は、コンピュータは計算させるための機械と思っていた。

### 4. 建築の仕事

スイッチを入り切りすれば電気が流れたり止ったりするのと同じように、水門を上げ下げすることによりダムを流れる水の量は変えられる。郵便番号によって手紙や葉書の行き先はコントロールされる。我々にとって必要なハードな「もの」の流れは、間接的に別の情報によってコントロールされていることが分かる。3極真空管、トランジスタの働きと同じである。

建築主、ディベロッパーが建築家、建築技術者に新しい建築の構想作りを依頼したときから、建築の仕事は始まる。この始めの段階では、具体的にコンクリートが練られたり鋼材が組み立てられることはなく、扱われているものは図面、模型であったりコンピュータ上のデータであるから建築はソフトな情報として存在する。この過程を過ぎて、大きな方針がまとまったところから、基本設計が作られ、最終的に実施設計の図面が出来上がって、積算が行われ、建設会社の決定、そして実際の施工に入る。この段階から図面や仕様書に書かれているソフトな情報は、3極真空管の第3の極からの刺激によって真空管を流れる電子の量がコントロールされスピーカーから音が出るように、実際の鉄筋の配置、型枠の組立などの指示を通して、柱、はり、壁さらに床が作られていく。設計者から流れるソフトの情報が施工を実際に行う人たちへ伝わり、ハードとしてのものが動き出すことになる。



真空管式計算機「エニアック」のプラグインユニット  
ハーバード大学プレス発行の「A Computer Perspective」より転載

この流れは、水門の上げ下げによってダムを流れる水の量が変わられるのと、同じ仕組みと言える。これらすべての場面でコンピュータが活躍できる場面が沢山あるに違いない。計算機は計算させるための機械ではなく、情報を処理し、次の運動を起こさせる機械と考えなくてはならない。

始めの小さな刺激が情報やものの流れをコントロールし、その生まれた情報の刺激によってさらに大きな情報やものの流れがコントロールされる。コンピュータの中の動きと建築の仕事には共通性があると言える。

## 5. コンピュータ利用

コンピュータ利用の初期には理論が明解で、コンピュータが行列計算に適していたこともあり、マトリックス変位法に基づく理論により構造計算、構造解析によく用いられ始めた。フーリエ解析、数値積分などもコンピュータの最も得意な分野であり、1960年代後半から多くの研究者、技術者に使われた。その後、設備機器の計算、ダクト計算、建物の熱収支の計算などにも使われ始めた。1970年代前半はCRTディスプレイが非常に高価だったため、建築設計、CAD、グラフィックによるアニメーションなどは非常に少ない頻度でしか使われていなかった。1970年代半ばだったと思うが、アメリカのシカゴの設計事務所(SOM)のグループが、シカゴの街に建っている建築と、これから建てようとする建築を立体的な線画で表わし、その町の空を架空に飛ばせた紙飛行機にあわせて街の景色を変化させ、新しく建てる建築の中をくぐりぬけさせたりする素晴らしい動画を日本に紹介した。SOMでは、木材を使ったシカゴの街の正確な模型も持っており、これをコンピュータ化しただけであったが、日本の関係者は驚きをもってこのフィルムを見た。数年後に訪ねたとき、超高層建築の模型を作るにあたり、高層建築の窓の形を立体模型として表わすために、3次元的に移動するドリルをコンピュータ制御で駆動させ、一面ごとに厚いプラスチック板を削り、細かいレリーフのようなファサードの立体モデルを作っていた。少し後になり、ヒューストンにある別の設計事務所を訪ねたが、コンピュータを用いた動画によるパース、模型を使ったプレゼンテーション、色鉛筆や絵の具を使ったパースなど、多様な道具を使って設計を進めていた。当然のことであるが、一つの方法に限ることはないわけである。

そのころ、プロッターの技術も進み、建築、地域計画、宅地造成、ゴルフ場の計画などにコンピュータが用いられ、作図に大型のプロッターが使われていた。1980年代の前半のことである。しかし、日常の業務に本当の意味で電算による自動製図が行われている場面とは、織物工場に自動織機が何十台も置かれていて、絶え間なく織物ができていくように、プロッターが何十台も置かれていて、どんどんと図面を描き続けるようにならなければ

本物ではないと言われていた。約20年の産みの苦しみはあったものの現在のCAD全盛の状態は、この時代に思い描いていたものになったと言える。

## 6. 構造解析技術

先にも書いたが、日本の建築界でコンピュータ利用に始めに取りついたのは構造計算、構造解析の分野である。初期には弾性骨組解析、弾性振動応答解析、等価せん断型弾塑性振動応答解析が行われ、1981年6月に施行された新耐震設計法の影響により、建築骨組全体にある荷重形を持った水平力を徐々に増して作用されていき、骨組の弾塑性解析を行うことが日常的に行われるようになった。この新耐震設計法が導入されるまでは、建物の重量に静的震度0.2を乗じて計算される水平力を構造物に作用させ、許容応力度設計が行われていた。この方法は50年も使われたのだから、新しい方法への大きな変革であった。十勝沖地震、宮城県沖地震などで、建築構造物に作用する地震力は優に0.2を越えることがはっきりして、これを越える地震に対して構造物を崩壊させないことを重要視した改正であった。それから、もうすぐ20年である。今年に続いて起きたトルコの地震、台湾の地震を見てこのときの改正の重要性が感じられる。今年の6月には再度大きな改正が実施に移され、構造物の性能に注目した設計法が使われ始める。89年のロマンブリエタ地震のころから大地震を受けたとき構造物を崩壊させないことは当然として、建築物の財産価値の維持、建築の機能の維持までを望む声が増えてきたからである。これまでは、構造物の強さに注目して設計が行われたのに対し、新しい方法では、構造物の揺れ、変形などに注目してその性能を測る時代になる。ここに、再度、コンピュータ化の波が押し寄せてくることは明らかである。

30年前に多くの人がフォートランのプログラミングの方法を勉強した教科書の著者である森口先生は、すべての現象は振幅を持った波と思ったほうが良い。行き過ぎと皆が感じたら、戻せば良い、引き下がり過ぎと思ったら、進めれば良いと言っている。構造設計や構造計算の分野への電算化についても同じように柔軟に考えればよい。行き過ぎといふところまでやってみて、適当と思うところまで戻ってくればよい。有限要素法による解析などはコンピュータ能力の飛躍的な発展により、かつては考えられないような大きな問題まで解けるようになっている。未知数の数が数百万、億の単位になろうとしている。しかし、実際の自然現象を明らかにするためにはまだまだ不足である。立方体を各辺につき100分割して物体の力学的性状を見ようすると、節点数は百万、未知数の数は3百万になってしまう。構造物の複雑な形状、材料の変化に対応するのに、1辺を100分割する程度では不足なことは明らかである。パラレルコンピュータ、マッシュプリー・パラレルコンピュータなどの性能がさら

に飛躍的に向上することが望まれる。

## 7. 標準化

現在のように電気やガスの力を利用して人工的な環境を維持する仕組みができるより前までは、建築はその建てられる風土に合わせ、その地域で集めやすい材料を用いて作られていた。建築を作るためには大量の材料が必要であり、それを運ぶために多くのエネルギーが必要だからである。鳥などの動物が巣を作るとき、手近な材料を集めて来るのとほとんど同じである。しかし、現状の方法は自然に則した方法とはとても言えない。中近東から輸入する大量の石油、オーストラリアの鉄鉱石、時にはヨーロッパから運ぶ大理石などが使われる。日本国内だけで見ても、大量の建築資材が遠い距離まで運ばれている。文章を書くのにワープロを用い、出来上がった原稿を添付ファイルで送る。その時送り手と受け手が同じソフトを持っていないと、送られたファイルは読めない。このことは国を越えても起こる現象である。自然と最もよく使われるソフトが標準になっていくが、これをデファクト・スタンダードと呼ぶ。もともと文章を書くことは個人的なことであり、ローカリティが許されていいはずのものであるにもかかわらず、国際的な標準化の波に合わせなくてはならなくなる。

建築は先に述べたように、最もローカリゼーションが許されていい分野である。できるならば、その地の風土に合わせ、近いところで生産できる材料を用いて、作るのが最も良い。軽量で高価な電子部品から工業製品の単位重量あたりの値段を並べていくと、コンクリート製品は最も安価な工業製品としてリストされる。このようなものを作ってから遠く海外まで運ぶのは非効率である。こんなところに、建築の部品の標準化、その部品を表わすコードの標準化が、本当に必要なものか長い間、疑問であった。始めのうちは標準化がなくても電算化は行われていた。これがネットワークに乗り情報が交換されるようになると自然と標準化の必要性が高まっていく。この標準化が行われなければ、山積みになっている設計事務所や建設現場、建物を維持している営繕課の人たちの机の上は整理されない。電算化、情報化によって全体の効率は上がっていく。想像される通り、これは国内に留まらず、世界の動きになる。標準を勝ち取ったところの勝利という話もある。この特集でも取り上げられている建設 CALS を実行させるためにも必要である。

ここでやはり問題が残る。建築はただ効率良く次々に作っていけばよいものでもない。やはり美しい建築、町並みを作っていきたい。ここでどこまでの標準化が必要で、これ以上の標準化は必要ないと言う見極めが重要になる。ネジやボルトの規格を標準化しても、だれも、創造的活動が拘束されるとは思わない。しかしドアの形、大きさが標準化されたらどうか。屋根の形が標準化され

たらどうか。建物そのものが標準化されたらどうか。形を決める重要な部分が標準化され、コンピュータ上でも標準化されたものしか扱えなくなってしまうたら、その標準化は行き過ぎである。一方で、創造的活動の自由さを、どこまでも許すのが良い社会かどうかを考えなくてはならない。東京のように無秩序に作られた街を見て美しいとは感じられない。難しい問題である。

## 8. データベース

データベースの拡充は情報化社会の中で期待される大きな項目の一つである。研究論文や特許情報のデータベースなどは日に日に使いやすくなっている。SOM が作っていたシカゴの街の3次元データが始まりと思うが、我が国でも似たようなデータベースはあるし、カーナビゲーションのデータもますます詳しくなっている。兵庫県南部地震の被害を受け、後付け的な研究ではあったが、表層地盤の層状の力学的性質だけでなく、大きな意味での地中構造、地中の形状が地表部での地震動の性質に与える影響が大きいことがはっきりした。1種地盤から3種地盤までの分類ではとても表わせない。地中の構造までの情報を設計にいかそうとしたら、地中構造のデータベースを作る必要性が出てくる。新築建物の建設に先立って行われるボーリングデータを集めて誰でも使えるデータベースを作り、これに、将来起きうる断層情報を組み合わせ、建設地に将来起こるであろう地震動を作ることができれば、耐震設計は相当やりやすくなる。これらは、データベース利用のほんの一例である。

## 9. おわりに

情報化の波は、最もこれと関係の薄いと思われていた建築の分野にも間違いなく来ている。30年前と比べて、企画から設計、施工とその後の維持管理にコンピュータの利用は欠かせないものになっている。設計案の比較、施工の合理化、維持管理のしやすさなど、多くの面でコンピュータが役立っている。インターネットでつながれた社会は、今までのように郊外に人が住み、満員電車で1時間も2時間も揺られて都心の事務所に通勤するという都市の生活を変えてしまうかもしれない。長い人類の歴史の中で、今の仕組みが出来上ったのはつい最近のことで、いつまでも続くとは限らない。2000年台には大きな変化が待っているのかもしれない。建築の作り方も変わっていくだろう。

戦争が無く平和な時代が長く続くことを願うが、この平和な時代、そして情報化により効率が高まった時代に、後世に残せる素晴らしい建築を心を込めて作ることが必要である。それでも余った時間、多くの労働を必要としない時間を持った人が増えたなら、芸術の振興、より深みのある文化の創出へと力を注ぐような時代が望まれる。