

# 丹下健三研究室のコンピュータ利用の評価とその今日的応用方法の検討

○水谷 晃啓\*1

八東 はじめ\*2

キーワード：丹下健三研究室 アルゴリズムック・デザイン コンピュータ・シミュレーション

## 1. はじめに

日本の建築分野におけるコンピュータ利用は1960年頃からはじまるが、こうした黎明期の試みはこれまであまり着目されてこなかった。したがって、現在のコンピュータ利用との関連性やその意義について明らかにする研究は少なく、今日までに十分な評価がなされているとは言い難い。情報技術が目覚ましく発展したこの50年の間に、建築分野におけるコンピュータ利用の手法やその概念がいかに関係してきたか相対化するためには、単に道具としての発展のみに着目するのではなく、コンピュータを利用したことで、建築デザインがどのように発展したか整理する必要があるといえる。また、学術的にその可能性を考察していくためには、これまでに何が実現し何が課題として残っているか明らかにする必要がある。今日におけるコンピュータ利用のこうした問題の一端を解決するために、1960年代の世界の建築・都市デザインを牽引し、同時期にコンピュータ利用の方法を模索した、東京大学丹下健三研究室の手法の分析を行い、その試みが同研究室のアーバン・デザイン手法とどのように関連しているか明らかにする。丹下研のコンピュータ利用の今日的意義について考察し、今日の情報技術を用いてその概念の応用を試みていく。

## 2. 黎明期のコンピュータ利用の整理と丹下研の目的

60年代初頭のコンピュータ利用をリードしていたのは、構造では服部正、建築計画では清水建設研究所の太田利彦と佐藤庄一、京都大学(後に大阪大学)の笹田剛史であり、都市計画では東京大学の丹下健三研究室であったといえる。服部の設立した構造計画研究所は、1961年に日本で初めて構造計算にコンピュータを用いたとされる<sup>1)</sup>。清水建設研究所の太田と佐藤は、1965年から1970年にかけて設計段階におけるコンピュータ利用に関する研究論文を建築学会などに立て続けに発表している。笹田は京都大学・川崎清研究室に在籍していた66年頃から、アイデアをチェックしわかりやすく表現するコンピュータ・システムの開発と研究を行い、学会論文や雑誌等で発表している<sup>2)</sup>。丹下研のコンピュータ利用は、山田学、月尾嘉男を中心に、1963年の「東京都庁舎の庁内の職員、来客に関する流動調査」より始められたとされている<sup>3)</sup>。丹下研のコンピュータ利用に関する試みは、66年に都市計画学会に提出された「道路の景観設計(ヴィスタによるシーケン

スの構成)」、67年に同学会に提出された「URTRANの開発」、「万国博覧会場内の観客流動と視覚構造」という一連の論文と、67年に建築文化で組まれた特集「アーバン・デザインの追求」<sup>4)</sup>において集中的にまとめられた。論文のタイトルにも表れるように、こうした丹下研のコンピュータ利用の概念は、同時期に丹下研が参照していたハーヴァード大とM.I.T.の共同都市研究所JOINT CENTER FOR URBANISMの研究、とりわけK. リンチの影響を受けていると考えられる。68年に丹下の邦訳により出版されたリンチの「都市のイメージ」の解説には、万国博覧会場の眺望範囲の濃度分布図が挿図され、リンチが提唱したイメージアビリティとの関連が論じられ、「いろいろなサインの配置を決める際にもこの図は役立つのである」<sup>5)</sup>とされている。また「URTRANの開発」では、M.I.T.が開発した土木工学総合システム「ICES(Integrated Civil Engineering System)」を参考に、アーバン・デザインのための専用言語「URTRAN」(UrbanismとTranslationからの造語)の開発が試みられたことが論じられており、概念だけでなく言語開発という技術的な点においても同時期のアメリカの作業が参照されていたことを示している。このようなことから、アメリカで行われていた当時の先端的なアーバン・デザイン研究および情報技術の応用であることが分かるが、アーバン・デザインのための空間分析にコンピュータを用いるという発想は丹下研特有のものであった。即ち、丹下研のコンピュータ利用は、服部や太田と佐藤、笹田が対象とした建築よりも大きな都市スケールを扱うものであり、アーバン・デザインのための手法の開発を目的とするもので、丹下研独自の視点を有したものであったといえる。

## 3. マクロ型とマイクロ型のシミュレーション

60年代を通して追求された丹下研のコンピュータ利用は、マクロ型とマイクロ型の二つに分類することができる。マクロ型のシミュレーションは統計データ等を扱うトップダウン的な視点から行うものである。マイクロ型のシミュレーションは空間の知覚構造を扱うボトムアップ的な視点から行われたものであり、前述したようにこのアプローチにはリンチの影響が認められる。この二つの視点はコンピュータの導入以前の、50年代を通して行われた作業から引き継がれたものであったと考えられる。

トップダウン的な視点は、膨大な時間と労力をかけて取り組まれた都市リサーチ作業に最も良く表れている。こうしたリサーチ作業は、59年に丹下の博士論文「都市の地域構造と建築形態」としてまとめられ、61年の「東京計画1960」においてその一部が発表された。丹下研のリサーチ作業の特徴は、農村人口における向都離村現象の一般的特性を、統計的処理を用いて定式化しモデル化する、という定量＝数理的なアプローチによって都市解析を行う点であったが、Fig.1のシミュレーションでそれが応用されている。このマクロ型のシミュレーションは、コンピュータの計算処理を通して定量化した人口などの統計データを、図形によって視覚化するという手法がとられた。コンピュータ・プログラムに対する具体的な説明はなされなかったが、こうしたマクロ型のシミュレーションは67年に発表された「日本列島の地域構造」、さらに後の「21世紀の日本」のシステムダイナミクスを用いたシミュレーションへつながって行った<sup>5</sup>。

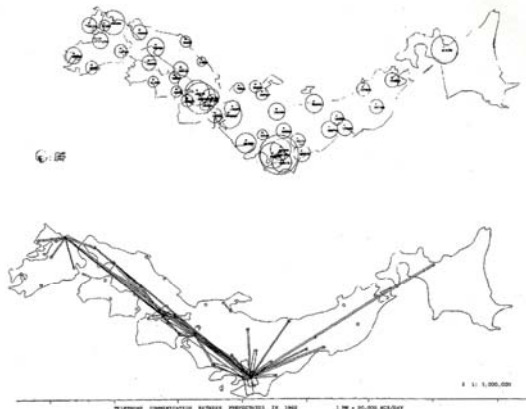


Fig.1\_丹下研によるマクロ型のシミュレーション

50年代までの活動のうち、ボトムアップ的な視点から行われたものは、身体的スケールというミクロな単位を基に、都市までも拡大可能な寸法体系として編み出された丹下モジュールである。丹下モジュールはコルビュジェのモジュールに倣って開発され、広島平和記念公園以来使用されたが、空間に秩序体系を与えるツールとして、建築作品だけでなく都市計画においても用いられ、丹下研のデザインにおける共通言語として重要な役割を担っていた。身体というミクロなスケールから都市というマクロなスケールを捉えようとするボトムアップ的な視点は、Fig.2に示すような視覚構造把握のためのミクロ型のシミュレーションに引き継がれていった。ある視点位置から見渡すことができる眺望範囲を、コンピュータ処理を通して地図化するという試みは、66年の「磐梯・猪苗代観光開発計画」から本格的に取り組み、翌年から始まった「京都市都市軸計画」においても行われ、70年の大阪万博の会場の視覚構造のシミュレーションへと発展していった。シミュレーションの基本的な処理プロセスは、対象敷地をグリッド分割して各々の交点に標高データを入力し、ある交点からその他

の交点が見えるかどうかの演算をコンピュータが行うというもので、眺望範囲図はその演算の結果をプロットすることで作成された。丹下チームは知覚のレベルにとどまらず、眺望需要の高い重要建物をプロットし、その被眺望範囲の演算を行うことで空間認識のレベルまでを扱っており、このことからこの時期の都市に対する徹論的な関心とリンクしていると言える。

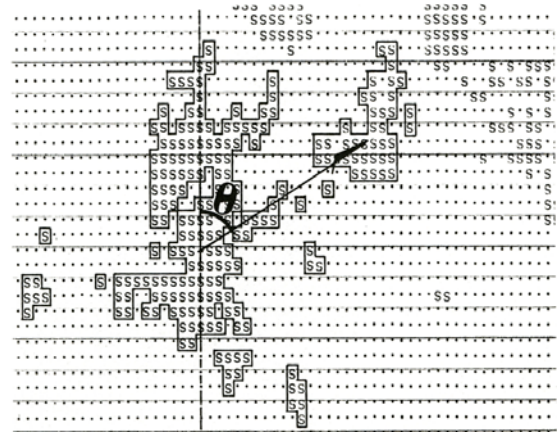


Fig.2\_丹下研によるミクロ型のシミュレーション

マクロ型とミクロ型のシミュレーションの双方にまたがるものとして、旧東京都庁舎の流動調査から始まり、Fig.3の大阪万博における群衆流のシミュレーションへと発展していった、人やモノの流動を扱ったシミュレーションがあげられる。こうしたシミュレーションにはエレメントとエレメントの間の結合状態を記述するだけで動く、アサイメントプログラムが用いられたとされる<sup>6</sup>。こうした考え方は、道路計画のために土木分野において始まったものであったが、丹下研の試みの意義は、道路計画や地域レベルにおける交通や量の問題を土木的な合理性やトップダウン的な視点からのみとらえるのではなく、離散事象モデルや待ち行列モデルの確率的な部分を応用しボトムアップ的な視点からモデル化を考えた点にあった。全体の動きだけでなく、個々の人間の知覚や認識を加味した街区および建築スケールの人の流れに着目し、建物内部での内々交通までをも扱おうとしていたことは特筆すべき特徴であり、そこに丹下研の特有の視点が表れているといえる。

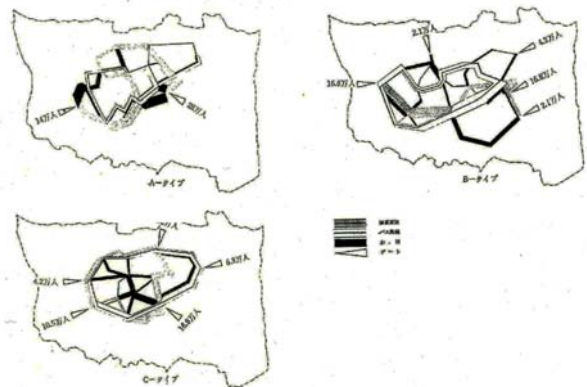


Fig.3\_丹下研による流動のシミュレーション

#### 4. ウルゴリズム-ウルボット・リボット・グラフィット

前節の丹下研のコンピュータ利用は、専用言語「URTRAN」の開発のために実験的に行われたものである。こうした試みの概念はUrbanismとAlgorithmからなる造語、「ウルゴリズム (Urgorism)」と名付けられた。「URTRAN」がM.I.T. の「ICES」にならって開発されたことは既述したが、幾何学計算のための「COGO」、構造計算の「STRUDL」、橋梁設計用の「BRIDGE」、交通量計算の「TRABSET」という数種類のサブシステムによって全体が構築されることを参考とした丹下研は、愛称「ウルボット」、「リボット」、「グラフィット」の三つのモデルから構成されるコンピュータ・システムの開発を目指した。「リボット」は分布検定・予測・相関・ポテンシャル・支配関係等の演算を行うとされ、「グラフィット」は図面や写真などの解析を通じて空間の利用状況を図示し、透視図などを作成するものとされた。この二つが連結して図表や図面などの報告書を作成し、その報告書のデータから計画案を出力するのが「ウルボット」であるとされた<sup>7)</sup>。つまり、先のマクロ型＝統計データの分析に関するシミュレーションは「リボット」に、ミクロ型＝空間構造の分析を行うシミュレーションは「グラフィット」にそれぞれ対応している。着目すべきはその開発理念に「フィード・バック回路を有していること」という条件が含まれ、ここで処理が三つのモデル間を往復して行われるとされた点で、50年代から引き継がれるトップダウン的な視点とボトムアップ的な視点の統合が試みられたことである。「蓄積された量に関する部分」、「流れとしてとらえる部分」、「既存の都市体系を扱う部分」の3種類にカテゴライズされた都市の変数は、それぞれのモデルの4段階の処理構造を往復しながら処理され、結果が出力されるとされ、各プログラムによって行われる各段階の処理の特徴は、次のように述べられた。第一段階は「既存データによる解析の段階で計画対象の位置設定、領域設定、診断などを行う」もので、第二段階は「計画の条件となる種々のデータを既存データから作成する段階で推計を中心とする」ものであるとされた。第三段階は「計画案を作成する段階で計画案、建設プログラムなどを作成する」もので、第四段階は「評価の段階でいわゆるシミュレーションなどが中心に行われる」ものであるとされた。そのうえで全体の特徴として「各段階間はすべてフィード・バック・ループで連結されているが、特に第三段階と第四段階との間のフィード・バックは多い」と述べられた<sup>8)</sup>。丹下研は「URTRAN」の開発を通して、「ウルボット」、「リボット」、「グラフィット」の三つのモデルを用いて、交通工学に基づいて開発された「ICES」よりも、より本質的なデザインを可能とする統合的なシステムの開発を目指していた。丹下研のコンピュータ利用の概念「ウルゴリズム」において、フィード・バック回路と同様に重要視されたのが、「ウルス」と

愛称がつけられた人間-機械系である。この「ウルス」を明確に体系化することで、両者間のクイック・レスポンスを獲得することが目指された。「URTRAN」の各段階をフィード・バック回路によって連結し、コンピュータ処理によって確率論的に計画案を自動生成するという考え方の基底を成したのがこの「ウルス」であり、コンピュータを操作する人間の意志がコンピュータ処理の過程に介入することがコンピュータ利用の前提であった。つまり、丹下研のコンピュータ利用および言語開発は、単に時間や労力を抑えるために行われたのではなく、コンピュータを導入することで、デザイナーの思考やデザインのプロセスを明確化し、計画自体の論理性を高めることが目的であったといえる。結局、丹下研のコンピュータ利用は十分に発展しないまま70年代以降行われなくなったが、その概念や目的は今日においてもなお有効であり、今日のコンピューショナルなデザイン手法を発展させようとする試みであったといえ、今日において応用するだけの価値を有しているといえる。

#### 5. ウルゴリズムの今日的応用方法の検討

ここでは、今日のコンピュータ利用の発展に寄与すべく、「ウルゴリズム」の今日的な応用方法の検討を行っていく。当時よりも遥かに情報技術が進化した現在では、OSも標準化され互換性も増したため、専用言語の開発の必要がなくなり、より簡易にシステムを開発を行うことが可能となった。したがって、丹下研のコンピュータ利用の発展を阻害した技術的な壁は低くなってきているといえる。このような簡易な開発環境の登場は、それまで専門的な教育を受けた一部の人間のみしか行うことができなかったコンピュータ・プログラミングを、多くの人間が扱える一般的な手段へと発展させた。ここでは建築分野におけるその代表例である、ProcessingとRhino+Grasshopperを用いてその今日的な応用を試みた<sup>9)</sup>。

ウルゴリズムの今日的応用としてその方法を検討した点は以下の3点である。

- ① コンピュータによる条件の分析と計画案の評価
- ② デザイナーによる計画案の入力と調整
- ③ フィード・バック回路の構築

Processingを用いてエージェント・ベースのシミュレーション・プログラムを構築し、①の再現を行い、Rhinoの作図機能とGrasshopperを用いて、②の再現を行うプログラムを構築した。UDP (User Datagram Protocol) を用いてポート接続し、OSC (Open Sound Control) を用いてデータのやり取りを可能とすることで、①と②のプログラムを連動させ、③の再現を行った。今回の検討では、正方形のエリアに道路を計画するという仮定のもと、それぞれの条件の設定を行った。Processing側で構築した分析と評価のためのシミュレーションは、道路を「好むタイプ」

と「好まないタイプ」の2種類のエージェントをエリア内に用意し、それぞれが同じ種類のタイプと集まって住むことを好むように設定した。Grasshopper側ではRhincerosの作図機能によって入力されるパスの軌跡を解析し、座標データへと変換するプログラムを構築した。その手順はFig.4のフロー図でも示すように、まず任意の時間が経ったシミュレート結果をビットマップグラフィックスとして書き出す。それをGrasshopper側が読み取り、Rhinceros上に表示させ、ベクターグラフィックスを用いて道路となるパスをデザイナーが入力し計画案が作成される。入力された道路の軌跡はGrasshopperによって処理され、そのデータがOSCメッセージによってProcessing側へ送信される。Processingで受信したデータの処理を行い、設定したエリア内に道路の軌跡が書き込まれ、道路が計画された状態のシミュレートが実行される。その結果を計画にフィード・バックするために、再度ビットマップグラフィックスでその結果を書き出し、先と同様の手順で計画の修正を行う。計画の修正・変更は、計画案の評価がデザイナーの意図に適合するまで繰り返される。



Fig.4 検討を行ったシステムのフロー図

以上のようなことから、今回の検討において①と②の各プログラムのデータ交換を行えるようにすることで、デザイナーによる計画とその評価をシームレスに接続することができるといえる。また、データ交換をリアルタイムかつ複数回可能にすることで、インタラクティブな操作性を実現し、デザインのツールとして現実に使用可能であり、今日においても有効な形で③の再現に成功したといえる。しかしながら、今回の①のシミュレーションのモデル化は十分ではなく、その評価の信頼度、有効性は極めて低い。「デザインの評価」項目として様々なパラメータが考え得るが、構造工学や環境工学からのアプローチのみでなく、丹下研が目指したような視覚構造や群衆の流動など、人が

どのようにその空間を認識し振る舞うかということのを定量化しうるようなシミュレーションを構築するために、社会システム科学を専門とする研究者などとのコラボレーションの必要性も考慮し、今後取り組んでいく必要がある。

## 6. まとめと今後の展望

丹下研のコンピュータ利用の試みは、都市計画分野における日本での先駆的な試みであると言え、「ウルゴリズム」と呼ばれたその概念は、今日においてもなお有効な概念を含むものであることが分かった。中でも「ウルス」と呼ばれた人間—機械系とフィード・バック回路の構築は特に重要な概念であり、コンピュータを用いた有効なデザインの手法となりうる可能性を有し、今日的な応用方法の確立が求められるものであることが分かった。今回の検討では、全体のシステムフローの再現に留まり、各プログラムのモデル化は十分に行えておらず、その有効性は低い。そのため、「デザインの評価」のモデル化という問題が今後の課題として残されているが、この問題に取り組んでいくことで、これまでの建築デザインでは十分に扱いきることができなかった要素の定量化が可能になり、建築デザイン、コンピュータ利用、共に発展していくことが期待できる。

### 【参考文献】

- 1) 構造計画研究所  
HP (<http://www.kke.co.jp/corporate/historyoutline.html>)
- 2) 建築雑誌, 建築におけるコンピュータグラフィックスの可能性追求に関する先導的業績, 1991.8
- 3) 渡辺定夫: 建築文化, アーバン・デザインの追及, 一般化へのスタディ, pp.72-73, 1967.4
- 4) 1966年に都市計画学会に「道路の景観設計(ヴィスタによるシーケンスの構成)」、1967年には都市計画学会に「URTRAN」の開発」および「万国博覧会場内の観客流動と視覚構造」を発表していることに加え、67年には建築文化において「アーバン・デザインの追及」という特集が生まれ、コンピュータ利用の試みが発表された。
- 5) ケヴィン・リンチ, 訳) 丹下健三, 富田玲子: 都市のイメージ 新装版, 岩波書店, pp.243-273, 2007年
- 6) 山田学: 建築文化, アーバン・デザインの追及, 関係・分布・流れ, pp.78-81, 1967.4
- 7) 渡辺定夫: 建築文化, アーバン・デザインの追及, 一般化へのスタディ, p.73, 1967.4
- 8) 渡辺定夫, 山田学, 荒田厚, 月尾嘉男: 都市計画学会学術研究発表会論文集2号, 「URTRAN」の開発, pp.51-57, 1967
- 9) ProcessingはCasey ReasとBenjamin Fryによって開発されたプログラミング言語、統合開発環境。RhincerosはRobert McNeel & Associatesが開発した3Dモデリングソフトであり、Grasshopperはそのプラグインソフト。

### 【出展】

- Fig.1, Fig.2: 建築文化, アーバン・デザインの追及  
 Fig.3: 都市計画学会, 「万国博覧会場内の観客流動と視覚構造」  
 Fig.4: 筆者作成

\*1 芝浦工業大学大学院 博士研究員 博士 (工学)  
 \*2 芝浦工業大学工学部建築工学科 教授