

マルチレイヤ型シミュレーション・システムの開発と応用

○水谷 晃啓*¹ 菊池 誠*²

キーワード：CAD・GIS 都市設計 建築設計 デザイン・システム

1.はじめに

コンピュータの登場以降、様々な分野においてコンピュータを用いたシミュレーションが行われるようになった。物理学や化学、生物学では様々な自然科学的システムのモデル化においてそれが用いられ、経済学や社会科学では人間社会に関わるシステムのモデル化において用いられている。建築や都市デザイン分野では、1960年頃から構造解析にコンピュータ・シミュレーションが導入されるようになり、今日では日照や通風といった環境解析、災害時の避難行動においても利用され、研究・開発が盛んに行われるようになった。コンピュータ技術および通信技術の発展と共に、それを応用したツールの開発が行われてきているが、本研究では建築や都市デザインの新たなツールとなり得るコンピュータ・シミュレーション・システムの開発を目指す。まず、これまでに行われた建築・都市をデザインするためのコンピュータ利用の整理を行い、マルチレイヤ型シミュレーションの開発概念とその意義について論じる。次いで、デザインツールとしての特徴の考察および本研究で開発したシステムの特徴とその位置づけについて考察を行う。最後に、現在の開発の方向性について論じ、今後の研究の方向と建築・都市デザインにおけるコンピュータ利用の在り方についての展望を述べる。

2.建築・都市デザインにおけるコンピュータ利用の現状

建築分野におけるコンピュータの導入は1960年頃から始まるが、他の分野と同様に計算機として導入されたため、その始まりは構造計算における利用であった。これを先導したのは服部正で、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実用した。構造計算に次いで日影計算などの設計条件に関するシミュレーションが普及し、建築の設計段階への導入が試みられた。これの第一人者が清水建設研究所の太田利彦と佐藤庄一であり、太田と佐藤は1965年頃から1970年頃にかけて建築学会などに設計段階におけるコンピュータ利用に関する研究を立て続けに発表している。この頃から同じように建築設計においてコンピュータ利用の可能性を追求していたのが笹田剛史で、京都大学の大学院生であったころから学会等に論文を発表している。都市デザイン分野で最初にこうした試みを取り入れたのは丹下研究室で、1967年の「URTRAN」の開発において、MITで

開発された土木工学総合システム「ICES (Integrated Civil Engineering System)」を参考に、都市デザイン専用のコンピュータ言語「URTRAN」の開発を行ったと発表している。その後、コンピュータ技術の発達に伴い、今日のCADやBIMのように製図や生産のためのツール、あるいは統計処理やデータ解析など、リサーチやプランニングのためのツールとしてコンピュータ利用が発達してきた。しかしながら、デザインの着想や創造へとつながるような空間的喚起力を持ったツールの開発、およびその利用にはまだ至っていないといえる現状にある。

3.シミュレーション・システム開発の概念

階層分けされる複数の要素および変数が複層した状態をシミュレートし、各々の相互関係を視覚化することを目的とすることから、本研究で開発を行ったシミュレーション・システムの手法を、マルチレイヤ型シミュレーションと定義した。前章で述べたようにこの手法を建築や都市デザインのツールとして活用することを目指しており、階層分けされる要素は、建築や都市あるいは社会を構成する「ヒト」や「モノ」、「設備」や「交通」といったインフラなどのエレメントである。

建築・都市・社会の状況を擬似空間に完全な形で再現しようとした場合、一般に全てのエレメントを変数としてモデル化する必要があるが、デザインツールとして応用する場合においては、その全ての変数を考察対象として扱うことは、必ずしも有効な手段ではない。完全な形で再現され、全要素の関係が複雑で「見えない」状態よりも、対象とする要素のみが単純な形で把握できる方が、デザインツールとしては好ましいといえる。都市を記号化し、平面として縮小することで得られる地図という精製された媒体を通して、はじめて都市全体の形態が把握できるように、各要素を階層によって管理し、各々の関係性を単純化してはじめて「見える」都市の事象があると考えられる。

階層としてシミュレートしたい要素=変数を、一つのまとまりとして扱うという考え方はオブジェクト指向とも通底しているが、この考え方を取り入れることにより、階層表示のオン/オフによる複層状態の視覚的操作が可能になり、シミュレートしたい要素の選択、階層の足し引きによって要素数やその関係性の取捨選択が行えるようになる。また、オブジェクト指向プログラミングにおけるク

ラスと同様にして、シミュレートしたい要素を階層として追加することが可能となるため、システム全体の改編をより容易に行うことが可能となる。このようなことから、本研究においてマルチレイヤ型シミュレーションと定義する手法は、建築・都市・社会を「見る」ためのツール開発に適した考え方であり、シミュレーション・システムの体系をオープンエンドに保つことができる発展的な考え方であると言える。

4.アレグザンダーのスタディと CAD 及び GIS

本研究のマルチレイヤ型シミュレーションは、C.アレグザンダーと M.L.マンハイムの「The Use of Diagrams in Highway Route Location」の応用として行っている。アレグザンダーらは、高速道路建設における 26 個の決定要因を各々集合論的にパターン化し、それぞれレイヤ化された各決定要因を重ね合わせることで、図式化される複層状態から、最も優れた条件を発見するという、マルチレイヤ型シミュレーションの原型となる手法をここで提示した。このスタディにコンピュータが用いられることはなかったが、ここで示される考え方や手法は、現在のコンピュータ利用の基礎概念として応用されており、その手法は十分にコンピュータ・シミュレーション的な性質を有しているものであった。

このようなアレグザンダーらのスタディを原型とするマルチレイヤ型の手法は、今日の CAD や GIS とも関連していると考えられる。現在、製図ツールとして普及している CAD の多くが、レイヤによって各エレメントを分類し、図面情報としてそれを管理するという機能が取り入れられており、図面作成における実務上の有効性のみならず、設計者の思考整理のツールとしても活用されている。空間・時間の面から分析・編集するためのツールとして様々な場面で活用されている GIS（地理情報システム）では、人工衛星、現地踏査などから得られた各データをレイヤ化し、目的に応じて地図として重ね合わせる情報を管理できる機能が設けられている。

このように、CAD や GIS にもレイヤによって情報を分類・管理することで、複層状態を操作し、目的にあった図式を得るといったマルチレイヤ型の考え方が取り入れられていることからすれば、先のアレグザンダーらの手法の発展形に CAD、GIS を位置づけることに無理はないといえ、その基本的な概念は本研究のシミュレーションと通底しているといえる。即ち、本研究において開発を行ったマルチレイヤ型シミュレーションは、アレグザンダーらのスタディを原型としているが、その今日的な応用に関する研究は、現在、より一般的なデザインツールとして用いられる CAD や GIS とも関連するものであるといえる。そのため、本研究の成果は、今日のコンピュータを用いたデザイン手法全般の発展の一助となると考えられる。

5.システム開発に用いたツールと方法

本研究では、システム開発にかかる労力を最小に抑え、デザインツールの開発という目的に集中するために、Rhinoceros と Grasshopper という二つの既存ソフトウェアを用いてデザインを行うためのプログラム＝デザイナーの開発を行い、Java ベースの統合開発環境である Processing を利用してシミュレーションを行うためのプログラム＝シミュレータの開発を行っている。

3D モデリングソフトの Rhinoceros と、そのプラグイン・ソフトの Grasshopper は、近年のコンピュータショナル・デザインにおいて最も良く用いられるツールとなっているが、Grasshopper のコンポーネントと呼ばれるアイコン化されたオブジェクトを順に接続していくことで Rhinoceros のスクリプト操作できるという特徴を持っている。また Rhinoceros、Grasshopper 双方とも、Python、VB といったより汎用性のあるスクリプト言語を用いた操作、開発にも対応していることから、様々な形で拡張機能がプラグインとして開発され、オープンソースとしてそれが日々配布される状況にある。設計者はこうしたオープンソースの使用、あるいはそのプログラムの簡易なカスタマイズを通して、自らの目的に応じたツールとして容易に活用することができる。シミュレータ開発のために用いた Processing は、MIT メディアラボにおいて開発がはじまった言語であり、Java を単純化し、グラフィック機能に特化した言語であるといえる。視覚的なフィードバックが即座に得られるという特性を持っており、電子アートやビジュアルデザインの分野において、初心者向けのプログラミング言語として一般化しつつある。動的なグラフィックの製作に適していることから、Web サイトなどのモーショングラフィックスの作製に用いられることが多いが、本研究では Processing が持つこの特性を、エージェント・ベースのシミュレーションにおける各エージェントの動きの視覚化において活用した。

上記の三つのソフトウェアの特性を生かし、デザイナー、シミュレータを開発し、この二つをリアルタイムに相互に連動させることで、これまで実現の難しかった、コンピュータ・シミュレーションとデザインの同期が可能になった。具体的には、Grasshopper を用いて、要素の形態や数などを変数化し、条件値が可変な 3D モデルの作成＝パラメトリック・モデリングを行い、Processing を用いて、エージェント・ベースのコンピュータ・シミュレーションの構築を行っている。また、デザインとシミュレーションを接続し、ファイルの入出力によるデータ交換をリアルタイムに行うことを可能にすることで、デザインとシミュレーションの同期を行った。フィードバック回路を通じて、相互連動のサイクルを構築することで、デザイン・スタディ＝設計者の意思決定によるモデルの最適化を断続的に繰り返すことを可能にすることができる。

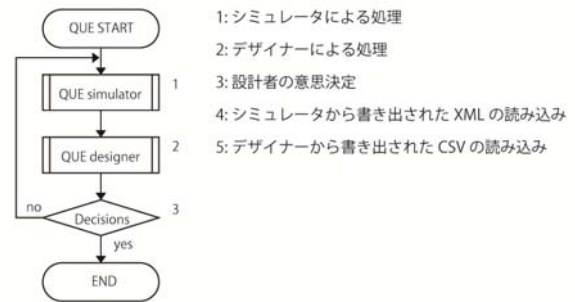
6. システム構成と現状の応用例およびその特徴

ここでは、マルチレイヤ型シミュレーションの応用として開発を行った、アミューズメント施設と宿泊施設の立地を扱うモデル、Quantitative Urbanism Environment(以下 QUE)を具体例として、そこで用いた情報技術とそのシステム構成の特徴について述べる。QUE ではアミューズメント施設と宿泊施設の立地、交通やヒトの行動といったシミュレートする要素=エージェントをそれぞれモデル化し、前章で記述したように Processing を用いてシミュレータを、Grasshopper を用いてデザイナーをコーディングしている。

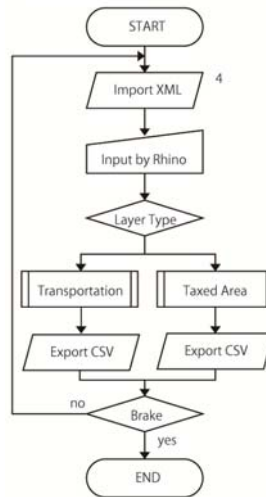
図 1 で示すように、シミュレータによってシミュレートされる各施設の立地およびヒトの流動状態を、Processing のメソッドを用いて XML ファイルで書き出し、その XML ファイルを Grasshopper のコンポーネントを用いてデザイナーに読み込む。このようにして、オブジェクトの数や配置位置など、シミュレータによって求められた結果を、Rhinoceros のモデル空間上に描画できるようにシステム構築を行った。オブジェクトの数や配置位置といった空間情報は Rhinoceros のジオメトリへと還元され、描画機能を用いて Rhinoceros 上に用意したレイヤ上に図形として表示される。設計者は、その状態を観察し、Rhinoceros の作図機能を用いて道路や課税エリアといった計画条件を用意した各レイヤに書き込むことができる。計画条件として各レイヤに書き込まれたジオメトリは Grasshopper のコンポーネントによってその制御点が解析され、その情報は、CSV ファイルを通してシミュレータ側へ伝達される。シミュレータでは Processing のクラスによって各エージェントがオブジェクト化されており、デザイナーでは Grasshopper および Rhinoceros のレイヤ管理機能によって各要素がレイヤ構造によって整理されている。こうしたオブジェクト指向プログラミングの特徴を生かしてシステム開発を行い、全体のシステム構成やコンストラクタの変更なしに、各要素数や判定アルゴリズムの書き換えを行えるようにした。

QUE の開発において、各要素および各要素間で各々定義された関係に従って行動するエージェント、それに関連する施設や課税エリアといったオブジェクトの配置、それらが複層した状態の視覚化に成功したが、QUE の特徴は、マウスイベントによって偶発的に書きこまれるオブジェクトに対し、エージェントがインタラクティブに応答する点にあるといえ、初期条件がセットされた上で行われる通常のシミュレーションと異なり、要素数や複層状態といった通常初期段階にセットされる条件を、エージェントの振る舞いに応じて途中であっても変化させることができるという点にある。設計者とコンピュータのコミュニケーションの上に成り立つ独創的なシステムを開発し、新たな建築・都市空間のデザインメソッドの確立を目指している。

Main Flow



QUE designer



QUE simulator

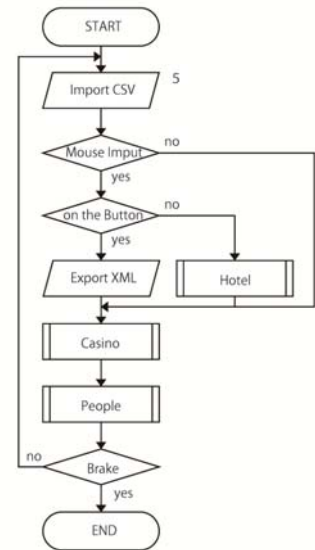


図 1 システムフロー図

7. デザインツールとしての意義とその評価指標

コンピュータ・シミュレーションによってシミュレートされる全てのモデルは、単純化された現実の模倣であり本質的には虚偽のものであるが、モデルで表されるある特定の実体・事象・過程に対する洞察力がシミュレーションによる可視化を通して高まるのが、今日までの試みを通して実証されてきた。本研究ではこうした通常のシミュレータ開発において最も重要な問題として扱われるモデル化=空間に関する各要素を如何に定量化するかという問題よりも、マルチレイヤ型シミュレーションがデザインツールとして応用可能であることを実証することを優先し、まずは全体フレームワークを構築することを目指している。そのため、モデル化それ自体の再現性やそこから得られる予測よりも、全体のフレームワークが設計者の思考拡張を促す効果を有しているかどうかという点から、現時点のシステムの評価を行っている。既述したように、階層の足し引きが可能であり、各階層のモデルのアルゴリズムの部分的な書き換えが可能なので、今後、他分野における研究開発も含め、有効なモデルが発表された場合は、適宜、差し替え、部分的な修正を通して、シミュレータのアップデートを行っていくという方法を採用している。

通常、科学者にとってのモデル化は思考力を拡張するための方法であり、コンピュータ・シミュレーションはそれを計算あるいは視覚的に表現するための手段となっているが、空間に関わる設計者の思考力を拡張、投影するための方法の一つに、ノーテーションがある。K.リンチや R.ハルプリン、B.チュミなどによって提出された、空間的喚起力をもったドローイングには、空間の諸要素の定量化・記号化を通して、分析・発見された結果が記録され、同時に創造したい空間を獲得するための思考プロセスが記述されている。記述された図式は、単なる抽象図式ではなく空間把握のための媒体であり、こうした図式化の作業は思考力拡張のための思考実験であったといえる。このことからすると、設計者にとってのノーテーション化は科学者にとってのモデル化と同義であり、マルチレイヤ型シミュレーションが有効なデザインツールとして機能しているかどうかの判断は、コンピュータ・シミュレーションを通してノーテーション化された図式が、設計者の洞察力あるいは思考を拡張し得る空間的喚起力をもつかどうかという指標でもって行うことが重要であるといえる。

8.システム開発に対する評価と今後の展望

前章で述べたような理由から、ノーテーション化された図式が、設計者にとって空間創造の手がかりとなるか否かという観点から、今後のシステム開発の達成度を計って行きたい。現状、開発を行ったシステムに対する客観的な評価はまだ行っていないが、筆者の私見では、今後開発を続けていくことで、デザインツールとして一定の有効性を有して行くのではないかと考える。今後、客観的な評価を行い、その都度改良を行っていきたい。

シミュレート条件をリアルタイムに変更できるというマルチレイヤ型シミュレーションの特徴は、メディア・アートの分野で用いられる技術を応用したものだが、この方法を用いて設計者の意思をシミュレーションに介在させていくということには注意していきたいと考えている。設計者とコンピュータ・シミュレーションとのコミュニケーションをより円滑にすることで、設計者がそこからデザインへと還元可能な情報を発見できるようなツールとすることを目指し、それを今後の開発理念としていきたい。

アミューズメント施設・宿泊施設といった「モノ」や交通やヒトの行動といった「コト」をいくつか組み込んだシステムをより発展させ、より汎用性の高いデザインツールとしていく際には、扱う要素を増やしていく必要があるが、既述したように、シミュレート要素が増えていくと各エージェントの振る舞いや関係性がかえって「見えない」状態となるので、シミュレート要素の組み合わせ＝レイヤの複層状態の選択を行うためのユーザインタフェースをつくり、目的に応じた関係性を視覚化するためのノーテーション・システムの開発を行っていきたいと考えている。

9.まとめ

Rhinoceros・Grasshopper・Processing を効果的に組み合わせ、マルチレイヤ型シミュレーションの開発を行い、これまでにない空間的喚起力を持ったデザインツールの開発に成功した。開発を行ったシステムは、各階層を一つのオブジェクトとして扱い構築しているため、階層の足し引き、改編によって、開発の系をオープンエンドに保つことができるため、今後、デザインツールとして常にディベロップさせていくことができる仕様となっている。

シミュレート結果に応じて行われる、設計者の意思決定を基にする最適化の基準と、シミュレート要素のインタラクティブな操作を導入することで、人とコンピュータとのコミュニケーションを通じたデザイン・スタディが行えることが明らかとなった。マルチレイヤ型シミュレーションでは、建築や都市空間に関する様々なエレメントがその対象となるが、扱う要素をレイヤによって管理し、整理することで組み合わせの取捨選択を行い、複雑な状態の都市を単純な形で視覚化＝ノーテーション化することで、設計者にとって好ましい判断材料を与え得ることが分かった。

シミュレーションに設計者の意思を介在させ、かつシミュレート要素の選択余地を与えていくことで、本シミュレーション・システムは、設計者の目的に応じたノーテーション・システムとしてより発展していくと考えられる。本研究においてマルチレイヤ型と定義した考え方は、アレグザンダーらのスタディからはじまり、今日の CAD 及び GIS としても応用されてきたが、デザインツールとしてこれを発展させていくことで、コンピュータを用いたデザイン手法全般の発展へと寄与し、本研究が新たな建築や都市のデザイン手法の確立の一助となることが望まれる。

【参考文献】

- 1) 服部正：コンピュータ応用 15 年，建築雑誌，pp. 1229~1232, 1973. 11
- 2) 長倉威彦：建築家の文法，建築雑誌，pp. 30~31, 1992. 05
- 3) 月尾嘉男他：建築雑誌，コンピュータ・シミュレーションの黎明期，pp. 12-13, 2011. 8
- 4) 月尾嘉男：新建築，アーバンデザインノート 都市の解剖 9 プロセッシング，pp. 265-269, 1969. 5
- 5) 磯崎新：建築の解体，鹿島出版会，p. 173, 1997 年
- 6) 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
- 7) 日本建築学会・第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，2012. 12
- 8) Christopher Alexander, Marvin L. Manheim: THE USE OF DIAGRAMS IN HIGHWAY ROUTE LOCATION: AN EXPERIMENT, M. I. T Civil Engineering Systems Laboratory Research report, 1962. 3
- 9) Ben Fry, Visualizing Data: Exploring and Explaining Data with the Processing Environment, O'Reilly Media, 2007. 12

*1 芝浦工業大学 博士研究員 工博

*2 芝浦工業大学環境システム学科 教授