

07 建築における コンピューショナルデザイン

竹中 司（豊橋技術科学大学／アプズスタジオ）

コンピューショナルデザインとは

建築におけるコンピューショナルデザインを語るためには、コンピューショナルデザインとは何かをはっきり定義しておく必要があるだろう。筆者なりに定義するならば、コンピューショナルデザインとは「手の仕事を超越したコンピュータならではのデザイン」のことを示す。

コンピュータが建築設計のプロセスに与えた影響は、大きく2つに分けることができる。まず最初の影響は「コンピュータライゼーション」、言わば電子化・機械化によるものだった。1974年にパーソナルコンピュータが登場して以来、コンピュータを用いた製図作業が急速な発展を遂げ、製図版とT定規を用いて手書きの図面を描くことが主流だった建築界に大きな変革を起こした。図面を描く手の作業がコンピュータの作業に置き換えられていったのである。つまり、コンピュータがもたらした最初の利点は、正確さと複製がもたらす効率化だったと言えるだろう。しかしながら、すべての人たちがこうしたコンピュータライゼーションの流れを受け入れたわけではなかった。一部の建築家たちはコンピュータが描き出す均一な図面が味気ないと感じ、手書きの作業を好んで用いた。それもそのはず、コンピュータライゼーションは単なる電子化の作業にしか過ぎなかったために、建築家にとっては創造性を刺激するプロセスとして、多くの魅力を感じることができなかったのだ。

では、コンピュータが建築設計に与えた2つ目の影響とはどのようなものだろうか。それが、今私たちがちょうど直面しようとしているコンピューター

ショナルデザイン＝「手の仕事を超越したコンピュータならではのデザイン」が引き起こすデザインの革命だと言えるだろう。最初の影響が「コンピュータライゼーション」による効率化を目指したものであったとするならば、次の変革は「コンピューショナル」によってコンピュータにしかできないようなデザインの新しい可能性を模索しようとする流れである。建築を思考する過程において、いよいよコンピュータが本来の力を発揮し始めようとしている。

道具の発達とデザインの革命

人間の創造性と道具の発達は本来、密接な関係にある。宮大工が「削る」という行為だけで127種類以上のカンナを使い分けるように、あるいはアーティストが描く手段をひたむきに模索するように、できあがるものへの想像力とそれを可能にするツールカスタマイゼーションへのこだわりは、互いに複雑かつ繊細に絡み合っている必要がある。先の章で述べた「コンピューショナル」が引き起こすデザインの革命もまた、こうしたツールカスタマイゼーションの向上が引き起こしたものだと言える。

近年、これまで手書きの置き換えであった2次元CAD (Computer Aided Design) が3次元CADへと進化し、100種類以上の機能が備わった設計ツールとして発展してきている。また、より多くのニーズに対応するため、ライブラリやSDK (Software Development Kit) などの開発環境が提供されている。これにより、開発コードを用いて比較的簡単にツールをカスタマイズできる環境が整ってきた。Autodesk Maya の MEL script, Rhinoceros

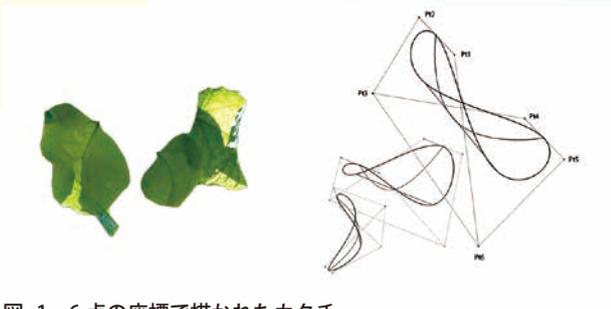


図-1 6点の座標で描かれたカタチ



図-2 プログラミングを用いて生成された形態モデル

の Rhino script などその代表例である。さらには、GC (Generative Components) や Grasshopper を始めとした VPL (Visual Programming Language) を用いて、誰でも容易にプログラムを操ることができる開発環境も登場している。その結果として、頭に思い浮かんだアイデアを表現するために、既存のツールパレットからツールを「探す」のではなく、思考に合わせてツールを「開発」といったデザイン手法が可能になったのである。想像性と道具の本来あるべき関係性が構築できる環境が整ってきたと言えるだろう。

こうした開発環境の充実を背景に、プログラミングを用いてカタチを生成する手法に再び関心が集まってきていることにも注目したい。

では、どのようにしてプログラミングを用いてカタチを生成するのか、簡単な具体例を挙げながら順を追って説明しよう。

たとえば、コンピュータ上で葉っぱをモチーフにカタチを描こうとする。従来の手法では、マウスを用いて「曲線」ツールを選択し、葉っぱの画像をトレースするといった基本的な操作だ。それでは、プログラミングに置き換えてみよう。



図-3 3D プリンタで出力された模型

まずは、6点の座標を定義し、その関係性をコード化する。点座標を変数として定義することで、カタチを相対的に扱うことが可能になる(図-1, 図-2)。葉っぱを構成する6個の点は宙に浮いたような状態で、それらの関係性だけでデザインされている。こうした緩やかなカタチの生成手法が、従来のカタチの扱い方と大きく違っているのは明らかである。マウスを用いて、クリックを繰り返し「完成形のカタチ」を導く従来の描き方に対し、相対的な関係性の特徴をコード化することで、変化を許容するカタチ、言わば「カタチのふるまい方」を表現することができるようになった。かつての建築形態の描き方とは大きく異なった、コンピュータならではの手法だと言えるだろう。

こうしたプログラミング技術が広げた可能性は、「デジタルファブリケーション」の技術と深く結びつくことで、より実現味を増してきている。デジタルファブリケーションとは、コンピュータと接続されたデジタル工作機械を用いてモノをつくることを示す。具体的な機器には、レーザカッター、3Dプリンタ、コンピュータ数値制御(CNC: Computer Numerical Control)による自動工作機械、ロボットなどが挙げられる。コンピュータから直接コードを受け取ることでできるこれらの機器は、コンピューショナルデザインと非常に相性が良い。これまでコンピュータの画面内にとどまっていたカタチを、フィジカルな形態として実際に再現することができる(図-3)。

こうしたコンピュータと工作機器の融和性は、コンピューテーションを用いて考え、描き、作るという、「ひとつつながり」の設計プロセスの構築を可能にした。



図-4 Guggenheim Museum Bilbao

コンピュータによる効率化を目指した時代がようやく終わりを告げ、コンピュータの能力を最大現に引き出したデザインの革命が起こりつつある。次章では、これらの技術が建築デザインにどのような影響を及ぼしているのか、その実践的事例を通して建築家たちの眼差しを探る。

コンピューショナルデザインの実例

■ 複雑化する建築形態

産業革命のころ、その時代の技術を駆使して建設された作品の1つが水晶宮（クリスタルパレス）である。鉄とガラスによって作られた空間は、それまでの建築にはない軽やかで開放感の高い空間を提案した。以降100年以上もの間、鉄とガラスの時代がモダニズム建築を支配することとなった。ではコンピューショナルの技術がもたらした代表作とは、どのような作品だろうか。

代表的な建築事例の1つとしてたびたび登場するのが、建築家 Frank O. Gehry（フランク・ゲーリー）の作品 Guggenheim Museum Bilbao（ビルバオ・グッゲンハイム美術館）である（図-4）。

Gehry は、魚が跳ねるその躍動的な動きをモチーフに多くの作品を手掛けてきた作家である。そしてその複雑な造形を実現するために、航空産業に用いていた高度な演算ソフト CATIA を建築設計用にカスタマイズし導入したことで一躍その名を知られることとなる。こうした独自の技術を集結し設立されたのが、Gehry Technologies（ゲーリー・テクノロジー社）である。Gehry Technologies は現在、

Gehry の作品を制作するだけにとどまらず、北京ナショナルスタジアム（通称：鳥の巣）や北京国家水泳センター（通称：水立方）を始めとした、複雑で有機的なフォルムの実現を可能にするべく、多くの建築家たちのプロジェクトを手掛けている。このような流れを受け、現在海外を中心にコンピューショナルデザインに特化したデザイン事務所や、こうした技術の開発を対象とした研究等が注目を集めている。そうした活動は、コンピューショナルの技術を駆使したツール開発のみならず、先の章で述べた「プログラミングを用いたカタチの生成手法」を応用してデザイン自身のさらなる可能性を模索している活動を見てとることができる。こうしたプログラミング技術を用いた形態生成手法がもたらすデザインの可能性は、この数年で国際先進建築学会を中心に盛んに発表されている。筆者らが日本で設立したコンピューショナルデザインのスタジオ（アンズスタジオ）が手掛けた事例を挙げながら、そのさらなる可能性を模索しようと思う。

■ パラメトリカルな設計手法

プログラミング技術を用いた形態生成手法が切り開くデザインの可能性とは、どのようなものだろうか。先の章で述べたように、コードを用いることにより形態とデザインの扱い方が大きく変わった。変数と変数の関係性を定義することによってカタチを相対的に扱う手法、このような形態生成手法をパラメトリカルな設計手法と呼んでいる。パラメトリカルに生成された形態は、植物に似た特徴を持つ。種の特徴を保ちながら、周りの環境に適応してカタチを変化させることができる。自然界の有機的形態を建築化した Gehry の例に対し、コーディングの技術は周囲の環境に潜む自然界のメカニズムをカタチに呼応させることを可能にした。次の節ではとりわけ、デザインが周囲環境と密接な関係性を構築している例に注目し、その実践的事例を紹介する。

■ 環境解析とデザインの最適化

「建築とその周囲環境」というテーマ自身は、決

して目新しいものではない。モダニズム建築の三大巨匠と位置づけられている Le Corbusier (ル・コルビュジエ) にとっても「人間の作り出したもの」と「自然の作り出したもの」の共通点への探求は生涯にわたる大きなテーマであった。自身の著書には、たびたび「自然」という言葉が用いられ、建築と自然が調和するためには「自然の法則をもう一度見直すことが重要だ」と述べている。

当時モダニズム建築に非常に大きな影響力を持っていた建築家 Walter Gropius (ヴァルター・グロピウス) もまた自身の最終講義にて、建築とその周囲の環境に対する継続的な関係性を構築する新しい手法こそが今後重要になるだろうと語っている。建築が特定の場所に建つがゆえに、建築デザインにおいて場所のコンテキストと建築自身のつながりを思考することは非常に重要なポイントである。

では、いかにして自然界のメカニズムを建築デザインに取り込むことができるのであろうか。近年の計算機性能の発達に伴い、環境解析、都市解析、構造解析、音響解析などさまざまな分野において解析技術が著しく向上した。かつては長い時間と労力を要していた解析作業が効率化され、また解析結果を可視化するソフトウェア環境も充実してきている。これまで目には見えなかった自然界の様子を環境解析によって垣間見ることができるようになった。しかしながら、従来の設計手法では環境解析とデザインを結びつけることは非常に困難であった。なぜならば、デザインは意匠であり、形態は設計者の感覚的な意図に強く支配されていたからである。その結果、デザインのプロセスと解析のプロセスは個々の作業として扱われ、解析データはデザインを成立させるための要素にはなり得なかったのである。

では、先の節で述べたパラメトリカルな設計手法を用いればどうだろうか。とりわけ「カタチのふるまい」を定義する形態生成プログラムと、解析データとの直接のやりとりが可能になればどうだろうか。

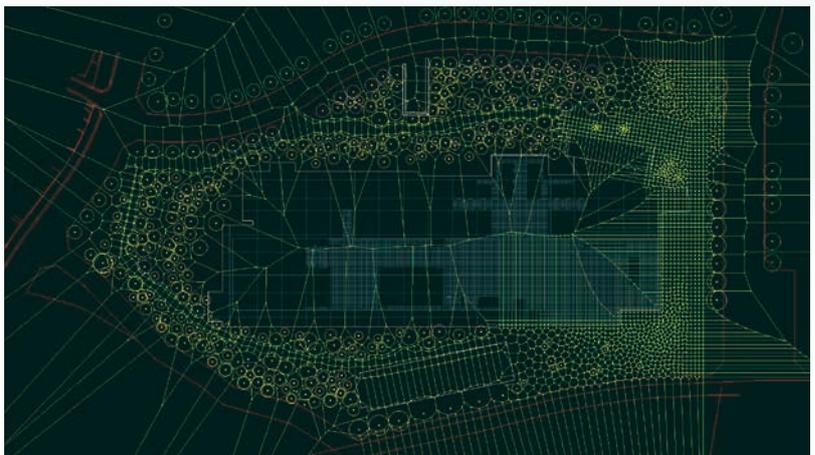


図-5 ソニーシティ大崎, コンピュータショナルデザインによる植栽図

これまでの感覚的な意匠としてのデザインではなく、解析データを引数に計算されたパラメトリカルな形態モデルとしてカタチを生成することが可能になるのではないだろうか。筆者らのスタジオでは、こうした仮説のもとコンピュータの技術を駆使した独自のデザイン手法を開発している。手の仕事を超越したコンピュータならではのデザイン手法を用いて、分野を越えた「工学としてのデザイン」を目指している。

では、この手法を用いて環境解析とデザインの最適化を実践的に試みた建築作品をいくつかご紹介しよう。

まず最初に、都市環境の中に「自然の森」をデザインするプロジェクト「ソニーシティ大崎のランドスケープ計画」^{☆1}である。自然界に見られる「自然さ」を単に模倣するのではなく、森がつくられる多様なプロセスを観察・コード化し、その過程でさまざまな都市・自然解析データを反映させる手法「種まきプログラム」によってデザインされた。具体的には、光・日照・風の流れ・地形などの自然環境情報、人の流れやコミュニティ、交通量・建物の寸法体系などの都市環境情報、法律などの社会環境情報、各樹木が好む環境・成長スピード・開花時期といった生物学的な情報を数値データ化し、森が育つ過程でデザイナーやクライアントの意図を埋め込んでゆく。導き出される植栽図は、いわば周囲環境があぶりだす木々の相互関係を記述したネットワーク図である (図-5)。

☆1 ソニーシティ大崎 ランドスケープ計画, 建築設計・ランドスケープ: 日建設計, 「種まきプログラム」: アンズスタジオ。

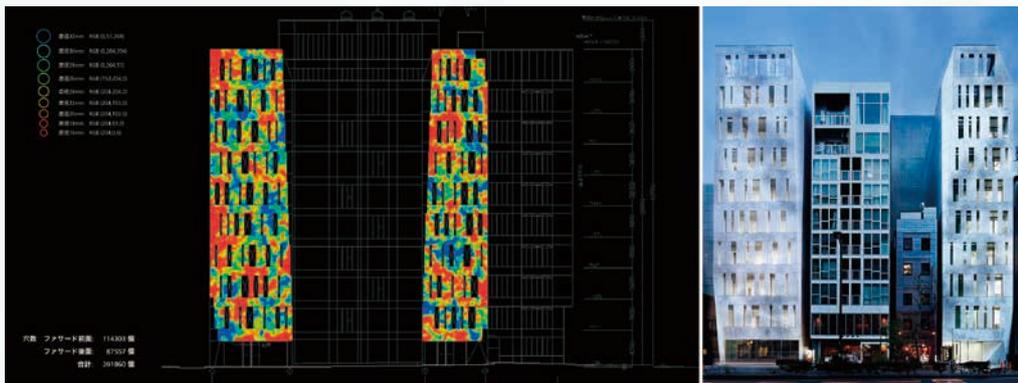


図-6
小学館神保町3-3ビル
20万個の穴で構成された
キネティックファサード

関係性のネットワークには、それぞれデザインのルールが割り当てられ、変化を許容するパラメトリカルな形態の中から最終的なカタチが生成された。

小学館神保町3-3ビル^{☆2}は、都市型のオフィス空間に気持ちの良い「木漏れ日空間」をデザインするプロジェクトである。ビルの特徴である自然換気システムによって生成される風と、周囲の光環境を解析し、これをデザインに反映させている。また、デジタルファブリケーション技術を用いて、20万個の穴の大きさを制御し、風で揺らぐキネティックなファサードを実現した(図-6)。こうした手法は、自然環境解析や都市解析とデザインとの融合を促しただけではなく、音響解析や構造解析とデザインの関係性をより密接なものへと進化させた。

嬉野市社会文化体育館のコンサートホールプロジェクト^{☆3}(2014年春竣工予定)は、音とデザインの融合を試みた作品である。「折り紙のルールを用いて、いかにして良い音の音響ホールを設計するか?」というコンセプトのもと、さまざまな折り形状を生成する「折り紙プログラム」と音響解析を行う「幾何音響シミュレーションプログラム」を連動させ音響ホール形状を模索した。最終的には、音響設計の専門家による「初期の反射音ができるだけ均質なものが好ましい」との経験値を形状決定のプロセスに取り込むため、形態生成・音響シミュレーションを同時に行うとともに音の均一さを計る「デザインのための最適化プログラム」を連動させ、デザ

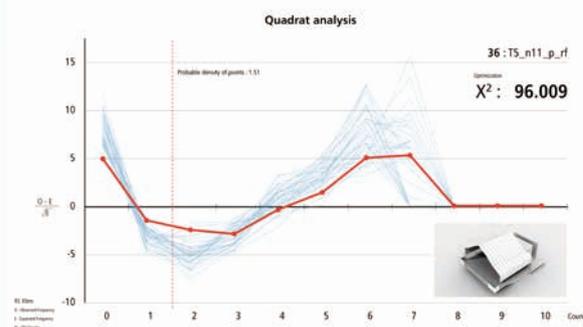


図-7 上) 折り形状のバリエーション例, 下) 最適化の過程

イナーの意図を満たした数百に及ぶモデルの中から最終形状を導き出した(図-7)。

■ デジタルファブリケーションと木の時代

Neuro fabrics (ニューロ・ファブリクス) プロジェクトは、次世代型建築モジュールの開発プロジェクトである。従来の経験的な手の仕事と先進的なコンピュータ技術を融合し、「木」の可能性を最大限に引き出す試みだ(図-8)。

本プロジェクトもまたコーディングによって制作されている。形態生成プログラム、構造最適化プログラム、デジタルファブリケーションのための旋削加工プログラムをすべて連動させた「Networked coding system」によって生成されている。各プロセスにおいて生成されるアウトプットは、注意深

☆2 小学館神保町3-3ビル, 建築設計: 日建設計, 「木漏れ日プログラム」: アンズスタジオ。

☆3 嬉野市社会文化体育館コンサートホール, 建築設計: 末光弘和+末光陽子 / (株) SUEP, 「折り紙プログラム」: アンズスタジオ。

く観察・検証され、再びコード化されて組み込まれる。これを繰り返すことにより、プロセスが繊細に書き換えられ、更新され、独自のものづくりプロセスを生み出してゆく仕組みだ。

型を制作する必要がある金属加工技術とは異なり、加工しやすい木の性質はこうしたインタラクティブなものづくり手法に適していると言えるだろう。19世

紀半ばから20世紀にかけてを「鉄とガラスの時代」とするならば、次の時代では再び「木」の可能性に注目が集まるだろう。

成長・進化するデザインの可能性

本稿では、コンピューテーションの力によってデザインのプロセスが進化し、従来の建築像が少しずつ変化を見せ始めていることを示唆した上で、その実践的事例を中心に紹介した。今後これら新しい建築の潮流はロボティックなどの先端技術と結びつき、空間知能化の世界へと進化を遂げていくだろう。こうした動きは、インタラクティブ・アーキテクチャ、キネティック・アーキテクチャといった分野を再開拓し、解析データとデザインの融合にとどまらず、リアルタイムデータとデザインの連動を可能にするだろう。

インタラクティブ・アーキテクチャとは、埋め込まれた計算（インテリジェンス）とそれに対する動き（キネティクス）の融合によって、空間自らがそこにいる人や環境を観察し、予測し、学ぶ能力を持っている建築のことを示す。この分野を提唱したMichael Fox（マイケル・フォックス）は、自身の著書「Interactive architecture」の中で「人間が人間に対してrespond, interactそしてadaptするように、建築がこれと同じ能力を持つことができるのであれば、人間（あるいは環境）と建築間でコミュ

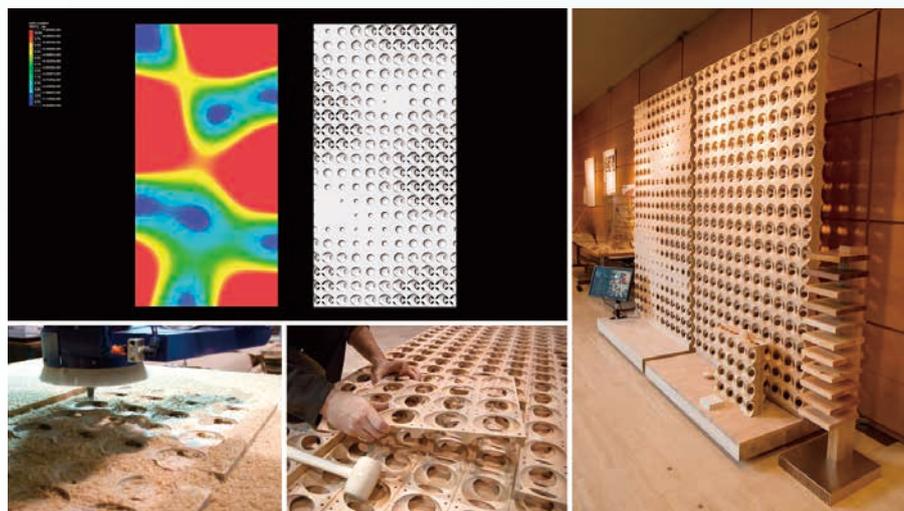


図-8 左上) 構造最適化, 左下) CNCによる切削の様子, 右) ニューロ・ファブリクス

ニケーションをとることができるようになるのではないかと指摘する。

人が住まい活動するための「囲い」としての空間を提供してきた静的な建築像に代わって、自らがコミュニケーションの能力を持ち、人間と環境との柔軟な関係性を構築することができるダイナミックな建築像へと進化していくだろう。周囲の環境変化や人間の行動に対して受動的だった従来の建築が、知能化されることにより周囲環境に自ら適応・成長する建築へと進化を遂げようとしているのである。

参考文献

- 1) Terzidis, K. : Algorithmic Architecture, Elsevier Ltd. (2006).
- 2) Okabe, A., Takenaka, T. and Wojtowicz, J. : Beyond Surface, Proceedings of the Critical Digital 2008, pp.195-204 (2008).
- 3) Le Corbusier : Le Modulor, Kajima Institute Publishing Co. (1976).
- 4) Takenaka, T. and Okabe, A. : Development of the Seed Scattering System for Computational Landscape Design, IJAC, Vol.9, Issue 4, pp.421-436 (2011).
- 5) Fox, M. and Kemp, M. : Interactive Architecture, Princeton Architecture Press (2009).

(2012年10月3日受付)

■ 竹中 司 takenaka@ans-studio.com

アンズスタジオ代表、豊橋技術科学大学研究員、武蔵野美術大学建築学科修了。人間・ロボット共生リサーチセンター運営委員、日本建築学会3次元設計教育小委員会委員、日本建築学会アルゴリズムデザイン小委員会委員。