

植物を育てるように建築を育てる

Growing Architecture Like Plants

松川 昌平(建築家／慶應義塾大学環境情報学部准教授)
MATSUKAWA Shohei (Keio University)

1. はじめに

私もお二人と同じで、バックグラウンドは建築です。1998年に大学を卒業してから000studioというデザイン事務所を主宰しております、伊東豊雄さんのせんだいメディアテークの映像作品を作成したり、アーティストの池田亮司さんの映像作品を10年間ほどお手伝いしたりと、従来の建築の枠組みに囚われないような活動をしてきました。現在は慶應義塾大学SFCで、「アルゴリズムック・デザイン」という比較的新しい設計方法論について研究・実践しています。

今日は「植物を育てるように建築を育てる」と題して、アルゴリズムック・デザインの方法論を植物のメタファーを用いてお話したいと思っています。

2. 植物に見るアルゴリズムック・デザイン

例えばGoogleで「樹木」を検索すると、多様なかたちの樹木を見ることができます。しかしご存知のように、一見多様にみえるかたちの背後には、非常に単純な仕組みがあることが知られています。1本の枝が複数の枝に分岐するという単純なルールです。つまり、分岐の数や、枝の角度・長さ・太さなどを変数として、後はその分岐をフラクタル状に繰り返しているのです。このように単純な仕組みから多様なかたちを生成することを我々は「生成のプロセス」と呼んでいます。

次に、川に向かってオーバーハングしている樹木をイメージしてみてください。なぜ樹木は川に向かってオーバーハングしているのでしょうか？それは、真っ直ぐに立っている樹木よりもより多くの太陽光を浴びることができるからです。環境にどのくらい適応しているかを測る指標のことを適応度と呼びますが、真っ直ぐよりもオーバーハングしている樹木のかたちのほうが適応度が高いわけです。だとすると、より多くの太陽光を浴びよ

うと背の高い樹木が世界中にあふれそうな気がしますが、背が低い樹木も沢山あります。確かに高い木の方が光合成という評価基準では適応度が高いわけですが、我々と同じように、体が大きいとそれだけ生きるためのエネルギーコストが掛かるので、生きるためのエネルギーコストという評価基準では適応度が低いのです。このように複数の評価基準の適応度を重ねあわせると、背の高い樹木と低い樹木のどちらも環境に適応していることがわかります。それぞれの生存戦略が違うだけなのです。生存のための評価基準が多様だからこそ、かたちも多様になるのです。このようにかたちが環境にどのくらい適応しているのかを測ることを我々は「評価のプロセス」と呼んでいます。

植物に限らず、すべての生命はよりよく環境に適応できたかたちを次世代に継承するためにDNAを用いています。また交配や突然変異によってかたちを改善し、環境に適応するべく試行錯誤を繰り返しています。つまり遺伝子による継承と改変が、かたちを進化させるのです。このようにかたちがよりよく環境に適応するように試行錯誤を繰り返すことを我々は「高適化のプロセス」と呼んでいます。

本来、植物を生成するのに設計主体はいません。しかしこのように植物が進化していくプロセスを「生成のプロセス」「評価のプロセス」「高適化のプロセス」に分けてみると、普段我々が人工物をデザインするときの試行錯誤と非常にプロセスが似ていることがわかります。

アルゴリズムック・デザインとは、これら3つのプロセスをコンピュータ・アルゴリズムによって自動化することで、建築家という設計主体がいなくとも、環境に適応した建築を育てていくための方法論なのです。もっといえば、個々の建築を設計するというよりは、多様な建築群を育てるための生態系そのものを設計しようとしているのです。

3. アルゴリズム・デザインの枠組み

アルゴリズム・デザインの枠組みを「生成のプロセス」「評価のプロセス」「最適化のプロセス」にわけて、もう少し詳しくみていきましょう。

3.1. デザインの定義

まずはじめに、議論の前提としてデザインの定義をしておきます。建築の設計プロセスをアルゴリズムに捉えようとした先達のひとりであるクリストファー・アレグザンダーは、デザインを次のように定義しています^[01]。

デザインの最終の目的は形である。(中略) とのデザインの問題も、求められている形と、その形全体との脈絡、すなわちコンテキストという二つの存在を適合 (fit) させようとする努力で始まるという考え方に基づいている。

ここでいうコンテキストとはある環境における形の価値のことです。したがってもう少し簡潔に言い換えると、デザインとは「〈かたち〉と〈かち〉を適合 (fit) させること」であるといえるでしょう。

3.2. 生成のプロセス

図1に生成のプロセスの概念図を示します。

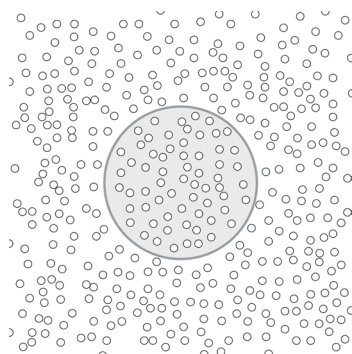


図1 生成のプロセスの概念図

図中に無数にある白丸の点は、建築のかたちの可能性をXY平面上に表したものです。どれひとつとして同じかたちはありません。かたちの可能性は無限にあるので、白い点もXY平面も無限に広がっています。我々はそれらをZ+軸方向（画面手前）からZ-方向（画面奥）に向かって平面的に視ています。

図中の大きな丸枠は、ある生成のアルゴリズムによって生成されるかたちの集合を表しています。先ほどの樹木の例でいうと、ひとつの枝が複数の枝に分岐することによって生成される樹木のかたちの可能性すべてが大きな丸枠の中に示されています。逆にいえば、そのアルゴリズムでは生成することができないかたちは、丸枠の外側にプロットされているということです。

このように「生成のプロセス」とは、無限の〈かたち〉の可能態の中から、制約条件によって逐次的に生成され得る〈かたち〉の枠組みをデザインするプロセスです。

3.3. 評価のプロセス

次に、評価のプロセスの概念図を示します（図2）。

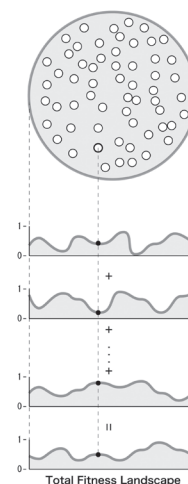


図2 評価のプロセスの概念図

前節で示した生成のプロセスの概念図（図1）は平面的に視ていましたが、評価のプロセスではそれらを横から断面的に視ることを考えます。あるかたちが環境にとのくらい適応しているのかを測るための目的関数を用意します。最低点は0点、最高点は1点として、その間の浮動小数点で評価を行います。この点数は適応度 (Fitness) と呼ばれます。その適応度に応じてZ+軸方向に高さを与えます。

同様にすべてのかたちの適応度を評価して、それらを横から断面的に視ると、無数の点が集まって面となり、凹凸のある地形のようにみえるでしょう。この地形のことを適応度地形 (Fitness Landscape) と呼びます。

評価基準はひとつとは限らないので、様々な目的関数

に従って同様に適応度を定めます。そうすると各評価基準に応じた適応度地形を表現することができます。このとき、評価する主体によって各評価基準の重要度は異なるので、それぞれの適応度に重み付けをおこないます。そして重み付けが施された適応度地形を波のように重ね合わせると、総合的な適応度地形（Total Fitness Landscape）を得ることができます。

このように「評価のプロセス」とは、生成のプロセスで逐次的に生成された〈かたち〉を評価して、その〈かち＝適応度〉を標高とすることで適応度地形を作成するという〈かち〉の枠組みをデザインするプロセスです。

3.4. 高適化のプロセス

最後に「高適化のプロセス」の概念図を示します（図3）。

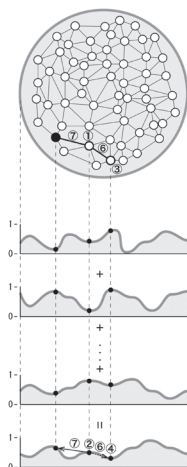


図3 高適化のプロセスの概念図

評価のプロセスにおいて、適応度地形の標高という大きな手がかりを手に入れているので、〈かち〉ある〈かたち〉を探索するためには、標高の高い方へと山登りを進めればよいことがわかります。ただしこのとき、すべてのかたちの可能態の数は非常に多いので、すべての適応地形を事前に知ることはできません。したがって、次のようなアルゴリズムで、〈かち＝適応度〉の高い〈かたち〉探索することを考えます。

- ①：〈かたち1〉を生成する
- ②：〈かたち1〉の〈かち＝適応度〉を評価する
- ③：〈かたち1〉の近傍の〈かたち2〉を生成する

- ④：〈かたち2〉の〈かち＝適応度〉を評価する
- ⑤：終了条件を満たせば終了、さもなければ⑥へ移動
- ⑥：もし〈かたち2〉の〈かち＝適応度〉が、〈かたち1〉のそれよりも低ければ③へ戻る
- ⑦：高ければ〈かたち2〉←〈かたち1〉として③へ戻る

このアルゴリズムは山登り法（hill climbing algorithm）^[02]と呼ばれます。一見すると、最も〈かち＝適応度〉が高い〈かたち〉—すなわち大域的最適解に辿りつけるように思えますが、一般的に適応度地形は小高い山のピークが複数連なったような地形であることがほとんどなので、局所的なピーク（局所最適解）に達するとそこから脱出することができないことに注意してください。それでもランダム法やしらみ潰し法に比べれば、〈かち〉の高い〈かたち〉を選択する確率は高くなるはずですが。

このように「高適化のプロセス」とは、これから探索する〈かたち〉の〈かち〉を事前に予測することによって、少しずつ〈かち〉の高い〈かたち〉を探索できるように探索手法をデザインするプロセスです。このとき、局所最適解に陥らずに、いかに大域的最適解を目指して、適応度地形の山脈を山登りできるかが重要です。スチュアート・カウフマンの言葉を借りれば、デザインとは「高地への冒険」^[03]なのです。

4. 植物を育てるように住宅を育てる

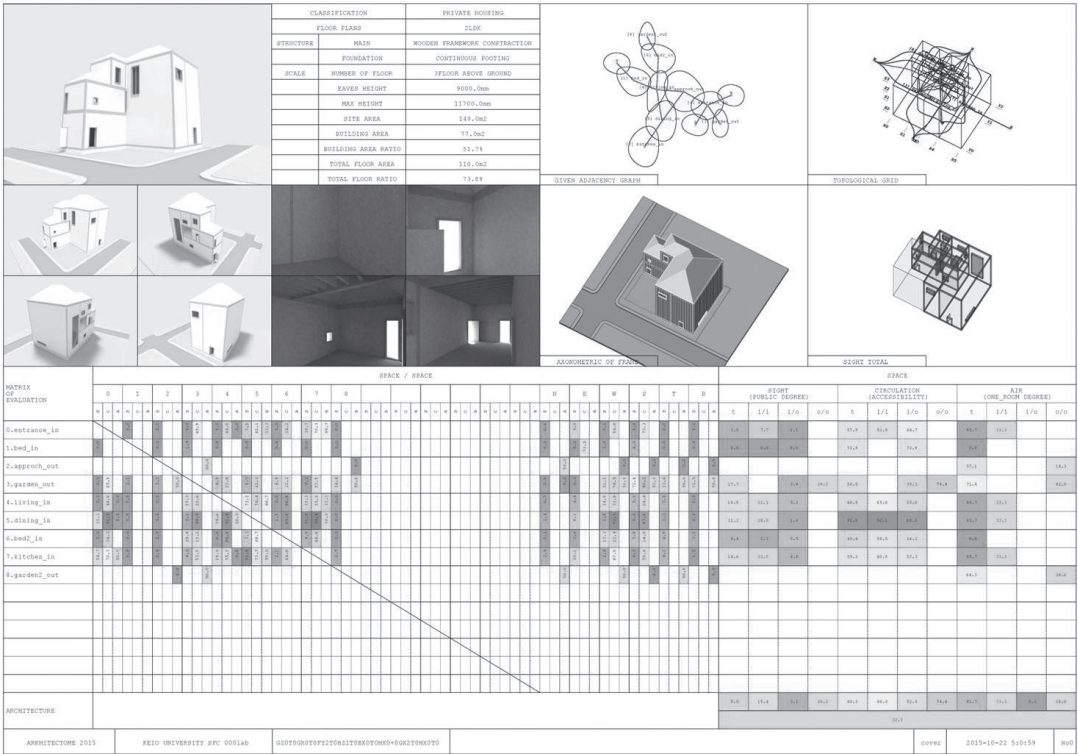
《アルキテクトーム/ARKHITEKTOME 2015》

以上のようなアルゴリズム・デザインの枠組みを用いて、これまで慶應SFCの松川研では、2次元構造体を育てた《ストラクチュローム/STRUCTUROME 2013》、椅子を育てた《スツローム/STOOLOME 2014》、鉄塔を育てた《パイロノーム/PYLONOME 2013》などのプロジェクトを作成してきました。それで2015年にいよいよ次は建築でやってみようということで、《アルキテクトーム/ARKHITEKTOME 2015》を開発し始めました。

「生成のプロセス」では、敷地の情報と、nLDKの単位空間の隣接関係を入力し、その隣接関係を満たすような木造軸組を自動生成するアルゴリズムを開発しました。また許容応力度計算ができるような独自構造プログラムも実装しています。もちろん開口部や屋根などの建築エレメントも自動生成しています。一般図レベルですが図面も自動生成できます。図4に生成された住宅群を



図4 自動生成された住宅群



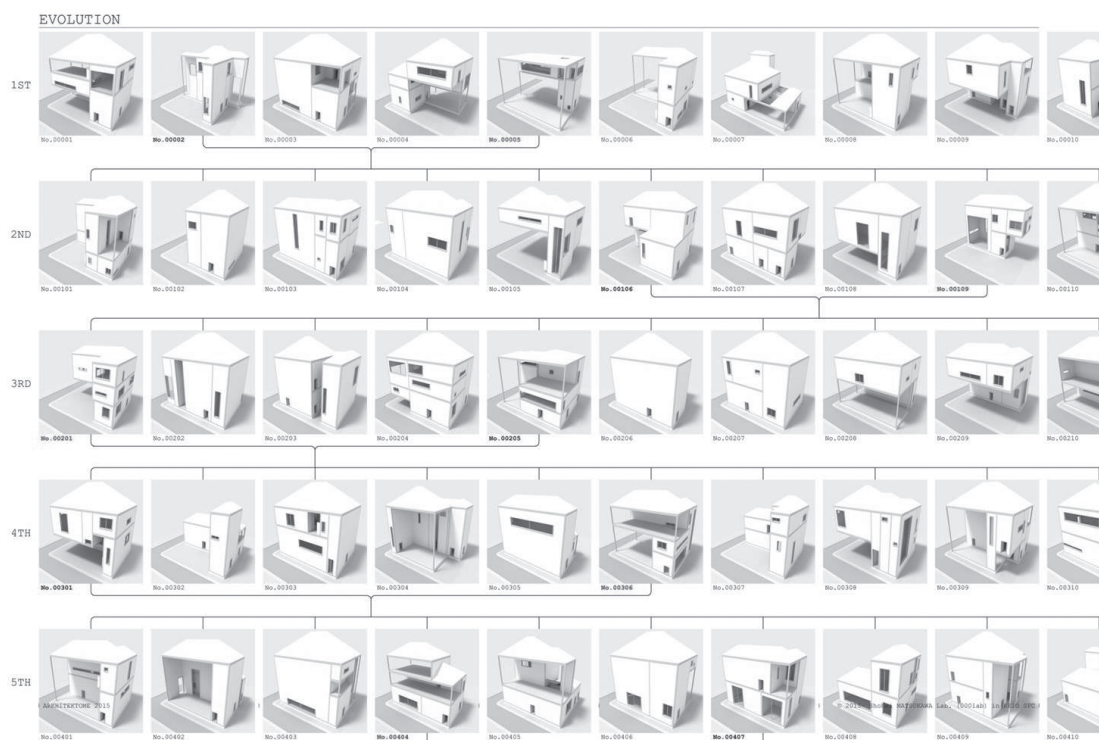


図6 遺伝的アルゴリズムによって住宅を高適化する

示します。

次に「評価のプロセス」です。これまで建築の空間構成を定量的に評価するような指標はなかったのですが、ここでは、それぞれの単位空間において、視線がどのくらい抜けているか、動線的な距離がどのくらい近いか遠いか、空気がどのくらい抜けているかという3つの指標を用いて、建築の空間構成を定量的に評価することを試みています（図5）。

最後に「高適化のプロセス」ですが、実はここは取り組んでいる最中でまだ未実装なのですが、基本的には椅子や鉄塔を育てたのと同じように、遺伝的アルゴリズムを用いる予定です。最初に第一世代の住宅をランダムに生成し、それぞれの住宅が環境にどのくらい適応しているのかを評価し、適応度が高い住宅の空間構成の遺伝子を交配させて、少しずつ環境によりよく適応した住宅を育てていくようなイメージです。

5. デザインのOMICS

これまで松川研で制作してきたプロジェクトのタイトルの接尾語には、必ず「OME」がついていましたが、この接尾語はギリシャ語で総体を意味します。最も馴染

みのある言葉としては「ゲノム/GENOME」だと思いますが、遺伝子を意味する「GENE」と総体を意味する「OME」を合わせた言葉です。生物学の分野では、ゲノムの他にも、プロテオームやコネクトームなど、コンピュータを用いて研究対象を網羅的に解析する学問のことを「オーミクス/OMICS」といいますが、我々の研究室では、建築・都市デザインにおけるオーミクスをやりたいのです。

6. おわりに

最後に今回のシンポジウムのタイトルに引き寄せてお話しすると、私にとって「コードを記述する」というのは、自然界における物理法則のように、多様な建築群を育てるための生態系そのものを記述するということです。

また「コードを実行する」というのは、様々な環境をマルチバースのように生み出していくことです。地震が多い環境とか、やたら雨が降る環境などを作っておけば、同じ生成のアルゴリズムでも、それぞれの環境に適応した異なるかたちが育っていくのではないかと思います。

最後に「コードを保存する」というのは、久保田さんがおっしゃる本来の文脈とは違うかもしれませんが、磯

崎新さんが言うところの「切断」、つまり回り続けるシステムを止めるということに近いのかなぁと思いました。私自身は、個々に生成された建築のことを、回り続けるシステムから代謝された代謝物のようなものだと思っていて、回り続けるシステム、いわば〈かた〉そのものを設計したいと思っています。

質疑応答

久保田 先ほどの住宅の場合、そもそもどのくらいのパターン数があり得るのでしょうか？

松川 以前論文にしたアルゴリズム^[04]が元になってい

ます。例えば、ある直方体の敷地に、直方体の部屋がひとつしかないとは1パターンしか可能性がありませんが、2つあると、東西南北上下に分割できるので3パターン、3つだと15パターン、4つ部屋があると99パターンというように、直方体の中に直方体の部屋があった場合その分割パターンを列挙するというアルゴリズムを開発しました（図6）。部屋の数が多くなると指数関数的にパターン数が増えていくので、すべての室配置を列挙してみることが現実的に不可能です。ですので、事前に部屋相互の隣接関係を入力して、その隣接関係を満たしたパターンだけを逐次的に生成するようなアルゴリズムになっています。

参考文献

- [01] C. アレグザンダー：形の合成に関するノート、pp.12、鹿島出版会（1978、原著は1964）
- [02] 久保幹雄, J. P. ペドロソ：メタヒューリスティクスの数理, pp.18, 共立出版（2009）
- [03] S. カウフマン：自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則, pp.271, 日本経済新聞社（1999）
- [04] 松川昌平：逆探索法を用いた直方体分割図の列挙アルゴリズム, 日本建築学会計画系論文集, 2017, vol82, no735, pp.1389-1399