

デザイン科学の教育方法について

○藤井 晴行*¹ 大崎 純*²
渡辺 俊*³ 位寄 和久*⁴
長坂 一郎*⁵

キーワード：デザイン 教育 図式 数理 論理 公開教材

1. はじめに

デザインはこれまでにない新たな仕組みを創る目的を有する行為である。デザイナーは論理的思考と直感的思考を連係して目的を果たす。デザインにおける意思決定や選択や操作の多くは、目的に適うように、デザイナー自身の経験、実体験や伝聞を通して知っているものごと、それらから推論されるものごとなどを踏まえてなされる。意思決定や選択や操作が直感的になされる場合も、デザイナーはそれらが目的に適うような帰結をもたらすことを期待している。意思決定、選択、操作は、論理的思考や直感的思考をなすことなく、全く任意になされるのではない。

デザイン教育の基底には、デザイン行為を自覚的になす姿勢を教導すること、デザイン能力の基盤となる論理的思考と直感的思考とそれらの連係を可能にする能力を養成すること、意思決定・選択・操作に関する知やそれらの対処となるものごとに関する知を獲得する能力を向上することなどがある。

デザイン科学がデザインの実践や研究において担う役割は、デザインにおける行為、思考、知、デザインに関わるものごとのモデルを、図式、数理、論理という3つの観点から、経験と理論に基づいて構築し、デザインの実践、研究、教育に適用することによってモデルの意義を評価し、デザインの研究、実践、教育の質の向上に寄与すべくモデルを洗練させていくという役割である。ここで、モデルは対象とする世界の構造や振る舞いを注目すべき構成要素とそれらの関係によって抽象表現するものである。デザイン科学がデザイン教育において担う役割はデザインにおける意思決定、選択、操作を可能にする思考の技術をデザインの学習者が修得できる方法を上記のモデルを踏まえて構築し、デザインを取り巻く状況に対応して維持・更新するという役割である。デザイン科学を教育することはこれらの役割を担う能力を養成することである。

本稿では、これらの考え方を前提として、デザイン科学教育の課題を示すとともに、計算機を援用した教育の方法を提案する。

2. デザイン科学教育の課題

デザイン科学教育の課題のひとつはデザインに関わる知や知識情報を自覚的に扱う方法を考案して適用する技

術を修得する方法を構築することである。

現在の建築デザインが扱う情報は多岐にわたり、膨大でもある。これらの情報を適切かつ適時的に処理するために計算機を援用することは、もはや、あたりまえのことになっている。設計案はCADデータとして形式表現され、設計操作はCADデータ上の形式的操作として表現される。設計案の美の理（意匠的合理性）はCADデータの3DCG表現によって吟味される。強さの理（構造的合理性）は設計案の構造力学的挙動を抽象表現するモデルを用いた構造解析やシミュレーションによって吟味される。用の美（計画的合理性）は設計された空間の連結関係と居住者の移動行動を抽象表現するモデルを用いたシミュレーションや設計案の環境工学的挙動を抽象表現するモデルを用いた解析やシミュレーションによって吟味される。また、これらを連係して設計案の合目的性を評価したり最適な設計案を探索したりする複雑で時間を要する思考には最適化アルゴリズムや人工知能アルゴリズムが援用されたりする。さらに、昨今では、図形操作アルゴリズムに意匠的形態の創発を委ねる「アルゴリズムック・デザイン」が意匠設計の手法のひとつになりつつある。

一方、建築学科における情報システム技術の教育はコンピュータ・リテラシー（ソフトウェアの使い方が主）や計算機科学の基礎の教導にとどまり、上記の情報システム技術利用の基礎となる理論や技術の修養は研究室単位の研究指導や自習に依る所が大きいというのが現状である。不安定な基礎の上に構築される上部構造が危ういものである可能性があることは建築を専門とする者には自明である。このアナロジーを適用すれば、建築学が情報システム技術の利用に関して好ましくない状況にあることも容易に推量できるはずである。また、料理人は食材や調理方法に応じた適切な包丁を使うし、それらの包丁の特性を十二分に活かせるように包丁を手入れする。情報システム技術にも同様のことが言える。あるタイプの問題を解けないと論理的にわかっている情報システムにそのタイプの問題を解かせることは最善ではないし、解かせる問題に応じて情報システムを選択したりチューニングしたりすることも、料理人が包丁を手入れするように、大切である。

筆者らはこれらの問題意識を契機として建築のデザイン科学を開始し、その教育方法の実験的適用を進めている。

3. デザイン科学教育のフレームワーク

3.1 ねらい

デザイン科学教育のねらいのひとつは、数理的思考、論理的思考、図式的思考の基本原則を理解したうえで、それらを計算機プログラムとして実装した計算ツールを適切に援用してデザインを行なうことができる能力を養うことである。計算ツールを発想のてがかりとして用いる場合でも、基本原則を理解しておくことが好ましい。ツールの操作（デザインの条件設定に相当）とツールの出力（デザイン案に相当）の法則的關係を意識できるからである。

日本では、建築のデザイナーはアーキテクトと理解されるが、欧米ではエンジニアリング・デザイナーを意味する。言葉の定義にとらわれなくても、建築のような特定の性能を提供することが要求される人工物をデザインする（純粋な芸術作品を制作するのではない）ためには、デザインされている人工物が提供する性能の予測に基づいて工学的な判断をするということが重要である。

3.2 構成的なエンジニアリング・デザイン

デザインという行為は、極論すれば、設計対象のあらゆる組合せの中から要求をみたす組合せの集まりを選択し、その中から最も望ましい組合せ（解）を見出す過程である。エンジニアリング・デザインはこの過程において合理的な性能予測や工学的判断を行なうデザインである。エンジニアリング・デザインの過程では、定式化された性能の予測の方法や工学的判断の原理を基盤として、さまざまな数理的手法を利用できる。例えば、最適化（最も望ましい組合せの探索）、データマイニング（潜在的な型や法則性の発見）、計算幾何学（合理的な形態の集まりの選択）、微分幾何学（形の構造や性質の分析）などが挙げられる。オープンソースのツールは必ずしも多いとはいえないが、フリーのソフトあるいは商用ソフトを小規模の問題に限って利用可能としたツールとして、GAMS²⁾（最適化）や Weka³⁾（データマイニング）などがある。

新機軸のデザインを試みているときのように、既存のデザイン事例からは要求をみたす組合せの見当がつかない場合がある。また、最適性の評価の指標が明確に定まっていない場合もある。このような場合には、有望であると直感する組合せを選択してデザイン案の候補をとりあえず生成し、適切であると直感する方法で候補の最適性をとりあえず評価し、その結果を踏まえて組合せのつくり方と評価方法それぞれの的を絞るという過程を最適（またはそれに近い）と確信できる組合せが見つかるまで繰り返すという構成的方法を用いることが好ましい。このとき、有望な組合せを生成する（直感的な）原理を定式化したり、最適性を評価する（直感的な）方法を定式化したり、これらのアドホックな定式をデザインの過程で精緻化していく方法を定式化することにより、生成原理と評価方法の定式化というメタなデザインを伴う構成的なエンジニアリン

グ・デザインに計算ツールを利用することが可能になる。これらを可能にするのは基本原則の正しい理解である。

3.3 デザイン教育のパラダイムシフト

例えば、建築構造の教育は、構造力学などの基礎分野、構造計算（構造解析）、各種構造などに重点が置かれ、構造デザインを教育する大学は少ない。もっともプリミティブな構造設計の流れは以下のとおりである。

1. 設計を仮定,
2. 構造解析,
3. 設計条件を満たさなければ1へ。満たせば終了.

この流れは建築環境設計においても同様である。環境シミュレーションや冷暖房負荷計算が上記2の構造解析に相当する。設計の仮定においては、既存の建物の型と構造的な性能や環境的な性能との関係についての定石的な知識が重要な役割を担う。ただし、定石的な知識は諸刃の剣である。既存の型と性能の関係を踏襲して有望な候補を生成することにも寄与するし、反対に、既存の型を破らなくては実現しないタイプのより好ましいデザインを抑制する。また、型が形骸化して適用される場合には、ある性能を発揮させるためにある型を用いるということが自覚的ではなくなる。

最適化の概念を用いると、プリミティブな設計の流れは以下のように変わる。

1. 設計条件を指定,
2. 最適化を実行して最適解を得る.

最適化により、デザインの流れが全く逆になっているように見えるが、実際は、最適化の際に設計の仮定と構造解析を何度も実行しているので、従来の流れが計算ツールを援用した自動化によって繰り返されているに過ぎない。

しかし、デザイン教育の観点からは、教育の対象に、「構造解析」や「環境シミュレーション」などと「設計条件のチェック」だけではなく、「設計条件の指定」と「最適化」を加えることが重要である。それゆえ、後者を適切に行なうための数理的思考、論理的思考、図式的思考の基本原則とそれらを計算機に実装するプログラミング手法の理解が、建築学の修得に加えて、デザイン科学教育のねらいどころとなる。

3.4 プログラミング学習の環境

建築のデザイン案は、図形として表現されるので、オープンソースのプログラムには、図化に適した言語を用いる必要がある。また、コンパイルの必要な言語よりは、スクリプト言語が望ましい。後者の方が建築のデザインに並行して計算機プログラミングを行なえるからである。これらのことから、筆者らは、Python を使用して教育のためのツールを作成している。Python は、再配布の制限が最も緩い言語であり、Rhinoceros や ABAQUS⁴⁾などの商用ソフトウェアや、Blender などのフリーウェアの制御のために利用される。

4. デザイン科学教育の方法

デザイン科学教育の目的（数理的思考，論理的思考，図式的思考の基本原則を理解したうえで，それらをデザインの計算ツールとして適切に用いるデザインを行なうことができる能力を養うこと）を果たすために計算機プログラミングの修養を核とするデザイン科学教育の方法を提案する．提案する方法は筆者たちそれぞれのデザイン科学教育の経験を踏まえて情報システム委員会・デザイン科学教育方法研究小委員会において構築しつつあるものである．

計算機プログラミングの修養を含むデザイン科学教育の基本は下記の学習項目からなる基本サイクルを，相互に関連づけて，繰り返すことである．繰り返すことによって，理解の度合を深めるとともにデザインの実践や研究への応用力を高める．計算機プログラミング修養を核とするのは，基本原則の応用にはそれが不可欠であり，基本原則の理解の助けにもなるからである．

1. 基本原則の理解（定式化の基礎）
2. 基本原則の計算機プログラミング（定式化）
3. 基本原則の応用（定式化の事例研究）

以下に，各学習項目の概要を述べ，その実施に向けた課題を挙げる．

4.1 基本原則の理解

デザインにおける数理的思考，論理的思考，図式的思考の基本原則及びその定式化の基本原則を理解する．数学基礎論，計算機科学，知能情報学などにおける理論をデザインにおける思考に対応づけながら理解する．理解することが好ましい項目は，例えば，数理の観点からは，最適化理論，集合論，線形代数，数え上げ手法など，論理の観点からは，探索手法，非単調推論，制約充足問題，形式言語論，意味論など，図式の観点からは，幾何学，微分幾何学，認知意味論などである．これらの教科書は当該分野の初学者や中級者を対象として書かれているので，各項目をデザインの文脈に埋め込んで理解できるようなデザイン科学の教育に特化した教科書を用意することが重要な課題のひとつである．

4.2 基本原則の計算機プログラミング

プログラミング修養の基本は，デザイン修養と同様に，真似ることであり，注目する内容に類似したコードの改作を通じて理解を深めていくことである．自作したプログラムを動かすことによって，数理的思考，論理的思考，図式的思考がどのようにエンジニアリング・デザインやデザイン科学に寄与するのかを体感する．しかし，情報科学の修学者を対象としたオープン・ソース・プログラムは数多存在するが，デザインの修学者を対象としたものはほとんど無い．デザイン科学教育の一貫としてのプログラミング修養には，アルゴリズムの本質が明瞭に見えるように周辺処理に関するコードを最小限に留めるように作成したオープン・ソース・プログラムを用いることが好ましい⁵⁾．

そのための重要な課題は，オープン・ソース・プログラミング教材を整備して公開することである．今日でもインターネット上にはデザイン科学に有用な数多くのオープン・ソース・プログラムが散在しているが，使われているプログラミング言語は多種多様であり，また，具体的な解説も簡潔であるため，初学者が活用することは難しい．デザイン科学の方法論に関するコンテンツについて，統一されたプログラミング言語によるソース・コードを提供することで，誰もが参照・試行可能なプログラム・リポジトリを開発する必要がある．

プログラム・リポジトリには，上記の基本原則とデザインとの関係を体感できるような題材を用意する．

図式の視点からは，Andrea Palladio のヴィラ（イタリア）や，Álvaro Siza Vieira の Malagueira housing project（ポルトガル）など，これまでの形態文法（Shape Grammar）による研究事例を検証し，それらを実現するソース・コードを整備する．また，パラメトリック・デザインの事例として，イスラーム建築を飾る鮮やかなアラベスク文様や，エッシャーの絵画などに見られる非ユークリッド幾何学の複雑な図式について，それらのパターンを具体的に生成するソース・コードを提供する．

数理（数式）の観点からは，豊島美術館などの自由曲面シェルや，Tod's 表参道などを最適化の観点から検証する．また，鳥の巣（中国）などの最適化されなかった構造を最適化して最適化の有無による形態の違いを比較検討する．

論理（論理式）の観点からは，アレグザンダーによる Hidecs（制約充足問題の解決）や吉川弘之の一般設計学に基づくプログラム，Akin の建築プログラミング（architectural programming）を分析し，それらを実行するプログラムの構成について比較検討し，デザインの論理的側面を学ぶチュートリアル要件を明らかにする．

図式・数理（数式）・論理（論理式）それぞれから提供されるコンテンツ間の連携を模索し，集合知としてのさらなる展開を図ることも課題である．

4.3 基本原則の応用

デザイン科学の方法論について初学者を正しい理解へと導くためには，情報科学の視点からの抽象的な基礎理論に基づく解説だけではなく，デザインの修学者の興味を引くようなデザインの観点から魅力的な事例と方法論との関係を提示することが重要である．そのためには，国内外における具体的なデザイン科学の実践あるいは研究の事例について図式，数理（数式），論理（論理式）という観点から調査し，それを実現している論理やコードを基本原則の解説とプログラム・リポジトリに反映することが重要な役割を担う．

以下に挙げる事例をデザイン科学の方法論によって説明する事例研究教材を整備することが課題である．

図式の観点からは，アンド・サイエンス・カレッジ（カ

タール), Weaire-Phelan 構造による空間充填を応用した北京国家水泳センター(中国), 再帰的立体格子によるMITのシモンズホール(米国)などがデザインの事例として適当である。また, これまでに夏期限定の仮設カフェ兼休憩所として設営されてきたサーペンタイン・ギャラリー・パビリオン(英国)について, デザイン科学の立場から調査・検証し, それらをデザイン科学の研究事例とすることも有意義である。

数理の観点からは, ガーキン(英国)やBMWヴェルト(ドイツ)について調査を行うとともに, 大空間構造や超高層ビルの構造設計における数理的最適化手法, 室配置や避難経路などの計画面での最適化, 部品数削減や期間短縮などの生産性向上のための数理的手法の利用可能性について示すことが肝要である。

論理(論理式)の観点からは, 白川郷, 竹富島, アルペロベッコなどのパナキュラー建築群(集落や伝統的町並み)について構成論理の分析を行い, 隠れた秩序を論理表現し, 直感的に捉えられるものごとの中には論理的な形式として扱えるものごとがあるということを示すことが重要である。

4.4 教育の実践と教育方法の研究の構成的関係

上記で提案している教育方法は筆者らの各所属におけるデザイン教育の経験とデザイン科学研究小委員会など(デザイン科学教育方法研究小委員会の前身)におけるデザイン科学の展開活動の経験を踏まえて構築しつつあるものである。学びは一朝一夕にできることではない。学びの方法の構築も同様である。方法と効果の法則性に関する既往の知見や直観的な仮説を踏まえた方法の実施, 実施効果の観察, 方法の改良の方向づけを繰り返す構成的方法によって, 次第に効果的な方法になっていくと考えている。また, それはひとつの完成形に収束するのではなく, 学ぶ者とのインタラクションによって生まれる状況に応じて柔軟に変化すべきものであると考えている。

プログラミング・ワークショップは学ぶ者と教師とが, 基本原理のプログラミングの練習とデザインへの応用事例研究を通して, インタラクションをする場であることが好ましい。筆者らは, これまでに3回(2010年, 2012年), 「デザイン科学」に関する講演形式によるシンポジウムを開催してきた。しかし, シンポジウムへの参加をもってデザイン科学の方法論が修練される訳ではない。デザイン科学の方法論についての具体的な理解を促すために, 基本原理のプログラム・リポジトリを用いたプログラミング・ワークショップを開催し, デザイン・プロセス論の観点から, プログラム・リポジトリの効果的な活用法を検討することを検討している。

デザイン科学の初学者を対象としたプログラミング・ワークショップを, 試行的に実施し, デザイン科学の教育方法を構成的に構築する。ワークショップは講演を中心とし

た形式とするのではなく, 参加者が使い慣れたPCを持参して, 各自の身体で基本的プログラミングとその応用を経験するという形式を検討している。

ワークショップの参加者は, プログラム・リポジトリに直接アクセスし, 図式的思考(図形処理, 図形操作), 数理的思考(数式処理, 数値計算), 論理的思考(記号処理, 論理計算)のそれぞれについて実際にプログラムを動かしながら基本原理とデザインに関する議論に参加することを通じて, 「デザイン思考」を定式化する意味を追究するとともに, デザイン・プロセスにおけるオープン・ソース・プログラムの意味と意義を共有する。

ワークショップの主催者である筆者らは, 参加者の観察, インタビュー, アンケート調査等によって参加者の学びの状況を観測し, デザイン科学の教育方法の構築, プログラム・リポジトリのデザインにフィードバックする。並行して, プログラム・リポジトリをインターネット上に広く公開し, ワorkshopに参加していない利用者からの意見も募る。参加者や利用者からのフィードバックを活かし, 教育方法の改良やプログラム・リポジトリの充実を図る。

5. おわりに

デザイン科学の教育方法について, デザイン科学教育方法小委員会のメンバーの間で, 議論や試行をしてきていることを踏まえて, 提案した。同小委員会の設置期間中にプログラミング修養を核とするデザイン科学教育の基本サイクルをできるだけ多く繰り返し, 提案した教育方法とそ

【参考文献】

- 1) 日本建築学会(編): 建築のデザイン科学, 京都大学学術出版会, 2012. 5.
- 2) <http://www.gams.com/>
- 3) <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
- 4) <http://www.3ds.com/products-services/simulia/portfolio/abaqus/overview/>
- 5) 渡辺俊: デザイン科学のためのアルゴリズム教材, 第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2011. 12.

-
- *1 東京工業大学・大学院理工学研究科 准教授 博士(工学)
 - *2 広島大学・大学院工学研究科 教授 博士(工学)
 - *3 筑波大学・システム情報系 博士(工学)
 - *4 熊本大学・大学院自然科学研究科 教授 工学博士
 - *5 神戸大学・大学院人文学研究科 准教授 博士(工学)