

# デザインの思考過程における記号操作の意義と推論の形式

○藤井 晴行\*1

キーワード：空間構成 生成 検証 デザイン科学 構成的方法

## 1. はじめに

コンピューテーショナル・デザイン (computational design) の可能性を検討するために、デザインにおける思考を形式表現し、計算の方法を考察する。

## 2. 問題解決としてのデザイン

デザインにおける思考を問題解決 (problem solving) のプロセスとして定式化することを形式表現と考察の出発点とする。

問題解決は問題を解決する解を見つける思考である。問題解決のプロセスは解決すべき問題が存在する現在の状況をその問題が解決されている好ましい状況に到達させる方法を見つけるプロセスである。問題解決は、すべての状況の集合を  $P$  とし、問題が解決されている状況の集合を  $S$  とするとき、問題が存在する集合  $P - S$  のある要素から集合  $S$  に属するいずれかの要素に到達する道筋を見つける計算として定式化される。

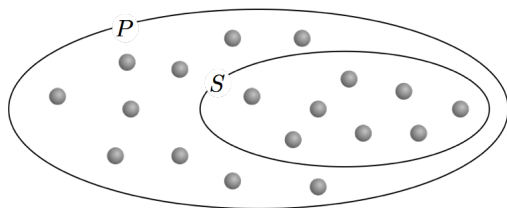


図1 問題解決のイメージ

探索は、解候補の生成 (generation) と検証 (verification) からなる、問題解決のためのシンプルな計算手法である。解候補を生成し、その解候補が解であるか否かを確認し、解であることが検証されなければ、新たな解候補を生成して検証するということを解が検証されるまで繰り返すプロセスである。

デザインにおける思考を、問題解決プロセスを踏まえてモデル化する (図2)。解決すべき問題がある状況を現在の状況 ( $s$ ) とし、問題が解決されている状況を好ましい状況 ( $s'$ ) とする。好ましい状況の実現に貢献する人工物が創られた状況を  $s''$  とする。設計案の生成 (synthesis) は問題解決に貢献すると期待される人工物がある状況  $s''$  を構想するプロセスである。設計案の分析 (analysis) は構想した人工物を創ることの帰結として創出される状況が問題の解決された好ましい状況  $s'$  であるか否かを検証するプロセス

である。人工物が創出する状況 ( $s''$ ) が好ましい状況ではない場合、新たな設計案を生成して分析する。

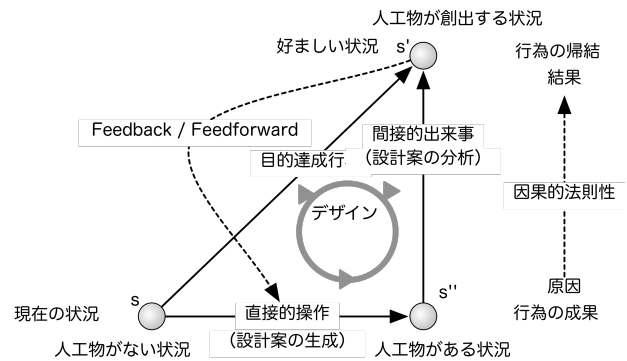


図2 問題解決としてのデザイン

## 3. 設計案の生成

設計図は人工物の構造 (structure) の記号表現である。人工物の構造はその人工物を構成する要素 (構成要素) の特徴および構成要素間の関係をすべて記すことによって表現されると仮定する。構成要素の特徴や構成要素間の関係を記述する記号表現の集合を設計記述言語 (design description language)  $\mathcal{L}_\Omega$  とよぶ。人工物の構造を  $\mathcal{L}_\Omega$  の部分集合として記述することにし、個々の部分集合を設計記述 (design description) とよぶ。空集合 ( $\emptyset$ ) は人工物の構成要素が全くない (人工物がない) ことを示す設計記述である。この言語によって記述可能な人工物の構造の集合は  $\mathcal{L}_\Omega$  の全ての部分集合の集合 (冪集合)  $\mathcal{P}(\mathcal{L}_\Omega)$  である。

人工物の構造を更新することを設計記述から設計記述に変更する記号操作として示す。変更前の設計記述を  $\Delta_l$  とし、変更後の設計記述を  $\Delta_r$  とし、この記号操作を順序対  $\langle \Delta_l, \Delta_r \rangle (\in \mathcal{P}(\mathcal{L}_\Omega) \times \mathcal{P}(\mathcal{L}_\Omega))$  によって表現する。記号の変更を表現する順序対の集合は  $\mathcal{P}(\mathcal{L}_\Omega)$  の上の二項関係  $R_\Omega (\subseteq \mathcal{P}(\mathcal{L}_\Omega) \times \mathcal{P}(\mathcal{L}_\Omega))$  である。二項関係  $R_\Omega$  は推移的である。すなわち、 $\langle \Delta_a, \Delta_b \rangle \in R_\Omega$  かつ  $\langle \Delta_b, \Delta_c \rangle \in R_\Omega$  であるとき、 $\langle \Delta_a, \Delta_c \rangle \in R_\Omega$  である。設計記述  $\Delta_a$  を設計記述  $\Delta_b$  に変更する記号操作と設計記述  $\Delta_b$  を設計記述  $\Delta_c$  に変更する記号操作があるということは設計記述  $\Delta_a$  を設計記述  $\Delta_c$  に変更する記号操作があるということである。設計記述が白紙である状態 ( $\emptyset$ ) から二項関係  $R_\Omega$  が示す記号操作によって生成されるすべての設計記述の集合  $D$  は下式に示すとおりである。

$$D = \{\Delta | \langle \emptyset, \Delta \rangle \in R_{\Omega}\}$$

記号操作  $\langle \Delta_l, \Delta_r \rangle$  を詳しく見る。設計記述  $\Delta_l$  を設計記述  $\Delta_r$  に変更するという事は  $\Delta_l$  に属して  $\Delta_r$  に属さない要素を  $\Delta_l$  から削除してできた集合に、 $\Delta_r$  に属して  $\Delta_l$  に属さない要素を付加するという事である。すなわち、 $\Delta_l$  の部分集合  $\Delta_c (= \Delta_l - \Delta_l \cap \Delta_r)$  に属する要素たちを集合  $\Delta_e (= \Delta_r - \Delta_l \cap \Delta_r)$  に属する要素たちを書き換える記号操作を施すことによって設計記述  $\Delta_l$  は設計記述  $\Delta_r$  に更新される。設計記述の部分集合  $\Delta_c$  を集合  $\Delta_e$  に書き換える記号操作を  $\Delta_c \rightarrow \Delta_e$  と表記し、**書換規則 (rewriting rule)** とよぶ。二項関係  $R_{\Omega}$  に対応する書換規則の集合を  $R_{\Omega'} (\subseteq R_{\Omega})$  とする。記号操作  $\Delta_c \rightarrow \Delta_e$  によって設計記述  $\Delta_l$  が設計記述  $\Delta_r$  に書き換える (更新する) 操作は下式の通りである。ここで、 $(\Delta_l - \Delta_c)$  は設計記述  $\Delta_l$  において記号操作  $\Delta_c \rightarrow \Delta_e$  の前後で変化しない部分を示す。

$$(\Delta_l - \Delta_c) \cup \Delta_c \rightarrow (\Delta_l - \Delta_c) \cup \Delta_e$$

書換規則の集合  $R_{\Omega'}$  に属する規則を1回以上適用することによって設計記述  $\Delta_l$  を設計記述  $\Delta_r$  に更新することができることを下式のように表現する。

$$\Delta_l \xrightarrow{R_{\Omega'}} \Delta_r$$

書換規則に基づく記号操作によって生成されるすべての設計記述の集合  $D$  は下式に示すとおりである。

$$D = \{\Delta | \emptyset \xrightarrow{R_{\Omega'}} \Delta\}$$

以上より、人工物の結構を創出するという事を、書換規則を1回以上適用して設計記述を生成する記号操作として形式表現することができる。

書換規則はそれ自体は建築やデザインに関する意味を持たない記号操作である。しかし、書換規則にデザインの対象である人工物を構成する原理や手順を意味として埋め込むことが可能である。琉球民家の空間構成を事例として、書換規則に意味を埋め込む仕方を以下に示す。

建築空間は汎空間、基空間、傍空間のいずれかの範疇に属する個々の空間によって構成されると仮定している。ここで、汎空間 (general space) は汎用的な空間であり、特定の意味を持つ傍空間 (incidental space) を附設することによって、機能がある程度特定される基空間 (basic space) を構成する (図3)。例えば、畳の間や板の間などの汎空間は特定の設いを施したり (傍空間の附設)、然るべき位置に

配置したりすることによって、特定の空間 (基空間) となる。

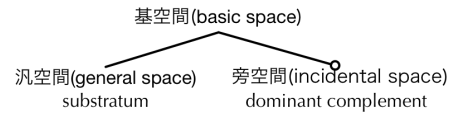


図3 基空間の構成規則

この構成原理は「特定要素 (傍空間) が汎空間である間 (ま) を特徴づけることによって特定の空間 (基空間) を構成する」ことを表現している。基空間を示す設計記述を汎空間を示す設計記述と傍空間を示す設計記述に置き換えることによって設計記述を詳細にする書換規則として下式のように形式表現できる。ここで、 $\Delta_B, \Delta_G, \Delta_I$  は、それぞれ、基空間、汎空間、傍空間を示す。

$$\Delta_B \rightarrow \Delta_G \cup \Delta_I$$

例えば、図4は「琉球民家の一番座 (中座) は床の間 (トコ域) を持つ畳の間 (畳座) である」ことを示す。図5は「琉球民家の二番座 (中座) は仏壇 (仏壇域) を持つ畳の間である」ことを示す。いずれも、上記の構成原理を具体化した構成規則である。

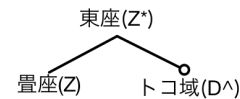


図4 一番座の構成規則

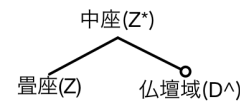


図5 二番座の構成規則

建築空間を構成する原理を三種類に分類し、これらを代表する形式を一般化構成規則 (Type-I, Type-II, Type-III) として表現する (図6)。

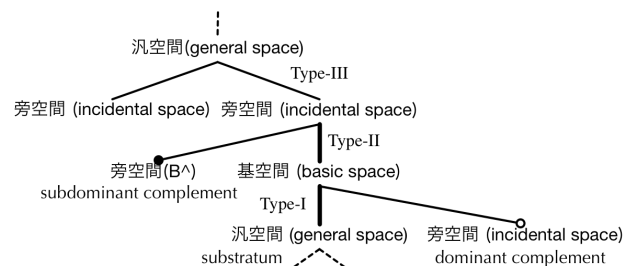


図6 一般化構成規則 (Type-I, Type-II, Type-III)

空間の構成規則はいずれかの一般化構成規則を具体化したものとなる。上に示した構成原理は **Type-I** である。**Type-II** の一般化構成規則は「**旁空間が旁空間と基空間とによって構成される**」という考え方を表現している。**Type-III** の一般化構成規則は「**旁空間と旁空間とを合わせる**ことによって上位の汎空間が構成される」という考え方を表現している。

琉球の民家の一番座（東座）の二番座（中座）の構成は、一般化構成規則（**Type-I**, **Type-II**, **Type-III**）として表現した原理を踏まえると、それぞれ、図7と図8のようになる。

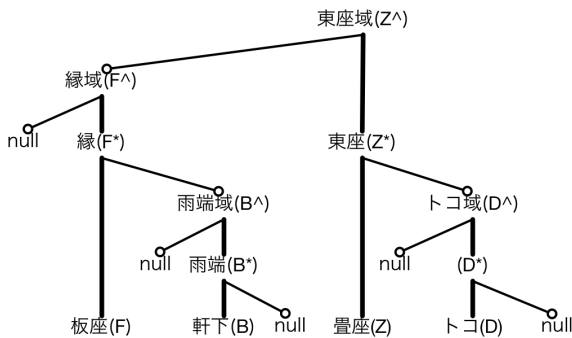


図7 一般化構成規則を踏まえた一番座の空間構成

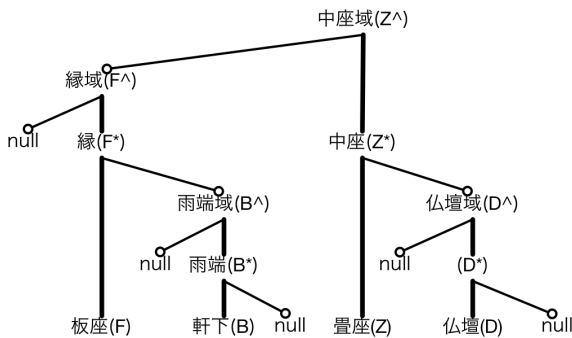


図8 一般化構成規則を踏まえた一番座の空間構成

### 3. 設計案の分析

デザインすることの有目的（purposive）な側面に注目する。設計案が問題を解決するか否かの検証は、設計された人工物が目的とする好ましい状況を創出するか否かを確認することによって行われる。この過程を定式化する。

人工物はデザインの目的それ自体ではなく、目的を果たすための手段である。人工物そのものがデザインの目的である場合もないとはいえないかもしれない。しかし、デザインが行為（意図的な行動）であることを前提とするならば、意図がいかなることであれ、意図を充足するという目的が伴うと考えられる。機能的な人工物のデザイナーにとっては機能が提供される状況を創出することが目的になり、自己や自己の美意識や社会へのメッセージを表現する人工物のデザイナーにとってはそれらが表現されている状況が創出されることによってデザインの意図が充足さ

れる。

設計案の分析プロセスの定式化は、生成プロセスの定式化に比べて、シンプルである。

好ましい状況であるか否かを判定するものごとの記号表現を**批評記述 (critique description)**とよぶ。批評記述を  $\Gamma$  によって示し、好ましい状況を創出すると期待される設計案の設計記述を  $\Delta$  によって示す。設計記述  $\Delta$  が真であるとき批評記述  $\Gamma$  が真であることを導くことが、設計記述  $\Delta$  が問題を解決することを検証することであると考える。人工物が存在する環境の記述を  $E$  とするとき、下式を成立させることが検証であるとみなせる。ここで、記号  $A \vdash B$  は左辺の記号表現 ( $A$ ) から右辺の記号表現 ( $B$ ) が証明される（合理的な推論の道筋が存在する）ことを示す。

$$E, \Delta \vdash \Gamma$$

証明するという事は、記号表現の上では、推論規則を示す記号操作を適用して、証明の前提とする記号表現を証明されるものごとを示す記号表現に変換するという事である。下図に証明のイメージを示す。公理、仮説、事実命題の記号表現に推論規則を示す記号操作を適用し、証明したい主張を示す記号表現を導出するプロセスである。

演繹的な推論を行う記号操作と公理は論理学において証明体系として確立されている（例えば、シーケンス・カリキュラス LK）。また、論理的な計算を行う処理系も存在する（例えば、Prolog 処理系）。

建築においてしばしば用いられるシミュレーション（行動、環境、構造など）は人工物がある環境の中に築造した場合に引き起こされる現象を予測する計算である。ある人工物のシミュレーション結果が好ましいと判断される状況と同等であると示すことも設計案の分析に相当する。

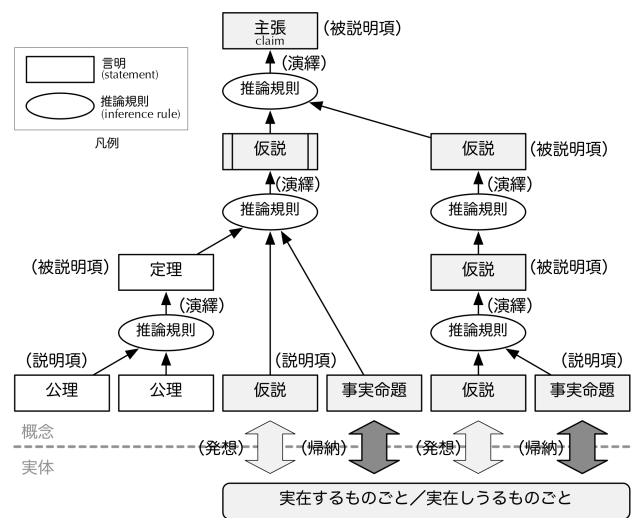


図9 証明のイメージ

#### 4. 生成の方向づけ

解候補の生成と検証を繰り返す探索により、解候補が無限に存在するのではなければ、設計解が存在する問題であれば、いつかは設計解を見つけることができる。あるいは、設計解がないことを確認することができる。解候補の生成が任意である探索においては、運が良ければ最初に生成する解候補が解になるし、運が悪ければ解候補の生成と検証を何度も繰り返すまで解を見つけることができないこともある。解になることが期待される設計案を生成するという意味で方向づけることにより、探索時間と探索空間を縮小することが可能である。例えば、人工物の利用が創出することを期待する好ましい状況と解候補が創出すると予測される状況との差異をフィードバックして次の解候補の生成の方向性を定めることが考えられる。方向づけには、しばしば、発見的推論が用いられる。

#### 5. 現実の世界とのインタラクション

前節までに説明した内容は記号表現の操作に限定されており、実際のデザインにおける重要な特徴を扱っていない。扱っていない特徴は、解候補の記述に用いる設計記述言語が実際のデザインでは流動的に変化するという、言語が変化していない場合においても記号表現の再解釈によって記号表現が指し示す対象が変化するということ、好ましい状況の判定の基準となる批評記述が流動的であるということである。これらの特徴は、デザインが記号表現の操作のみによって行われるのではなく、現実の世界とのインタラクションを伴うということに起因する。生成規則や証明体系は使用する言語や言語表現の意味内容が生成や証明の途上で変容することを想定していない。

現実の世界とのインタラクションを考慮したデザインのプロセスは下図のような構成的サイクルになる。

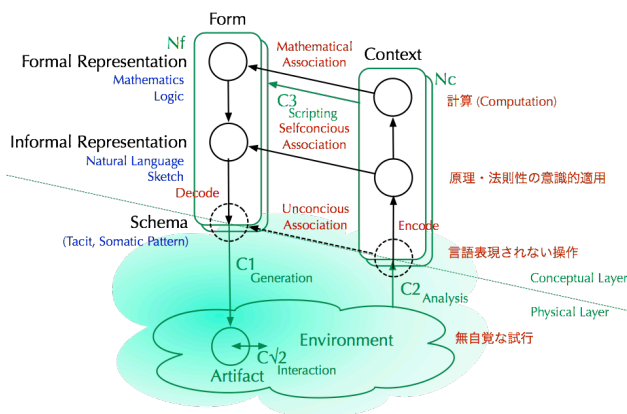


図 10 構成的サイクル

解候補の生成と検証に関わる記号操作を頭の中だけで行なう場合、計算 (computation) は概念レベル (conceptual

layer) における活動になる (図中の C3 の最上段)。記号操作を外化した媒体 (文字、ダイアグラムなど) を通して行なう場合、現実の世界とのインタラクションの影響を受ける。下図は、記号表現を生成する構成的サイクルと記号表現が指し示す実体 (記号内容) を生成する構成的サイクルを合成したものである。

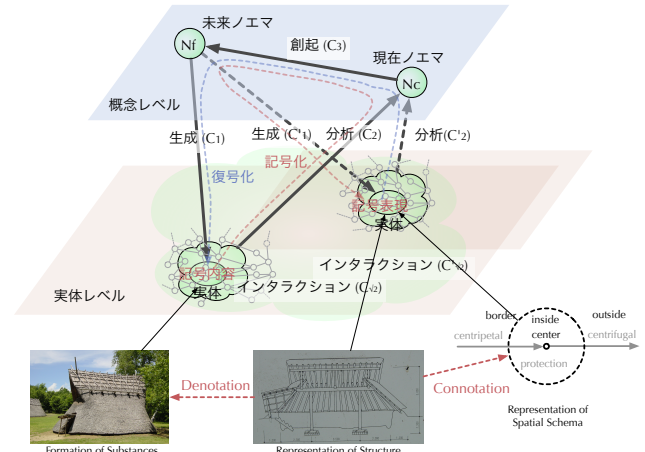


図 11 二重の構成的サイクル

#### 6. まとめ

デザインにおける思考を定式化し、意味づけの方法や推論の形式を検討した。

**謝辞** 琉球民家の調査は日本大学篠崎健一研究室と東京工業大学藤井晴行研究室が共同で行っている。本研究の一部は科研費 (基盤研究(B)(一般)・16H03014, 挑戦的萌芽研究・15K12295) を受けている。関係者に謝意を表す。

#### [参考文献]

- 1) 鶴藤鹿忠: 琉球地方の民家, 明玄書房, 1972 年.
- 2) 坂本磐雄: 沖縄の集落景観, 九州大学出版, 1989 年.
- 3) 藤井晴行: 行為の概念に基づく建築環境学の方法に関する分析哲学的研究, 博士論文, 1998 年.
- 4) 藤井晴行・吉原百香: デザインという行為における思考過程の特徴の形式表現, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 78, No. 693, pp. 2439-2447, 2013 年.
- 5) 藤井晴行: 建築デザインの論理的観点と非論理的観点を結合する二層モデル, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 70, No. 592, pp. 79-84, 2005 年.

\*1 東京工業大学 教授 博士(工学)