Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-05-31

パタン・ランゲージの理論的基盤 : 数学的構造主義とヒルベルトの形式主義 : クリストファー・アレグザンダーの初期理論における思想的背景 その2

長坂, 一郎

(Citation)
日本建築学会計画系論文集,75(658):2989-2997

(Issue Date)
2010

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003094

【カテゴリーⅠ】

日本建築学会計画系論文集 第75巻 第658号, 2989-2997, 2010年12月
J. Archit. Plann., AIJ, Vol. 75 No. 658, 2989-2997, Dec., 2010

パタン・ランゲージの理論的基盤：数学的構造主義とヒルベルトの形式主義

クリストファー・アレグザンダーの初期理論における思想的背景　その2

THEORETICAL BASIS OF PATTERN LANGUAGE: MATHEMATICAL STRUCTURALISM AND HILBERT'S FORMALISM

Ideological background of Christopher Alexander's early theory of design　Part 2

長坂一郎*
Ichiro NAGASAKA

In this paper, we describe the overall picture of the pattern language by examining the literature in the 1960s based on the correspondence to the mathematical structuralism and the Hilbert's formalism. We examine the semantics of pattern language and show that Alexander's definition of the design problems gives the semantic framework of the language. After describing the pattern language can be regarded as a syntactical object like proofs in the formal systems, we discuss the limit of the pattern language and give one possible reason why he needed to explore "geometric features" of forms generated by the patterns.

Keywords: *Christopher Alexander, pattern language, mathematical structuralism, Hilbert's formalism*
クリストファー・アレグザンダー，パタン・ランゲージ，数学的構造主義，ヒルベルトの形式主義

1. 緒言

本研究では，アレグザンダーがパタン・ランゲージの理論をほぼ固める1969年の『パタンによって生成された住宅』[1]までの文献を対象とし，その理論の思想的起源を心理学と数学の中に求め，彼の初期理論の全体像を描くことを目的としている．そして，本論文では特にデザイン理論に関する論文を中心に検討し，数学からの影響に焦点を当てる．

前報[2]ではアレグザンダーによる認知心理学論文を中心に心理学からの影響を検討した．そこで明らかになったことは，心理学者ブルーナーとゲシュタルト心理学からの強い影響であった．ブルーナーの「表象の3つの発達過程」は彼のデザイン研究全体に指針を与え，ゲシュタルト心理学の「プレグナンツの法則」は彼が良い形を特徴づける構造の1つであるとする「サブ・シンメトリー」[3]の発見を促した．

アレグザンダーはこのような認知心理学における研究と平行してデザインに関する研究も行っている．ここで彼が示そうとしたことは，「サブ・シンメトリー」のような良い形を特徴づける構造をいかにして人工的に作り出すことができるか，ということであった．

周知のとおり，アレグザンダーはケンブリッジで数学の学位を取得した後に建築を学んだという経歴を持っている．従来までこのような経歴が彼のデザイン理論に与えた影響を語るとき，常に参照されることは構造主義との関係であった．例えば，1971年当時のデザイン理論を比較した論文[4]では言語学者チョムスキーと人類学者レヴィ＝ストロースと並べて論じられ，ハーバード・デザイン・マガジンでのパタン・ランゲージに関するレビュー[5]の中でも「アレグザンダーは『形の合成に関するノート』(1964)[6] (以下，『ノート』と略記) のときから構造主義者であった」と書かれている．また日本でも同様に，『隠喩としての建築』[7]では『都市はツリーではない』(1965)[8](以下，『ツリー』と略記) に関して「アレグザンダーの視点の新しさは，多くの点で構造主義と共通する」とされ，『クリストファー・アレグザンダー再考』[9]では『ノート』に関して「これは60年代の構造主義の方法を踏襲している」と述べられている．

もちろん，アレグザンダーが1967年に設立した法人の名が「環境構造センター (Center for Environmental Structure)」であることや，彼が『ノート』で用いた手法が集合の要素間の関係を「グラフ」と呼ばれる一種の数学的構造を用いて表現していることなどから，彼が構造主義の影響を強く受けていたことは明らかである．しかし，一方で『システムを生成するシステム』(1967)[10] (以下，『システム』と略記) において「生成システム」の概念を説明するときに用いた数学の例はヒルベルトの形式主義に基づいた形式論理のシステムであり，ブルバキの構造主義に基づいたものではない[注1]．ヒルベルトの形式主義では，対象を形式的に表現するだけにとどまらず，その対象に関する「証明

本稿は文献11と12をもとに加筆・修正したものである。

* 神戸大学人文学研究科　准教授・博士(工学)　Assoc. Prof., Graduate School of Humanities, Kobe University, Dr. Eng.

プロセス」をも数学的対象として扱えるように形式的に表現する[注2)]．このような形式システムはブルバキの構造主義より一段メタな体系であり，ブルバキを構成していた数学者達が少なくとも 1960 年代にはその重要性を認識することができなかったものである．

また，チョムスキーの生成文法の初期の形である「標準理論」からの影響も指摘されることが多い[13)]．実際，『システム』でも生成システムの 1 つの例として言語システムについて言及しており，この論文が書かれた時期 (1967 年) を考えれば，それはチョムスキーの生成文法を念頭に書かれていることが推察される．ただし，チョムスキーの理論はヤーコブソンやブルームフィールドなどの構造主義言語学とは一線を画しており，1957 年に出版された『文法の構造』[14)] の中で形式論理学を参照する形で言語研究における統語論と意味論の関係について議論していることからも，ブルバキが数学的な構造主義者だとされるのと同じ意味でチョムスキーの生成文法理論を構造主義的なものと見なすことはできないだろう．チョムスキーの理論は，数学の証明において統語論と意味論を区別したヒルベルトの形式主義に，少なくとも 1960 年代の「標準理論」の時代においては，より親和性が高いのである[注3)]．

つまり，アレグザンダーはヒルベルト流の形式主義における形式論理のシステムを参考にしてパタン・ランゲージを構築していたと考えられるのであるが，この点を指摘している研究はほとんど見られない．

そこで本論文では，ブルバキの数学的構造主義とヒルベルトの形式主義からの影響を軸として，パタン・ランゲージに至るアレグザンダーの初期理論の全体像を明らかにすることを試みる．具体的には，『システム』に挙げられている「システム」に関する 2 つの概念，「全体としてのシステム」[注4)]と「生成システム」が，それぞれブルバキの構造主義における「構造」とヒルベルトの形式主義における「形式システム」に対応し，特に後者に関しては，「生成プロセス」が形式システムにおける証明プロセスをモデルにして構築されていることを示す．さらに，アレグザンダーの初期理論の全体構成は，統語論と意味論の分離をその特徴として持つヒルベルトの形式主義の中に位置づけることが可能であり，「構造」はその枠組みの中で意味論を与える役割を担っていることを示す．最後に，このような形式主義のプログラムと対照させることによって明らかになるパタン・ランゲージの問題点を示し，アレグザンダーが後に「幾何学的特徴」の探求に向った要因について議論する．

2. アレグザンダーのデザイン理論の構築過程

1967 年に発表された『システム』は，アレグザンダーが『ノート』に代表される形式的な表現を用いたデザイン理論の限界を指摘し，自然言語を用いたパタン・ランゲージへと移行する時期の直前に執筆されており，これらの性格の異なる 2 つのデザイン理論を概念的に橋渡しする内容を持っている．その中でアレグザンダーは以下のように述べている[10, p.605)]:

(1) システムという語には 2 つの隠された概念がある:「全体としてのシステム」と「生成システム」である．

(2)「全体としてのシステム」とは，対象のことではなくものの見方のことである．それは部分間の相互作用の結果生み出される全体としての特性に焦点を当てるような見方である．

(3)「生成システム」とはある単一の物事ではない．それは組み合わせルール付きのパーツの集りのことである．

(4) ほとんど全ての「全体としてのシステム」は「生成システム」によって生成される．「全体」として機能するものを作りたければ，それを作り出す生成システムを考え出さなければならないだろう．

この「全体としてのシステム」のもつ構造的特性は，『建築の解体』[13)]でも指摘されているように，アレグザンダーが 1959 年から 63 年にかけてハーバード大学と MIT の合同で設立された都市問題研究センターに所属し，そこでの成果が博士論文『ノート』(1964) に結実するまでの彼の主な研究対象であった．

そして，ハーバード大学からカルフォルニア大学バークレイ校へと研究拠点を移行させる時期に『ツリー』(1965) を発表する．この論文は『ノート』で示されたような複雑で形式的な方法から自然言語を用いたパタン・ランゲージへの転換点に位置している．

その後，1963 年にカルフォルニア大学バークレイ校に移り，その 4 年後に環境構造センターを設立し「生成システム」の探求に向う．この時期の主な論文に『都市のルール・システムの構成』(1966)[15)]，『力の集合から形の生成へ』(1966)[16)]，『環境構造のアトム』(1966)[17)](以下，『アトム』と略記) などがある．この時期には，「全体としてのシステム」の探求の時期には欠けていた組み合わせルール，および，組み合わせるべきパーツの探求を行っており，これらによって「組み合わせルール付きのパーツの集り」，すなわち「生成システム」を定義している．そして，これらの準備のもとにパタン・ランゲージ (=「全体としてのシステム」+「生成システム」) を実装することになる．

3. 「全体としてのシステム」の構築

都市問題研究センターに所属した 1959 年から『ノート』を発表した 1964 年まで，アレグザンダーは「全体としてのシステム」のもつ構造的特性を主に探求した．この時期のアレグザンダーは，上述のとおり，構造主義の手法を基盤としてデザイン理論を展開している．

構造主義の祖とされるフランスの人類学者レヴィ = ストロースは，ソシュールに始まりヤーコブソンに受け継がれた言語学における方法論を人類学に導入した．彼は音韻論の研究プログラムを引用する形で，以下のような構造主義の 4 つの基本的な方法を示している[18)]:

(1) 意識的言語現象の研究からその無意識的な下部構造の研究へと移行する．

(2) 項を独立した実体として扱うのを拒絶し，項と項の関係を分析の基礎とする．

(3) 体系の概念を導入する．

(4) 一般的法則の発見を目的とする．

これらは全て，アレグザンダーの心理学的研究を含めた初期理論に共通する方法である．(1) は，前報で示した彼の認知心理学研究の特徴であり[注5)]，また，『ノート』などにおいてデザイン問題の深層構造を求める姿勢に対応する．(2) は『ノート』で，要求仕様そのものではなく要求条件間の依存関係を分析の基礎としたことや[注6)]，『アトム』において「環境構造のアトムは関係である」と述べ，環境構造のアトムは環境を構成する対象ではなく，それらが成す幾何学的な関係だとしたことに対応する．(3)，(4) に関しては，『ノート』に代表されるデザイン理論を構築する上で，ブルバキの数学的構造主義の手法を採用

したことが対応する．本論文の目的に従い，以下で後半部分について説明する．

集合上に構造を定め，その構造によって表現された概念を分析するスタイルは，前世紀の中頃からブルバキという数学者の集団が組織的に始めたことにより一般的なものとなった．この運動はその後数学のみならず，言語学，人類学，心理学など幅広い分野に影響を与えたことにより，ソシュール，ヤーコブソンらによる言語学と並んで構造主義の源流の１つとされるに至った．

ブルバキの構造主義の３つの柱は数学の統一性，公理的方法，および数学的構造である．この思想をひと言で要約すれば「数学とは集合論に立脚して，抽象的な構造によって公理的に段階づけられた統一のとれた構築物だ」[19] というものであった．そして，数学的構造主義を特徴付けている「構造」の概念について，ブルバキは以下のように述べている [20, p.38-39]：

> 数学的構造の語の下に統括される概念は，それぞれ集合の要素の性質が特に指定されていない場合にも適用できるという共通の特徴を持っている．１つの数学的構造を定義するためには，それらの要素を結び合わせるいくつかの関係を与えればよい．次に，この与えられた関係が，いくつかの条件を満足させることを仮定する．これが考えている構造の公理である．

つまり，与えられた集合に対して，その要素が実際何なのかということは無視して「要素間の関係」のみに注目し，それらが満たす条件を厳密に定めることができれば，その集合上に「構造」を定めることができるということである．

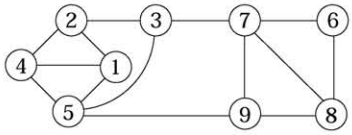


図１　不適合の依存関係のグラフ

『ノート』や HIDECS 2[21], 3[22] でアレグザンダーは，デザインのコンテクストと不適合を起こしている要求事項 (以下，「不適合」と略記) を集合の要素とし，その要素間の依存関係を「グラフ」という抽象的な構造を用いて表現した．HIDECS 2 で示された例では，９つの不適合間の依存関係を調べ図１を作成している．図の中の頂点がそれぞれの不適合を表しており，その間の辺は頂点が表す不適合間に依存関係があることを示している．このようなグラフが一旦得られたら，その頂点が表す不適合が実際何なのかということは無視してその構造を分析することが可能となる．具体的には，このようなグラフを比較的独立した部分グラフに分割するアルゴリズムを実行することにより，与えられたデザイン問題を構成する不適合間の依存関係をツリー構造[注 7] へと分解することによって，そのデザイン問題の深層にあるパタンを見つけ出すのである．この分割をより厳密に行うため，アレグザンダーは情報理論的相関関係分析 (Information-Theoretical Correlation Analysis, ITCA)[23] という手法を用い，部分グラフ間に交される情報量が最小となるところで分割を行うアルゴリズムを考案した．

このようにして得られた部分グラフをアラグザンダーは「ダイアグラム」と呼んだ．そして，得られたダイアグラムに記述された不適合を解消する形を，その分解の仕方を逆に遡って結合すれば，与えられたデザイン問題に適合した形を作り出すことができると主張した (図 2)．複雑に絡み合ったデザイン問題を，デカルトの考えに従って「問題をよりよく解決するために困難を分割する」[20] ことによって，誰にでも解決できる比較的簡単な問題に変換したのである．これは，一般に分析と統合，もしくは分解と結合のプロセスと呼ばれるもので，ブルバキが『数学の建築術 (The Architecture of Mathematics)』[20, p.35] の中で述べている公理主義の考え，

図２　分析と統合のプロセス

> ある理論における論証の中に出てくる推論の主要な動機を分解し，次いで，それらの１つ１つを個別に取り上げ抽象的原則によって配列し，そこから固有の結論を展開する．そして最後に，問題の理論に立ち戻り，前に引き出しておいた成分を再び結合し，それらがお互いにどのように作用し合っているかを調べる．

に合致するものである．

4.　『ツリー』における転換期

『ノート』に代表される手法には，『クリストファー・アレグザンダー再考』でも指摘されているように明らかな限界がある．一般に，ダイアグラムが得られても，そのダイアグラムが表現する不適合を解消する形が見つかるとは限らない．アレグザンダーはこのことについて『ノート』で「要求だけ，形だけを表しているダイアグラムは，要求を形に変えていくときに効力がなく，形の追求にとっては何ら建設的な役割を果たさない」と述べる．そして，この要求と形の両方の側面が含まれているダイアグラムを「建設的ダイアグラム」と呼んだ．

さらに，彼は『ツリー』でこれとは別の問題を指摘する．よく知られているように，人工的に計画された都市は「ツリー構造」を持つものとして計画されているが，彼が学んだ大学都市ケンブリッジのように自然に成立してきた都市は「ツリー構造」ではなく，彼が言う「セミ・ラティス構造」[注 8] を持っていると主張するのである．そして，「ツリー構造」を持つ都市というものは現実には存在していないため，近代以降の都市計画のアイデアはまったく現実を反映していないと批判する．

この批判は，『ノート』における自らの手法にもそのまま当てはまる．『ノート』での手法は，ブルバキの構造主義と同様，分解と結合を基盤として組み立てられたものであり，この分解と結合の結果得られる「形」の構造は必然的に「ツリー構造」を成す．したがって，『ノート』で提案された手法に基づいてデザインされた都市の形は，我々が住む現実をまったく反映しない都市となってしまう．

我々が住んでいる都市は「セミ・ラティス構造」を持っていなければならないとアレグザンダーは考えていた．それでは，「セミ・ラティス構造」を持つ都市をいかにして人工的に生成すれば良いのだろうか．ブルバキの構造主義的な手法に欠けていたものはなにか．それは，我々が形を生成するときに用いるルールとしての「建設的ダイアグラム」の体系，すなわち，要求に対して形を生成するルール・システムである．このようなルール・システムが得られれば，ルールに従って不適合を解消する形が求められ，さらには，それらのルールの

連続的な適用によって徐々に都市の形を生成していくことで「セミ・ラティス構造」を持つ都市を生成することができるとアレグザンダーは考えたのである．『都市のルール・システムの構成』の冒頭で，アレグザンダーは以下のように述べている．

どのようにしたら物理的環境全体の設計図を作り出すことができるのだろうか．

私の考えは以下のようなものである:

環境の空間構造は急ごしらえのデザインによってではなく，絶え間ない成長と変化によってもたらされている．今日の空間構造は過去の変化と更新，およびその集積の結果である．明日の空間構造は今日の変化と更新，およびその集積の結果である．

このような変化は決してランダムなものではなく，法律や人の持つ傾向，暗黙の習慣などのルール・システムによって常にコントロールされている．今この時でも，我々の地域の空間構造はこのようなルールによって形成されているのである．

現在のルール・システムが作り出している環境は全く不適当なものである．だから，このようなルール・システムは変えなければならない．

そして，物理的環境全体を効果的に運用する設計図を実現するためには，以下のことを認めなければならないと主張する:

(1) その設計図はルール・システムでなければならない．
(2) ルール・システムは一挙に作り出すことはできない．つまり，進化していかなければならない．
(3) ルール・システムがうまく進化していけるためには，システムは適切な内部構成を備えていなければならない．
(4) システムにそのような内部構成を与えるために，ルールをまとめて調整する機関を設立しなければならない．

こうして，設立されたのが「環境構造センター」であり，このようなルール・スシテム — パタン・ランゲージ — の内部構成を実装するにあたって参考にしたのがヒルベルトの形式システムであった．

5. 「生成システム」としての形式システム

上述のように，『システム』の中でアレグザンダーは生成システムを「組み合わせルール付きのパーツの集り」と述べ，「数学の形式システム」，「言語システム」，「遺伝システム」，「建築物のシステム[注 9)]」などをこのような生成システムの例として挙げている．この例の中で最も単純であり，かつ明確に定義されているものが数学の形式システムである．生成システムの概念を説明する中で，アレグザンダーは形式システムについて以下のように説明している．

生成スシテムの概念は一般化できる．このようなシステムは通常一組のパーツ (または，要素) から構成されており，それらを組み合わせるルールによって条件に合った「もの」を形成する．数学の形式システムはこの意味におけるシステムである．パーツは数や変数，$+, =$ のような記号である[注 10)]．この形式システムのルールは，(形式的) 表現を作り出すためのパーツの組み合わせ方[注 11)]や，ある表現から他の表現を作る方法[注 12)]，またこれらの表現から正しい文を作り出す方法[注 13)]，そして，ある正しい文から他の正しい文を形成する方法を指定する[注 14)]．このようなシステムにより生成されたパーツの組み合わせは真なる文であり，したがって，それは数学上の定理である[注 15)]．ルールに従わずに形成されたパーツの組み合わせは無意味[注 16)]か，もしくは偽[注 17)]である [10, p.609)]．

注に示したとおり，これらの記述は形式論理学における形式システムのほぼすべての側面をコンパクトにまとめており，数学者でもあったアレグザンダーが非常に正確な論理学の知識を持っていたことがうかがえる．

数理論理学の標準的な教科書 [24)] に従って上の形式システムの説明を整理すると以下のようになる．

形式システムを定義する場合，まずその「言語」を定めることから始める．その言語を抽象的かつ厳密に定めるため，一般には人工言語を作成する．この言語を定義するには，まず用いる「記号」を定義し，その記号の有限列として「表現」を定める．そして，そのような表現のうち，ある決った仕方で作られたものを「論理式 (整式)」と呼ぶ．このような論理式のうち，論理定項や量化子を含まないものを「原子式 (アトム)」と呼ぶ．以上で，言語は完全に定義される．

言語が定まれば，次は公理を定める．公理に求められることは，その言語の論理式であることだけである．

最後に「推論ルール」を定める．それぞれの推論ルールは，ある条件下においてある論理式 (前提) から別の論理式 (結論) を導いていも良いことを表している．そして，推論ルールによって結びつけられた有限個の論理式の列が公理からある論理式まで存在する場合，その論理式を「定理」と呼び，その有限個の論理式の列を「証明」という．

このように，言語，公理，推論ルールが定義されたとき，その形式システムは完全に特定されたことになる．以下の章では，このような形式システムの構成に従って，アレグザンダーの初期理論の全体的構成を明らかにする．

6. アレグザンダーの初期デザイン理論における意味論と統語論

ヒルベルト以降の形式論理学の 1 つの特徴は，統語論と意味論の区別である [25)]．上で説明した形式システムは形式論理学における公理系の統語的な部分である．意味論は，形式的言語の文 (整式) が真となる条件を定義することによって与えられる．前述のとおり，統語論と意味論は『システム』における「生成システム」と「全体としてのシステム」にそれぞれ対応している．

6.1. 意味論: 「全体としてのシステム」

形式システムに現れる論理式は，それだけでは意味のない記号の列にすぎない．論理式を構成している表現がそれぞれ何を意味しているかについての具体的な解釈が明らかになったとき，はじめてその論理式の意味 — 真偽 — を問うことができる．

通常，意味論の定義は一般に以下の 2 つの段階で構成される:

(1) 論理式を解釈するコンテクストの数学的な構成を定義する．この構成は通常，集合上に定義された「構造」として表現される．
(2) この構成の中で，論理式が真となる条件を定義された構造上への解釈関数を定義するなどして与える．この条件を「真理条件」と呼ぶ．

ここで，ある論理式がある構造 (コンテクスト) において真であるとき，その構造をその論理式の「モデル」であると言う．

アレグザンダーの初期理論では，「全体としてのシステム」の時期

の構造の概念が意味論の枠組みを与える．アレグザンダーは『理論と形の創造』[26] の中で以下のようにデザイン問題を定義している[注 18]

> デザインの最終的な目的は形である．
>
> 全てのデザイン問題は，求める形とそのコンテクストという 2 つの実在の間に適合をもたらそうとする努力から始まる [26, p.178]．

続いて，この定義に現れる「形」,「コンテクスト」および「適合」はそれぞれ以下のように説明される:

> 形とは，我々が具体化させることとなった世界の一部分のことである．一方，その他の部分はそのままに残される．コンテクストとは，この世界の中で形に対して要求を提示してくる部分である．つまり，形に対して要求を提示してくるものすべてはその形のコンテクストとなる．言い換えれば，形とはデザイン問題に対する解であり，コンテクストとはその問題を規定するものである．適合性とは，形とコンテクストが互いに条件を満しているか，という関係のことである [26, p.179]．

これらが数学における形式論理を参照しつつ語られているとすれば，「形」とは論理式などの形式的表現のことであり，「コンテクスト」はその形式的表現に解釈を与える集合上の構造であり，「適合性」とは，ある論理式が与えられた集合上の構造において真と解釈されるような論理式と構造の関係，すなわち真理値として捉えることができる[注 19]．

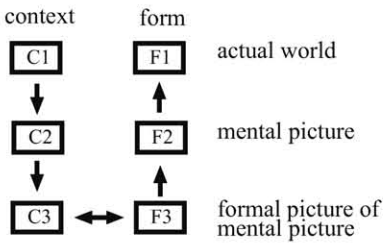


図 3　コンテクストと形

『ノート』の中で示される「デザイン・プロセスの 3 つの図式」(図 3) では，“actual world” の図式は現実世界の中でコンテクスト C1 と形 F1 が直接相互作用する状況を表しており，C2 と F2 はデザイナーが持つそれらの心的イメージを表している．そして，“formal picture of mental picture” とは，上の心的イメージを数学的な表現である集合を用いて形式的に表現したものとされている．この中で意味論が問われるのは “formal picture of mental picture” の図式においてである．ここで，C3 と F3 が「適合」していることとは，F3 (形) が C3 (コンテクスト) において「真」であることであり，そして，「形とはデザイン問題に対する解であり，コンテクストはその問題を規定する」とは意味論の枠組みの中で「形式的表現 (論理式) は，ある真理条件に対して真となり，構造はその真理条件を規定する」と自然に解釈できる．

6.2.　統語論:「生成システム」

形式論理システム[注 20]には公理を中心としたヒルベルト流の演繹システムと推論ルールを中心としたゲンツェンの自然演繹 (NK) を両極として様々なものがある．ここでは，公理に対応するものを持たず多くのルールを持つパタン・ランゲージを分析することを目的としているため，形式論理システムの例として自然演繹のシステムを用いて分析を行うこととする．

記号と表現:　言語を定める上で，パタン・ランゲージは記号を特に指定しておらず，記述は主に自然言語によって行われる．

論理式:　まず，「環境構造のアトム」の定義を見る．

> 環境構造のアトムは関係である．関係とは幾何学的なパタンである．関係は，建物のなかでそれが機能的に正しい，または誤っているとされるもののうち，最もシンプルな幾何学的なパタンである [27, p.2]．

述語論理では，P_i^n $(i = 0, 1, 2, \ldots; n = 1, 2, \ldots)$ が述語記号，$(t_1, \ldots, t_n)$ が項であるとき，$P(t_1, \ldots, t_n)$ は論理式であり，この論理式のことを特に原子論理式 (atomic formula) と呼ぶ．さらに，この論理式に自由変数が含まれない場合に真か偽かを問うことができる．

ここで，アレグザンダーが「真偽を問える関係」としているものは $n = 2$ の場合，すなわち二項述語のことだと考えられる．『アトム』[27, p.6] では，これらの関係は以下のような空間を構成する対象の幾何学的関係とされている．

(1) `Near(check_out_counter, exit_door)`

(2) `Insideof(stack_of_baskets, entrance)`

(3) `DirectlyInFrontOf(stack_of_baskets, entrance)`

これらの関係は，その中に現れている `check_out_counter` のような変数が，空間内の具体的な対象として解釈されたときに真偽を問うことができる．

公理:　パタン・ランゲージに公理はない[注 21]．自然演繹にも公理はなく，一般に証明は仮定から始まり，その仮定を「落とす」ことによって証明が進む．そして，論理式を推論ルールに従ってツリー状に重ねていき，その結果現れるツリー状の図の一番下にある論理式がすべての仮定から独立である — つまり，すべての仮定が落ちている — ときに，この論理式は証明を持ち，この図をこの論理式の証明図という．例えば，

$$\dfrac{\dfrac{\dfrac{\dfrac{[\phi \wedge \psi]^1}{\psi}\wedge\mathrm{E} \qquad \dfrac{\dfrac{[\phi \wedge \psi]^1}{\phi}\wedge\mathrm{E} \qquad [\phi \to (\psi \to \delta)]^2}{\psi \to \delta}\to\mathrm{E}}{\delta}\to\mathrm{E}}{\phi \wedge \psi \to \delta}\to\mathrm{I}_1}{(\phi \to (\psi \to \delta)) \to (\phi \wedge \psi \to \delta)}\to\mathrm{I}_2$$

という証明は，$\phi \wedge \psi$ と $\phi \to (\psi \to \delta)$ という仮定[注 22]から始まり，$(\phi \to (\psi \to \delta)) \to (\phi \wedge \psi \to \delta)$ に至る間にそれらの仮定が $\to \mathrm{I}_1$ と $\to \mathrm{I}_2$ において落ちていることから，この図全体は $(\phi \to (\psi \to \delta)) \to (\phi \wedge \psi \to \delta)$ の証明図となる．このような自然演繹のアナロジーを用いれば，パタン・ランゲージに公理は必要なく，ただ，それらの仮定が落ちていれば，すなわち，パタンに表現されている問題がすべて解消されていれば良いと考えられる．

推論ルール:『力の集合から形の生成へ』[16] では，ルール・システムを構成するルールを「フォース (force)」という考えを用いて説明し，このようなフォースの分かりやすい例として砂漠や砂丘などに見られる風紋 (図 4) を挙げている．風紋は不適合 (例えば，砂上の段差) が砂や風の持つフォースによって解消され，それらが平衡に達した — すなわち風紋 (形) とそのコンテクストが適合した — 安定した構造であるとされる．

このようなフォースを定義するためには，

(1) フォースが発生する状況

(2) フォースが求めている状態

を明確に定義しなければならない [16, p.96]．そして，このフォースが形 (幾何学的関係) を生成する．

図4　風紋[16]

『アトム』[17, p.15] では，フォースが発生する状況を「コンフリクト」とし，フォースが求めている状態を「幾何学的関係」として，それらを導くプロセスを以下のようにまとめている．

今まで述べてきたプロセスには，以下の2つのステップがある:

(1) コンフリクトを特定する

(2) そのコンフリクトから関係を導く

この関係を得るためのプロセスはステップ (1), (2) が検証可能な仮説に基づいているという意味において客観的なものである．それらの2つの仮説とは: 1. ある特定の状態において複数の傾向 (フォース) の間にかくかくしかじかのコンフリクトが起きる．2. これらの状態においては，そのコンフリクトを回避するために R という関係が存在することが必要十分である．

そして，『マルチ・サービスセンターを生成するパタン・ランゲージ』[28, p.15] の中で，上のような関係を導くルールを「パタン」と呼び，そのパタンの記述は IF- 部と THEN- 部という2つの部分に分けられ，

IF: X　THEN: Z　/　PROBLEM: Y

というような形をしているとされる．ここで，X は条件の集合，Y は X の条件が満されたとき必ず現れる問題，Z は Y の問題を解消するために必要な幾何学的関係 R をそれぞれ表している．

一方，自然演繹にも多くの推論ルールがある．例えば「∧– 導入」と呼ばれるルールは以下のように表現される．

$$\frac{\boldsymbol{P}, \boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{P} \wedge \boldsymbol{Q}}\ (\wedge\text{–導入})$$

これは，ある論理式 $\boldsymbol{P}, \boldsymbol{Q}$ が同時に与えられた場合，新たな論理式 $\boldsymbol{P} \wedge \boldsymbol{Q}$ を導いても良いというルールである[注 23]．

ここで，「パタン」を自然演繹の推論ルールに倣って記述すると

$$\frac{\mathrm{X}}{\mathrm{Z}}\ (\mathrm{Y})$$

となる．もう少し分りやすく書くと

$$\frac{\text{コフリクト}}{\text{幾何学的関係}}\ (\text{フォース})$$

となる．さらに『パタンによって生成された住宅』[1, p.53] の用語に従えば，これは

$$\frac{\text{コンテクスト}}{\text{デザイン解}}\ (\text{問題})$$

と表される．

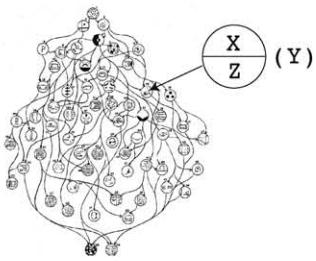
証明プロセスとしての結合プロセス: 『パタンによって生成された住宅』[1, p.38] では，これらのパタンの結合プロセスについて以下のように説明している．

図5　64個のパタンのカスケード[29]

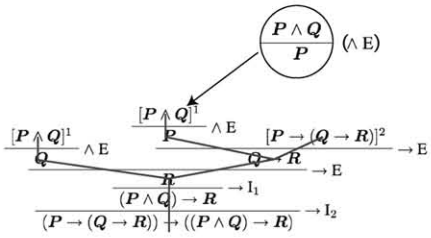
結合プロセスは木の葉が形成されるプロセスと似ている．すべての葉は同じ形態形成のルール群によって定義されている．個々の葉はこれらのルールと局所的な条件の相互作用によって形成される．(中略) パタンの結合プロセスも同じである．

すべての住宅は，基準となる家の形式に基づいた同じルールの列によって形成される．

さらに，このような結合プロセスはほとんど機械的なものであるため，訓練されたドラフトマンなら誰でも実行できるとされている．



(a) カスケードの中のパタン



(b) 証明図の中の推論ルール

図6　パタンのカスケード (パタン・ランゲージ) と証明図

また，『マルチ・サービスセンターを生成するパタン・ランゲージ』[28, p.17] では，

パタン・ランゲージとは，パタンがいかにして組み合わされるかを示したシステムであり，デザイナーに対してある全体性を形成する助けとなるものである．ドローイング (図5) のカスケード (階段状に連続した列) は，マルチ・サービスセンターのためのパタン・ランゲージにおける64個のパタンの初歩的な図である．

としている．さらに，これらのパタンの適用例を示す中で

それぞれの例では，その (適用の) ステップが $(A, B, C, D, \ldots)$ のように連続的に示される．それぞれのステップでは，新たなパタンがデザインに導入される．

と記している[28, p.19]．そして，カスケードの上部にあるパタンから始まり，カスケードの最下部にあるパタンを適用して (方法論的には) 形の生成は終わる．これらは，自然演繹において推論ルールをある一定のシーケンスに従って適用し，その証明図の最下端にあるルールを適用することで証明すべき論理式を生成することによって終わるような証明プロセスに対応する[注 24]．このことは，図 5 の 1 つのパタンを推論ルールととらえた上で (図 6(a)) 自然演繹の証明図と比較した場合，その対応は明らかであろう．アレグザンダーはパタン・ランゲージの構成が固まった後のインタビュー[30] の中で以下のように述べている．

> ご存じのように，私は長い間数学を学びました．そこで学んだことは，もし何かを厳密に規定したいのであれば，誤っていないと確信が持てる唯一の方法は，規定したいものを構成するための明確に定義された誰でも実行できる step by step のプロセスを定めることです．

この「規定したいものを構成するための」「step by step のプロセス」は，数学における証明プロセスを指している．このことは『ノート』のエピローグの最後の部分でもすでに示唆されているように思われる．

> いうまでもなく数学の姿は抽象的であり，建築の姿は具体的で人間的なものである．しかし，その違いは本質的なものではない．それがどんな種類のものであれ，その外見の決定的な質はその構成のなかにあるのであり，その構成に注目したとき我々はそれを形と呼ぶのである．数学的な形に対する感覚は，その形に対する証明プロセスの感覚からのみ発達する．建築的な形の感覚も，形のデザイン・プロセスについてそれと同程度習得していなければ，数学的な形への感覚と比較し得る地点には到達できないと私は信ずる．

ここに述べられているように，確かに数学的な形式システムはアレグザンダーのルール・システムとは異るものである．例えば，アレグザンダーのルール・システムはネットワーク状に構成されているが，形式システムにおける証明は原則としてツリー状となる．また，生成される論理式の内部構成もツリー構造をしている．しかし，アレグザンダーは形式システムに「セミ・ラティス構造」を生成する仕組みを求めたのではなく，彼が最も良く知っている分野 (数学) から，「明確に定義された誰でも実行できる step by step のプロセス」の構成の仕方の典型例を学んだのであり，これらの違いは生成プロセスに関する限り本質的なことではないと考えていたのではないだろうか．

6.3. 初期理論の全体構成

ここまで説明した形式システムとアレグザンダーの初期理論の全体構成の対応をまとめる．

形式システムでは:

(1) 形式システムとそのモデルが与えられる
(2) 形式システムには複数の推論ルールが与えられている
(3) 以下を定義することにより個々の推論ルールは定義されている
　(a) 推論ルールの上の論理式のスキーマ
　(b) 推論ルールの下の論理式のスキーマ
(4) 個々の推論ルールを順次適用し定理を形成する
(5) その結果得られた定理は，与えられたモデルに対して常に真である

このような形式システムにおける意味論と統語論の全体構成を図 7 に示す．

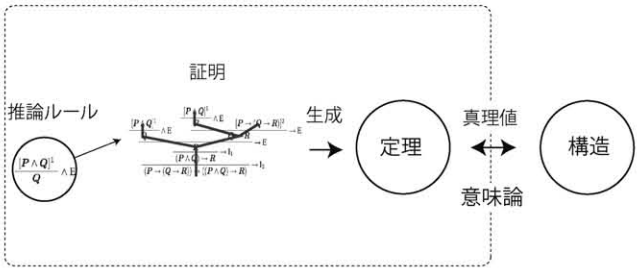


図 7　自然演繹における統語論と意味論の図式

一方，パタン・ランゲージでは:

(1) まず，パタン・ランゲージとコンテクストが与えられる
(2) そのコンテクストには複数のフォースが働いている
(3) 以下を定義することにより個々のフォースは定義されている
　(a) フォースが発生する状況
　(b) フォースが求めている状態
(4) 個々のフォースを組み合わせ形を生成する
(5) その結果得られた形は，与えられたコンテクストに適合している

図 7 にならい，アレグザンダーの初期理論における意味論と統語論を図 8 に示す．

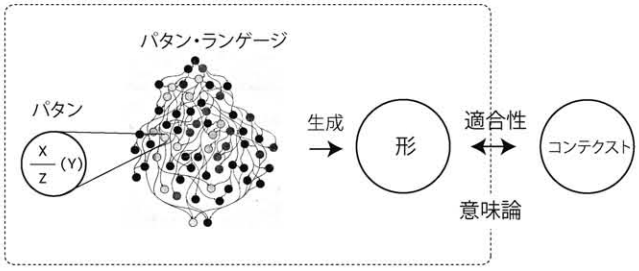


図 8　パタン・ランゲージにおける統語論と意味論の図式

7. パタン・ランゲージの「健全性」

ところで，HIDECS 2 から『パタンによって生成された住宅』に至るまで，アレグザンダーの初期理論では生成された形の適合性を定める「評価」の段階が明示されておらず，したがって，結合プロセスにより得られた形がコンテクストに適合しているかどうかを方法論的に判定する手段は示されていない．このことから，命題論理や述語論理のような健全な形式システムでは，証明を持つ論理式はどのようなモデルに対しても必ず真となるように，パタン・ランゲージにもある種の「健全性」が仮定されており，パタン・ランゲージの指定する結合プロセスを経たものは必ず与えられたコンテクストに適合することをアレグザンダーが暗に仮定していたことが推測される．しかし，実際にはその「健全性」は保証されないであろう．

形式システムの推論ルールを定めるとき必ず満たさなければならない条件は，この形式システム全体の健全性，すなわち形式システムが矛盾した 2 つの論理式を生成することはない，ということである．1 つのパタンについては『アトム』で主張したように，「コンフリクトを特定」し「コンフリクトを解消する幾何学的関係」を客観的な検証に基づいて導くことにより，その妥当性はある程度保証されるのかも知れない．しかし，2 つのパタンが生成する 2 つの幾何学的関係を合成

した場合，それらが互いに整合的であることを保証する客観的な基準はパタン・ランゲージの中には示されていない．

アレグザンダーは，そのルール・システムを継続的に「進化」させていくことによって，パタン・ランゲージの「健全性」を確立させようとしていたのであろう．しかし，デザイナー達はある時点において彼らが手にしているパタン・ランゲージによってデザインを行うのであり，そのとき，そのルール・システム自体の健全性を検証する仕組みが方法論的に用意されていなければ，デザインの過程において彼らがコンテクストに適合した形へと向っているのかを判断しながら進むことはできない．

つまり，パタン・ランゲージにも他のデザイン方法論と同様，パタンによって生成され合成された形がコンテクストに適合しているかを判定する評価・検証の手段をその内部に組み込んでおく必要があったのである．実際，アレグザンダーは『パタン・ランゲージ』[31] を出版したあとにこのような限界を認識し，『クリストファー・アレグザンダー』[32, p.182] の中で以下のように述べている．「その時までは，パタンを正しく使い，それに従って建物をレイアウトしさえすれば，通常の方法によって問題なくできあがるものと思っていました．しかし，それだけでは不十分だったのです．」そして，その後アレグザンダーは「幾何学的特性」の探求へと向うこととなる．同じ文献のなかで，彼はこう述べている．

> 真に生命力あふれるものをつくろうとするなら，根底まで追求して幾何学的特性にも変化を及ぼさざるをえません．生命力が注入されると必ず変化する幾何学的特性は，リトマス試験紙のようなもので，中に入り込む生命によって変るものです [32, p.185]．

この「幾何学的特性」による「試験」は，パタン・ランゲージに欠けていた評価・検証の手段を提供するものなのである．

8. まとめ

本論文では，ブルバキの数学的構造主義とヒルベルトの形式主義からの影響を中心にアレグザンダーの初期理論の全体像を検討した．

ここで明らかになったことは，『システム』に挙げられている 2 つの概念，「全体としてのシステム」と「生成システム」が，それぞれブルバキの構造主義における「構造」とヒルベルトの形式主義における「形式システム」に対応すること，そして，「生成プロセス」が形式システムにおける証明プロセスをモデルにして構築されていることである．そして，このような対応に基づいてアレグザンダーの初期理論をヒルベルトの形式主義における統語論と意味論の対応関係のなかに位置付けることでパタン・ランゲージの理論構成の全体像を示した．

一般には，上述した『ツリー』の中での記述や『ノート』のペーパーバック版 (1971) の序論の「独立したダイアグラムを得るためにあのように複雑で形式的な方法を用いることはまったく不必要だ」という記述などから，『ツリー』以降，アレグザンダーが形式的な方法全般に対して批判的となったと捉えられる場合が多い．しかし，『ノート』以降の理論をメタな視点で検討してみると，そこには数学者としての訓練を受けた者に染み付いている考え方の型が，その理論の中に消え難く残されているように思われる．その代表的なものが，20 世紀数学を象徴する 2 つのプログラム，ブルバキの構造主義とヒルベルトの形式主義だったのである．

今後に残された課題は，心理学と数学からの影響を検討したことで明かになった思想的起源をもとに，パタン・ランゲージ以降のアレグザンダーのデザイン理論，特に “The Nature of Order” を読み解くことである．

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 19560618 の研究助成を受けた．記して謝意を表する．

注

注 1) ブルバキ自身が述べているように [20]，ブルバキの公理主義，すなわち構造主義とヒルベルトの形式主義は異なるものである．ブルバキはこのような形式主義を軽視し [33]，ヒルベルト以降の数学基礎論の成果を詳しく調べることなく『集合論』[34] の形式論理の章を書いた．それは「彼等は自前の論理体系を記述しているが，それはとても使える代物ではない」[19] と批判されている．

注 2) このように証明を形式化したからこそ，形式システムの完全性や不完全性を議論できるようになったのである．

注 3) 生成文法の構築にオートマトン理論が与えた影響も良く指摘される．これについても，オートマトン理論の創始者の一人であるアラン・チューリングが作ったチューリングマシンの概念がヒルベルトの決定問題を定式化するために導入されたことが示すように，オートマトン理論自体がヒルベルトの形式主義の議論の枠内で現われた理論と見ることができる．

注 4)“system as a whole” の訳語を「包括システム」とするのが『建築の解体』[13] 以来の慣例となっているが，アレグザンダーも指摘するようにこの語はなんらかの物理的対象ではなく，「全体としてとらえる」というような見方・姿勢を強調した表現であるため，ここではこれを「全体としてのシステム」と表記することとした．

注 5) アレグザンダーと同様，レヴィ＝ストロースもゲシュタルト心理学から大きな影響を受けている [35]．

注 6) ここで，アレグザンダーが対立し合う要求事項間 (不適合) が形づくる体系を求めようとしたことも注目に値する．レヴィ＝ストロースはヤーコブソンの著作 [36] の序文で「音素の実在は，その音的個性のうちにあるのではなく，音素が互いに結ぶ対立的，消極的関連のうちにあるのと同様，婚姻規則の表意作用は，諸規則をばらばらに研究してもとらえられず，それらを互いに対立させないかぎり浮びあがってこない」と述べている．

注 7) ツリー (tree) とは，どの 2 つの頂点の間にもたどれる道筋があり，しかも，その中にループが存在しないようなグラフのことである．

注 8) よく指摘される [37] ように彼の「セミ・ラティス」の定義は束 (ラティス) 論における「セミ・ラティス」の定義とは異っている．アレグザンダーが『ツリー』で与えた「セミ・ラティス」の定義は形式的には以下のようなものであった．

「集合 S の部分集合から成るある集合を X とする (つまり $X \subseteq \mathcal{P}(S)$)．このとき，$X$ の任意の要素 A, B について，$A \cap B \neq \emptyset$ ならば $A \cap B \in X$ であるとき，X は S においてセミ・ラティス構造を持つという．」

ただ，この定義はアレグザンダーの意図していたものではないだろう．何故なら，ここで $A \cap B \neq \emptyset$ となるような要素，すなわち共通部分を持つような A, B が X に存在しない場合でも X は「セミ・ラティス構造」を持つことになってしまうからである．恐らく，アレグザンダーが意図した定義は「集合 S の部分集合から成るある集合を X とする．このとき X のある 2 つの要素 A, B について，$A \cap B \neq \emptyset$ かつ $A \cap B \in X$ となるものが存在するとき，X は S においてセミ・ラティス構造を持つという」というものだろう．(こう解釈しても，これは束論の「セミ・ラティス」の定義とは異ることに変りはない．)

一方「ツリー構造」の定義は以下のようなものである．

「集合 S の部分集合から成るある集合 X の任意の要素 A, B について，$A \subseteq B$ または $B \subseteq A$ または $A \cap B = \emptyset$ のいずれかが 1 つ，またはそれ以上成り立つとき，X は S においてツリー構造を持つという．」

この定義も『ノート』で用いたグラフ理論における「ツリー」とは異なるものである．

ただし，これらの定義はこの論文内においてアレグザンダーの意図していることを十分伝えており，その限りにおいてグラフ理論や束論における定義と異ること，および上のような定義の読み替えが必要なことなども含めて— 紛らわしいのではあるが— 特に大きな問題とはならないだろう．

注 9) 柱，梁，パネル，窓，ドア等をあるルールに従って組み合わせるシステムのこと．

注 10) 記号の定義．

注 11) 項 (term) の定義．

注 12) 論理式を定義する上での帰納的な定義．

注 13) 公理の定義．

注 14) 推論ルールの定義．

注 15) 証明に関する定義．

注 16) 論理式の定義に従っていない場合．

注 17) 推論ルールに従っていない場合．

注 18) この論文は『ノート』の出版後，その内容を要約したものである．表現が簡潔であるため，この文献から引用する．

注 19)「デザインの問題は最適化の問題ではない．(中略) それは厳密に二値的な状況といえる」[6, p.99] とあることから，アレグザンダーはこの「互いに条件を満しているかどうか」は，真か偽のいずれかであると考えていた．

注 20) 特に明示しない場合は述語論理とする．

注 21)『システム』[10, p.610] には "axiom" という語が現れ，それは「全ての「全体としてのシステム」は「生成システム」によって生成される」ということを指しているが，これは彼のシステム観における公理であって，パタン・ランゲージにおける公理ではない．

注 22) [] で囲まれている論理式は，それが仮定であることを表している．

注 23) ここで，論理定項 "∧" はこのルールが適用される以前には現れていなかった．このことから，このルールは「∧–導入」と呼ばれるのである．

注 24) ただし，引用した部分のそのすぐ後に以下のような注意書きがある:

「一点について特に強調しておかなければならない．ここではこれらのデザインの進展を逐次的 (step-wise) かつ連続的 (sequential) な形で示しているが，それは説明の都合によるものである．パタン・ランゲージによって生成されるデザイン・プロセスそれ自体が，最も一般的な場合を除き，連続的なものだということを示唆しているのではない．」

論理学の場合も同様に，教科書の中で証明は連続的に説明されるが，数学者は実際に連続的に証明しているわけでも，証明図に従って証明しているわけでもない．ただし，「自然」演繹はある程度数学者の自然な推論プロセスを反映していると考えられている．

参考文献

1) Alexander, C.: Houses Generated by Patterns, Center for Environmental Structure, 1969.
2) 長坂一郎：クリストファー・アレグザンダーの認知心理学論文の検討–クリストファー・アレグザンダーの初期理論における思想的背景 (その 1), 日本建築学会計画系論文集，第 75 巻，第 647 号，pp.235～243，2010.
3) Alexander, C. and Carey, S.: Subsymmetries, *Percept Psychophys*, Vol. 4, No. 2, pp. 73～77, 1968.
4) Milne, G.: A Comparison of Paradigms in Research, Design and Education, *Journal of Architectural Education*, Vol. 25, No. 1, pp. 8～15, 1971.
5) Saunders, W.: A Pattern Language, *Harvard Design Magazine*, No. 16, pp. 74～78, 2002.
6) Alexander, C.: Notes on the Synthesis of Form, Harvard University Press, 1964. (『形の合成に関するノート』稲葉武司訳, 鹿島出版会, 1978).
7) 柄谷行人：隠喩としての建築，講談社，1989.
8) Alexander, C.: A City is Not a Tree, *Architectural Forum*, Vol. 122, pp. 58～62, 1965.
9) 難波和彦：クリストファー・アレグザンダー再考， 10 + 1, No.47, pp.213～222，INAX 出版，2007.
10) Alexander, C.: Systems Generating Systems, *ARCHITECTURAL DESIGN*, 1967.
11) 長坂一郎：クリストファー・アレグザンダーの理論と数学における形式と構成，日本建築学会大会学術講演梗概集 F-2 分冊，pp.391～392，2008.
12) Nagasaka, I.: Syntax and Semantics of Pattern Language, in IASDR 2009 conference, pp. 547～556, 2009.
13) 磯崎新：建築の解体，美術出版社，1975.
14) Chomsky, N.: Syntactic Structures, The Hague: Mouton, 1957. (『文法の構造』勇康雄訳，研究社出版，1963).
15) Alexander, C.: The Coordination of the Urban Rule System, 1966.
16) Alexander, C.: From a Set of Forces to a Form, *The Man-Made Object, ed. Gyorgy Kepes*, Vol. 4, pp. 96～107, 1966.
17) Alexander, C. and Poyner, B.: The Atoms of Environmental Structure,Technical report, Center for Planning and Development Research, University of California, Berkeley, pp. 1～18, 1966.
18) レヴィ・ストロース：言語学と人類学における構造分析，構造人類学，荒川幾男他訳, みすず書房，1972.
19) モーリス・マシャル：ブルバキ: 数学者達の秘密結社，高橋礼司訳，シュプリンガー・ジャパン株式会社，2002.
20) ニコラ・ブルバキ：数学の建築術，数学思想の流れ 1，pp.31～48，村田全監訳，東京図書，1974.
21) Alexander, C.: Hidecs 2: A Computer Program for the Hierarchical Decomposition of a Set with an Associated Graph,Technical report, Civil Engineering Systems Laboratory Publication 160, MIT, 1962.
22) Alexander, C.: Hidecs 3: Four Computer Programs for the Hierarchical Decomposition of Systems Which Have an Associated Linear Graph,Technical report, Civil Engineering Systems Laboratory Publication Report No. R63-27, MIT, 1963.
23) Watanabe, S.: Information theoretical analysis of multivariate correlation, *IBM Journal of research and development*, Vol. 4, No. 1, pp. 66～82, 1960.
24) Shoenfield, J.: Mathematical Logic, Addison-Wesley Reading, Mass. 1967.
25) Zach, R.: Completeness before Post: Bernays, Hilbert, and the development of propositional logic, *Bulletin of Symbolic Logic*, Vol. 5, No. 3, pp. 331～366, 1999.
26) Alexander, C.: The Theory and Invention of Form, *Architectural Record*, Vol. 137, pp. 177～186, 1965.
27) Alexander, C. and Poyner, B.: The Atoms of Environmental Structure, 1966.
28) Alexander, C., Ishikawa, S., and Silverstein, M.: A Sublanguage of 70 Patterns for Multi-Service Centers,Technical report, report submitted to the Hunts Point Neighborhood Corporation, Hunts Point, Bronx, New York, 1968.
29) Alexander, C., Ishikawa, S., and Silverstein, M.: A Pattern Language which Generates Multi-service Centers, Center for environmental structure, 1968.
30) Alexander, C.: The State of the Art in Design Methods, *DMG newsletter*, Vol. 5, No. 3, pp. 1～7, 1971.
31) Alexander, C., Ishikawa, S., and Silverstein, M.: A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction, Oxford University Press, USA, 1977.
32) スティーブン・グラボー：クリストファー・アレグザンダー，吉田朗他訳，鹿島出版会，1989.
33) マサイアス，ＡＲＤ：ブルバキの無知，田中一之（編）数学の基礎をめぐる論争，pp.151～176，シュプリンガー・フェアラーク東京，1999.
34) ニコラ・ブルバキ：集合論 1，前原昭二訳，東京図書，1968.
35) ハワード・ガードナー：ピアジェとレヴィ=ストロース，波多野完治，入江良平訳，誠信書房，1975.
36) ロマン・ヤーコブソン：音と意味についての六章，花輪光訳，みすず書房，1973.
37) HararyU, F. and Rockey, J.: A City is not a Semilattice either, *Environment and Planning A*, Vol. 8, No. 4, pp. 375～384, 1976.

（2010年 4 月28日原稿受理，2010年 8 月26日採用決定）