建築の空間構成を記述する形式言語（生成文法）の可能性

IDEA OF ARCHITECTURAL FORMAL LANGUAGE USING DYCK LANGUAGE

服部 岑生*
Mineki HATTORI

Here is proposed that architectural design can be described and explained by some kind of formal language, because of the unique character that the design is composed of elementary space units. I study the origins of this type of idea referring documents on modern architectural theories and research reports (Western and Japanese), investigate what kind of formal language is best applicable and propose a newly developed system using Dyck language.

Keywords : architectural Design, space organization, formal language, dyck language, modern architecture, accessibility

建築設計, 空間構成, 形式言語, ダイック言語, 現代建築

1. はじめに

本研究は、形式言語の理論におけるアルファベットの記号列から形成される語が、例えば、2DKなどのように記号化された建築空間と類似していることに着眼し、形式言語学の蓄積を用いて、形式言語としての建築空間の記号化の可能性を探ったものである。

「記号化」の言葉には、人工的に都合のよい記号の当てはめ方を考案するというニュアンスがあるが、ここは、建築空間の常識的な理解の前提になっている事柄を踏まえ、空間の建築計画的な基本特性を明らかにするという記号化を行う。ここでいう建築計画的な特性とは、建築の空間構成の多様なイメージのうち、人間が一般的に体験する、現代建築の固有の、空間単位から形成される空間構成（後述）をいう。

2. 研究の位置づけ

建築のような三次元の物体を記号化する方法は、Stiny (1978), Mitchell (1990) や Flemming (1987) 等により研究されてきた。これらは建築の図面における図形の文法——形態文法 Shape Grammar¹⁾——を考案し、建築の図面を描く形態操作の手続きをアルファベットなどの記号で示している。しかし2DKのような記号化（モノイド²⁾）とは、①記号列が図形操作の手続きを示すもので、②建築の空間構成そのものの記号化でない点で異なっている。その他、表面的に似ている形式言語に、図形記述言語（川野、1984 など）があるが、これ

も二次元平面上の図形を記述する手続きを示すものであるし、記号化による語モノイドを意識していない。

本研究は、2DKのように記号化された建築の空間構成およびその方法が、住戸などの空間構成を簡明に記号化でき、一般に流布した点を評価して構想された、新しい類型の研究である。これまで、空間構成の記述は、グラフ理論における隣接行列（Steadman, 1983 に多数紹介がある）の方法や形態文法（Shape Grammar）などがあった。前者は、隣接関係を厳密に記述するが2DKの簡明さはない。後者は、空間構成そのものを記述しない。そこで、比較的、元の空間の布置関係のイメージを保存しながら記述する可能性がある語モノイドに着目した。また、モノイドによる記号化では、形式言語の研究成果である生成文法³⁾を適用でき、建築の空間構成の原理的な事項を明らかにすることができると考えた。

この結果、建築の記号化であるモノイドおよびその生成文法の適用範囲は、まず一般に建築を語る際や建築計画の分野で空間構成の分析（特に黒沢、1988 のような分析）を行うなどの際に有効である。もちろん、CADなどで建築図の作成や空間構成の自動化・最適化などの技術に対しても、その応用が考えられるが既往の研究開発とは異なるものとなる。

3. 前提になる概念

この研究における、基本的な概念を述べる。

* 千葉大学工学部建築学科・工博

Dept. of Architecture, Faculty of Eng. Chiba Univ., Dr. Eng.

(1) 建築の空間構成

ここでいう建築は、常識的な意味であり、その内部の空間の単位の、種類およびその相互関係を、空間構成とする。建築の空間構成の理解の方法は、規模、距離関係、隣接、用途・行動上の意味など無数にあるが、本研究では、以下のように限定して考える。

建築の空間構成 (A と略記) は、一般に室や通路とされる空間単位とそれらを連結する連結関係のシステム (後述) で定められるとする (理由は後述する)。さらに、何を空間単位とするかについては、一定の制約 (後述) があるが、必要に応じ決めてよいとする。連結関係は、動線のように、交通の可能性 (扉・ドアなどによる直接の可能性、通路による間接の可能性の両者を含む) を持つ連結関係を代表的な例とする関係であるが、これも必要に応じ、決めてよいとする。

(2) 形式言語 (または語、文)

代数学では、アルファベットのよう記号の単位を連結してできる記号列を、モノイドあるいは自由モノイドとしている。その意味で、例えば 2DK のように記号化された建築は、モノイドに置き換えられたといえる。モノイドに関する形式言語は、例えば、与えられた単位元のアルファベット Σ 上の形式言語とは、 $\Sigma^{*4)}$ の語の任意の部分集合であると定義される。まずここで、形式言語理論で生成系の定義³⁾ (生成文法) の仕方として知られる、chomsky の句構造文法⁵⁾ の記述法を用いて、最初は断定的であるが、次の文法と要素による、文脈自由句構造文法による形式言語を考案する。

文法 $G=(\Sigma, V, A, P)$

ただし、 Σ : 終端記号—室 1 s_1 , 室 2 s_2 , 通路 1 c_1 , メインエントランス e_1 等, の具体の空間単位の集合および、括弧 (,), [,] の記号
 V : 非終端記号—A や、必要に応じ設定される他の終端記号の部分集合をまとめて示す総称記号

A: 公理—建築の空間構成

P: 生成規則 (後述)

提案の内容は、後に詳しく説明する。

今、例示として 2DK や 3LDK などの言語の規則を求め、文法の意味を明確にする。この集合住宅の住戸の平面形を表現する記号列は、まず、終端記号である、一般居室の部屋数 1, 2, 3, 4..., 居間あるいは居間スペース L, 食事室あるいは食事スペース D, 台所あるいは調理スペース K の三種類の部屋から成り立つ。

Σ : n (2, 3, 4, 5 など), L, D, K

次に非終端記号は、部屋数の総称 N, 部屋の総称 R である。

V : N, R

2DK などを理解する常識的な道筋に沿った生成規則

P を作る。まず、①住戸の部屋数を明らかにする。 $A \rightarrow NA$, 部屋数の具体化として、 $NA \rightarrow nA$ と導出される (以下同様)。次に、②居間の有無を明らかにする。 $nA \rightarrow nRA$, R の具体化として、 $nRA \rightarrow nLA | n\epsilon A$ 。ここで、 ϵ は、居間などの検討中の部屋がないことを示す空記号である。また、 $\rightarrow$ は左辺の記号が、右辺の記号へ変換され、新たな記号を生成・導出することを示し、 $|$ は、その変換による生成の際に、複数の種類の変換が起こりうる場合を表現する、区切りを示すものである。さらに、③食事室の有無を明らかにする。 $n* A \rightarrow n* RA$, R の具体化として、 $nLRA \rightarrow nLDA | nL\epsilon A$ あるいは $n\epsilon RA \rightarrow n\epsilon DA | n\epsilon\epsilon A$ 。これらは、まとめて $n* A \rightarrow n* RA$, $n* RA \rightarrow n* DA | n* \epsilon A$ とすることができる。ここで、 $*$ は、なんらかの終端記号のアルファベットが存在していることを示す。同様に、④ $n* * A \rightarrow n* * RA$, $n* * RA \rightarrow n* * K | n* * \epsilon$ 。以上である。

$P: A \rightarrow NA, NA \rightarrow nA \dots\dots\dots ①$

$nA \rightarrow nRA, nRA \rightarrow nLA | n\epsilon A \dots\dots\dots ②$

$n* A \rightarrow n* RA, n* RA \rightarrow n* DA | n* \epsilon A \dots\dots\dots ③$

$n* * A \rightarrow n* * RA, n* * RA \rightarrow n* * \dots\dots\dots$

$KA | n* * \epsilon A \dots\dots\dots ④$

$* * * * A \rightarrow * * * * \epsilon \dots\dots\dots ⑤$

ここで⑤は、生成規則の終了を意味する規則である。

ϵ は、単位元で実際には省略してよい。

以上の規則は、この言語が生み出すすべての空間構成の原理となる。ここで、①から⑤の規則が順に適用されるプロセスは、あたかも設計の際に空間構成のイメージが具体化していくことに類似しており、生成文法の性質が空間構成を記号化するのに向いていることが予想される。また、適切な原理による文法が得られれば、それから生成されるあらゆる空間構成が記述できたことになることも注目すべき性質であろう。

(3) 記録の方式

形式言語は、アルファベットを接続して形成される語⁶⁾ の集合であり、それを記録する方式 (線状, 上下左右の二次元方向, 分子模型のような三次元方向など) によって記録に馴染みやすい対象と馴染みにくい対象が出てくる (後述)。本研究では、簡明な記号化のために線状に記録することとする。線状の方式では、アルファベットの単位元は英文のように線状に接続する。このために、グラフの木 (ツリー) 構造⁷⁾ で示されるアルファベットの接続に適している (後述)。

4. 生成規則の基盤としての建築計画論の概観

ここでは、形式言語の対象とする空間構成の考え方について、その歴史的な背景について考察する。原 (1967-p.146) の「近代建築思想の基底に構成主義がある……構成なる概念は要素を集合することを意味する

のだから、要素の役割と全体性の分析が当然なされてし
 かるべきなのだ。」とする考えでは、建築の空間構成の
 基本的な特徴は、「要素から構成される」点に見出され
 ている。近代建築とそこから展開した現代の建築が、要
 素の集合による構成主義を基本にしているとする考え
 は、Banham (石原訳, p.18~) によると, Guadet (1902)
 の「建築のエレメントと理論」が、「建築物の構成をそ
 の諸要素と全体性において研究することにある。そして
 それは、建築物の規定のプログラムへの適合、および素
 材の必然性への適合という二重の観点からなされる。」
 として、要素からの構成を主張したのを嚆矢とし、
 Guadet の弟子であった A. ペレーと T. ガルニエ、さ
 らにコルビュジエ、ミースやグロピウスと伝達・継承さ
 れたという。その意味で、Guadet が様式的な設計論か
 ら機能的な空間の合理的設計論への展開を示し、「要素
 から構成される」現代の建築論を導いたことは、納得の
 行くものである。しかし、Guadet の「要素」は、必ず
 しも人の体験できる内部を有する空間ではなかった。こ
 のような文字どおり内部を持つ空間が要素として意図さ
 れるのは、デ・ステールの主張の中に初めて見られ⁸⁾、
 ギーディオン⁹⁾、特に Zevi¹⁰⁾ の「空間としての建築」の
 見方で一般化している。この二十世紀半ばの段階の空間
 の考え方こそ、現代の空間の内包である。確かに、空間
 構成を、人間の体験できる内部を持つ、空間の要素の集
 合として理解し、特徴を見出すことは、現代の建築にとっ
 てはきわめて自然のことである。

さらに議論を進めると、空間構成の把握については、
 設計方法的な立場で見るのと、事後の解釈的な立場で
 見るのとでは、大きく異なる。

Guadet や原の指摘は、設計方法的な立場のものに属
 するであろうが、「要素から構成される」方法という表
 現で、すべての建築設計の方法を言い切るとなると、異
 論がでてくる。古くから「空間を分割していくやり方と
 空間を結び合わせる方法の二つがある。」(菊竹 1955)
 と考えられてきた。これは、「分割と連結」と対比的に
 言われる方法である。分割は、最初に空間の全体を指定
 し、その内部を分割し、複数の空間単位の構成を得てい
 く方法である。この際、和風住宅の分割線が、建具など
 の可動で通行可能な間仕切りになっているような前提を
 置くことで、次の連結の方法との差異が明確になる。連
 結は、最初に空間単位を指定し、適切な通行可能な通路
 などで連結関係を持つように構成する方法である。その
 意味で、要素相互が初めから通行可能な境界で接触して
 いるかどうかは保証されていない。すなわち分割では、
 全体の形態が定形に納められ、単位に制約がでることが
 ある。一方、連結では、単位の自由が得られるかわりに、
 全体の形態は定形に納められにくくなることがある。

その他に、設計方法の考え方のアルゴリズムを比較的

明確に示している電算機による設計方法の基礎研究の分
 野で、Whitehead (1974) が、「Improvement Techniques」
 と対比する「Construction Techniques」は、「連結」に
 よる方法である。また、Steadman (1983-p.157) は、
 平面形の数理的な形成方法の特性として、「Constructive
 character」と「Selective character」があるとしている。
 前者は、必ずしも部屋のような要素だけではないが、空
 間を構成する要素を組み合わせ、設計条件との適合を
 模索していく方法を示しており、後者は分割図¹¹⁾の辞書
 から、設計条件に適合した平面形を選択していく方法を
 示している。すなわち、はじめに、必要な空間要素の連
 結関係を抽象的に表現するグラフを描いておき、あらか
 じめ全体のシルエットごとに用意されたすべての分割図
 と照合し、対応する空間構成を当てはめる方法である。
 前者は、要素からの構成という現代建築の特色を継承し
 ているし、後者も、通行などの体験できる内部のある空
 間単位の連結から、空間構成を求めるという現代建築の
 本質を示している。

以上の設計方法からの空間構成の論点は、要素とそれ
 らが形成する全体との関係についてを焦点としている。
 内容に対比的に整理すれば、いずれも空間単位は所与で
 あるが、ひとつの極は全体を所与とする構成論であり、
 他の極は全体が所与でない構成論である。しかし、どち
 らの立場の構成であろうと、空間の単位があり、はじめ
 に指定されるかどうかは別にして、全体も存在する。だ
 から次に述べる事後の解釈の立場からは、両者の区別は
 なくなってしまう。

次に、形成される建築空間を解釈する立場から、空間
 構成についてみると、まず建築計画研究の見方が問題と
 なろう。日本の建築計画の理念の先駆者である長倉
 (1934, p.584~585) は、間取りの決定の手続きで、
 先ず「所要の室」を求め、それらについて配置するとす
 る中で、「通り抜け式の間取り」と「寄道式の間取り」
 を区別している。この認識は、日本の伝統的な和室の空
 間構成と廊下式の近代建築の構成の違いを指摘してい
 る。また、西山 (1936, p.6)) は、約半世紀前に「建
 築を室と建築組織線との二要素の結合として」考えるこ
 とを主張している。これらは、単位となる室を要素にす
 るとする近代建築の命題を、一歩進めて動線(西山の建
 築組織線)の重要性を意識したもので、本研究の考え方
 に通じるものである。

空間構成は、空間単位がなんらかの論理で関係づけら
 れ、秩序を持ち成立したものである。特に現代建築の流
 れの中では、空間は、人間側の体験、特に通行—動線—
 という点から構成の手がかりを得てきた。以上の考察を
 踏まえ、本研究の形式言語は、設計方法の立場からの「要
 素と全体の関係」と、建築計画研究の「動線による構成」
 のふたつの認識を条件として、研究する。

5. 生成規則の条件づくり

生成規則の条件について、(1) 一般言語に倣い、記述の対象条件を整理し、その内の連結関係について、(2) 歩行などで通行可能な関係に絞り、空間単位の連結関係の種類を明らかにする。さらに、(3) 記述の上でくふうを要する点を明らかにする。最後に、(4) 生成規則の条件となる文脈規定性について、考察する。

(1) 記述の対象条件

空間構成は、一般言語によって「部屋Aが、部屋Bの前にある」、「部屋AとBは、廊下Cで繋がっている」、「部屋Aから、部屋Bへ行ける」、「建築は、部屋Aと部屋Bで形成される」のように記述される。ここには、部屋の種類や単純な位置関係、通行可能な連結の関係などが表現されている。

一般言語において、空間構成は、主体としての物、場所（あるいは位置）、および関係一例では、物相互の位置関係一によって記述される。「場所」は、指示される主体と、他の主体との相対的な関係によって、記述される（幾何学的記述¹²⁾）。例えば、主体「部屋AとB」が、他の主体「廊下C」によって、その存在する「場所」を、暗示的に与えられている。この場合、「場所」は、単なる場所ではなく、「繋がって」いるという「関係」を前提にすることで、特徴付けられている。

本研究では、建築の空間構成を i) 「空間単位」と ii) 「場所」と iii) 「通行可能な連結の相互関係」を条件として記述する方法を考案しようとするものである。一般言語における空間記述と対比させると、この際の i) 「空間の単位」が、主体としての物であり、ii) 「場所」が他の物で暗示される場所で、iii) 「通行可能性」が、どのような関係性を持つかに対応している。

(2) 空間単位の連結関係

建築の空間単位を、通行の可能な他の空間単位の数によって、i) 一つの空間単位と通行可能な単位、ii) 二以上の単位と通行可能な単位の種類に分けて考える。

i) の空間単位は、他の一つの空間単位へ移動できる出入口しか持たない状態である。この連結関係は、建築の空間の状態として、最も単純なものである。「基本連結」(図-1のA)とし、その状態にある空間単位を「基本連結単位」と名付ける。これに対して、ii) の状態は、個々には基本連結である二つ以上 n の単位がひとつの空間単位に連結されているので、「群連結」(図-1のB-1)または「 n 群連結」とし、その空間単位を「群連結単位」または「 n 群連結単位」と名付ける。ii) は i) に対して、通行可能な単位 ($n-1$) 個を加えた状態にある(図-1)。

既往の建築の空間構成を、生成規則による導出の結果とみると、そこには基本連結や群連結以外に、図-1のB-2のような、基本連結が順に n 回連続して行われる

図-1 連結関係の種類

と得られると解釈できる連結が見られる。この連結を「順連結」あるいは「 n 順連結」と名付ける。また、群連結は、基本連結の生成を、繰り返しひとつの空間単位に加えると得られると解釈される。以上の生成は、グラフ理論における木構造の導出といえる。ここで、基本連結・群連結および順連結の連結関係を、総称して「線状の連結関係」と定義する。この「線状」は、これら連結の共通の特徴から名付けている。

(3) ループ状連結やブロックなどの扱い

空間単位については、空間構成の定義に示したように常識的な内容でよいが、線状にモノイドを記録するために、空間単位の決め方にくふうを要する。伝統的な建築の空間単位の連結関係(図-2)や、空間単位を分割して詳細にすると顕在化する連結関係——例えば、図-4の通路は全体でひとつの単位空間とせず複数の通路部

図-2 複数の部屋によるループ状連結関係(旧北村家平面図)

図-3 線状・非線状の対応関係

図-4 小学校に見られる通路のパターン
(三次元のループがみられる)

分に分解して見ると複数の空間単位とその連絡関係が生まれる——には、線状でないものがある。このような非線状に連結している複数の空間単位は、線状になる範囲で複数をまとめ新たにひとつの空間単位を形成し記号化する。すなわち、ループ状の連絡関係などでは、個々の空間単位が線状に布置されていないので、ループを構成する空間単位をまとめて、ひとつの空間単位とするくふうである。またこの操作は、連絡関係を木構造にするものといえる(図-3参照)。

次に、空間単位の分割の逆の問題である、複数の空間単位のまとまり、すなわちブロックの概念について、扱いを考察する。建築計画の基本的な考え方として、個々の空間単位の個性を一般化していきながら、同種類、同系利用者の複数の空間をブロックやゾーンとしてまとめる発想(武田, 1925, Marcks, 1911^{13), 14)}がある。この際のブロックの概念は、建築計画の概念として一般的なものであり重要なものである。そこで、提案される形式言語では、ブロックの記述の可能性を探ることとした。また、ブロックについては、建築の全体を、複数のブロックに置き換えると、部屋のレベルの空間構成と同様に、ブロックのレベルの空間構成が形成される。そこで、このブロックを新たに空間単位とすれば、ブロック相互に基本連結・順連結や群連結の関係を見出すことができる。

(4) 文脈規定性の扱い

建築の空間構成について、常識的に解釈すれば、空間単位となる部屋や通路には、用途などの意味があり、その連絡関係には建築の用途などから定まる、一定の条件がある。例えば、玄関には、通路や居間が連結するなどの、常識的に理解できる条件である。ここから、空間単位を導出する生成規則は、文脈規定を前提にしたものとなることが予想される。Chomsky によれば、文脈規定⁴⁾

とは、生成過程にある記号の置かれている環境に基づいて、書き換えが行われることをいう。例えば、玄関まで導出されている記号の次の導出は、基本連結となる通路あるいは居間に限定される。玄関→玄関・居間というように。しかし、本研究での空間単位は自由に設定されるとしており、形式言語の最初の提案段階であるので、文脈規定の特性の組込みは行われなことにする。

6. Dyck 言語(括弧を含む文脈自由言語)¹⁵⁾による記述の妥当性

様々な形式言語が提案されている。ここでは、始めに標準的な文脈自由言語で正規表現¹⁶⁾の方法と、次に同種で個性的な Dyck 言語による記述を試み、後者の Dyck 言語の妥当性を確認するが、この段階では、単に記述方法を検討するに過ぎない。次の生成規則の作成の段階で、本質的な検討を行う。

(1) 記述の具体化

いずれも、個々の空間単位に対応するアルファベットや常用される数式記号—(,), + など—によって記号化する。

まず、空間単位は、建築の空間構成として、常識的にあるいは必要に応じて区別される単位が明示的に区別されればよい。例えば、居間を s_1 、寝室を s_2 のように単位を示す終端記号 s とラベル(下付添数字)によって区別することができればよく、空間構成の考え方で自由に設定してよい。

次に場所は、建築の空間構成に現れる単位の、連絡関係を記述することで、暗示的に相互の場所を示し、それ以上の具体化は検討しない。

最後に、通行可能等、単位の連絡関係、関連するふたつの空間単位を、連結の種類に対応する記号を間に置き並べて記述する——例えば、連結の記号+を使って、 $L+D$ のように記述する——ことで示すこととする。三以上の空間が同時に連結の関係を持つことがあり、後に示すようにくふうを要するが、並べて記述するという考え方は同じである。

(2) 括弧を用いない正規表現¹⁶⁾による検討

今、入口 e_1 、室 1 s_{11} 、室 2 s_{12} 、室 3 s_{21} 、室 4 s_{22} 、通

図-5 ケーススタディーのための空間構成

路 c_1 の図—5-4 のダイアグラムで示されるような平面（各空間単位の添字は、各々を区別するために適宜つけた）を、考える。様々な記述法が考えられる。ここで、記述項目を考える。

i) 単位の区別

$s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}$ の記号化

ii) 基本連結・順連結や群連結の関係

e_1 と c_1 の関係、 c_1 と $s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}$ の関係等

iii) ブロック

s_{11} と s_{12} のまとまり、 s_{21} と s_{22} のまとまり

を、記述しなければならない。正規表現の条件に基づき、順連結や群連結を、記号の接続で表せば、最も簡単な表現として、 $e_1, c_1, s_{11}s_{12}s_{21}s_{22}$ のような、体験的に納得できるものが得られる。しかし、この空間単位の接続だけでは、単位の相互関係、通路 c_1 が四つの室の動線になっている順連結や群連結の関係、およびブロックの関係が、自明でない。各空間単位の相互関係については、順連結の場合は、隣あった記号の関係を基本連結の状態にあるとすれば単純な接続で記述できるが、群連結の関係は、平等の連結関係を表す + などの区切り記号を利用——例えば $s_{11}+s_{12}+s_{21}+s_{22}$ ——し、部屋のまとまりを示すことはできるが、これと動線 c_1 との連結を同時に記述できない。

(3) 括弧による記述

群連結の関係とブロックを扱うには、記号の接続に対して、i) 接続に直接関連しないラベルを用いる方法と、ii) 記号の接続に別のルールを与えて、ラベルを用いない方法がある。

ラベルによる方法は、表現が複雑になるが、例えば室 1 s_{11} 、室 2 s_{12} 、室 3 s_{21} 、室 4 s_{22} のように、空間単位の記号化において、室 s にラベルとなる添字 ij (11, 12, 21 など) を添えて、ブロックの関係を i で暗示的に表現するものである。

記号の接続に別のルールを与える方法は、正規表現を諦めて——括弧の利用が制限され、入れ子の構造表現ができない——、空間単位以外に特殊記号の括弧を用意して、群連結およびブロックの関係を明示的に表現するものである。このような言語は、いろいろ提案されているが、ここでは形式言語—Dyck 言語¹⁵⁾を適用し、ラベルは用いないこととする。

先に問題となった群連結とブロックの記述の問題は、括弧を、i) 連結の領域を表示すること、および ii) 順連結や群連結の関係にある動線や室のグループ、あるいはブロックを表示することの、二つに用いるような、Dyck 言語であれば、目的の記述項目を扱うことができる。例えば、 $e_1c_1({}^{(11}s_{11}s_{12}s_{21}s_{22})}^1)$ のように、括弧 () を用いればよい。括弧は、さらに詳細なブロックの関係、例えばブロック 1—室 1、室 2—とブロック 2—室 3 と室

4—を区別することにも、 $e_1c_1({}^{(11}s_{11}s_{12})}^{11}({}^{(12}s_{21}s_{22})}^{12})^1)$ のように用いることができる。括弧によって、記号の接続を区切り、群連結とその連結の範囲の範囲を記述することが可能になる（図—5-4）。

7. Dyck 言語による生成文法の試み

(1) 建築空間の記号化のイメージ

最終的に、得られる記述結果の語を、以下に予告的に示す。まず、主体として、記述する観察者の初めの視点となる空間単位の記述を置き、そこに連結する、次は多くは通路の空間単位を続ける。さらに通路の空間単位に視点を移し、それを主体に、そこに連結する空間単位を記述する。途中で、連結やブロックの範囲を区切る括弧を入れる。以下同様に進め、一連の記述が完了してできる記号の接続を語とする。なお、各空間単位の区別を示す添字は、簡単のために省略してある。以下に、語の例を示す。

$(e)(c)([s][s][s][s])_1 \dots\dots\dots ①$

$(e)([{}_2(e)(c)([s][s][s])_3]_2[{}_4(e)(c)(c)$

$[{}_5[s][s][s])_4]_1 \dots\dots\dots ②$

この例のうち特に、②の語では、文脈自由言語の「構文上の多義性」¹⁷⁾を示している。接続する括弧の間の関係が、「順連結」、「群連結」および「ブロックのまとまり」のいずれを記述しているか明確でないからである。これを避けるために、順連結を示す丸括弧 () と、群連結を示すかぎ括弧 [] を使い分けている（後述）。

(2) 括弧の使い方

括弧を以下のように使い分ける。Dyck 言語は、括弧の入れ子構造を記述するものであるが、ここでは単位元の括弧を区別するラベルを、括弧の中の空間単位の名前 s によって代替し、括弧のラベルを取ることにしている。これによって、括弧のみで記述される Dyck 言語が、空間構成を実感的に表現するものになったと考えた。

i) 空間単位の列挙の際の区切りを示す

……ラベル無し括弧 (,) , [,]

ii) 連結の範囲とブロックの始めを示す

……ラベル付左括弧 (, [など

連結の範囲とブロックの終わりを示す

……ラベル付右括弧) ,] など

ただし、ラベル（下付添字）は括弧の種類を示す。

(3) 生成規則による文法の基本構造

語の終端記号の集合として、

$$\Sigma = \{ (,) , [,] , \dots\dots (n ,)n , (,) \} \\ \cup \{ s_i | 1 \leq i \leq m \} \dots\dots\dots ③$$

空間構成としての、唯一の非終端記号、

$$V = \{ A \} \dots\dots\dots ④$$

生成規則として、

$$P = \{ (A \rightarrow) \epsilon \} \dots\dots\dots ⑤$$

$$\cup \{ \}_i A \rightarrow \}_i \epsilon \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ⑥$$

$$\cup \{ A \rightarrow (\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ⑦$$

$$\cup \{ (\}_i A \}_i \rightarrow (s_i) \mid 1 \leq i \leq m \} \dots\dots\dots ⑧$$

文法のシステムとして、

$$G = (\Sigma, V, A, P) \dots\dots\dots ⑨$$

この規則は、Dyck 言語の基本の規則を、一部変形したもの——特に、⑤、⑥の左括弧を前提にした A の単位元 ϵ への変換、⑧の空間単位の記号 s を残す規則の追加——である。その意味では、純粹の Dyck 言語ではないが、先に述べた③の s の意味と定義を、元に戻せば Dyck 言語になるので、n 次の疑似 Dyck 言語といつてよい。

③は、終端記号、すなわち括弧と空間単位の記号の集合である。④は、非終端記号で、建築の空間構成 A を示す。⑤～⑧までは生成規則で、⑤は導出を終わる時に、非終端記号を単位元へ変換する、あるいは表記しないようにする規則、⑥も同様だがその左の括弧がラベル付の規則、⑦は Dyck 言語に基本的な括弧を導出する規則、⑧は括弧内の A を終端記号 s、すなわち具体的空間単位の記号に変化する規則である。⑨は、以上の③から⑧までが、文法の要素であることを示している。

しかし、このままでは順連結と群連結の区別が明快でなく構文上の多義性¹⁷⁾を解消するくふうがない。そこで、順連結に対する括弧と群連結に対する括弧を区別し、それぞれ (,) と [,] とにする。これによって、多義性は解消する。

また、非終端記号 A を、建築の空間構成において、特徴的な出入口 e、通路 c、部屋 s などを区別するように、例えば $A \rightarrow e$ 、 $A \rightarrow c$ や $A \rightarrow s$ のように具体的なイメージが湧くルールを付け加え、展開することもできる。そうすると、建築の典型的な空間単位に個別に終端記号を用意するくふうとなる。ここで、 $A \rightarrow e_i \mid c_i \mid s_i$ の規則を用い、連続して記号の導出を行う際、出入口 e、通路 c、部屋 s の意味を考えると、常識的な接続の条件が出てきて、文脈規定性を考慮しなければならないが、この段階では配慮しないこととする。以下に、終端記号 Σ と生成規則 P を変更した文法の実体化を示す。

$$\Sigma = \{ (\}_1,)_1, (\}_2,)_2, \dots\dots (\}_n,)_n, (,) \}$$

$$\cup \{ [\}_1,]_1, [\}_2,]_2, \dots\dots [\}_n,]_n, (,) \}$$

$$\cup \{ e_i \mid 1 \leq i \leq m \}$$

$$\cup \{ c_i \mid 1 \leq i \leq m \}$$

$$\cup \{ s_i \mid 1 \leq i \leq m \} \dots\dots\dots ⑩$$

$$P = \{ \} A \rightarrow \}_i \epsilon \mid \cup \{ \} A \rightarrow \}_i \epsilon \} \dots\dots\dots ⑪$$

$$\cup \{ \}_i A \rightarrow \}_i \epsilon \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ⑫$$

$$\cup \{ \}_i A \rightarrow \}_i \epsilon \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ⑬$$

$$\cup \{ A \rightarrow (\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ⑭$$

$$\cup \{ A \rightarrow [\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ⑮$$

$$\cup \{ (\}_i A \}_i \rightarrow (e_i) \}$$

$$1 \leq i \leq n_1, 1 \leq j \leq m \} \dots\dots\dots ⑯$$

$$\cup \{ [\}_i A \}_i \rightarrow [e_i] \}$$

$$1 \leq i \leq n_2, 1 \leq j \leq m \} \dots\dots\dots ⑰$$

$$\cup \{ (\}_i A \}_i \rightarrow (c_i) \}$$

$$1 \leq i \leq n_1, 1 \leq j \leq m \} \dots\dots\dots ⑱$$

$$\cup \{ [\}_i A \}_i \rightarrow [c_i] \}$$

$$1 \leq i \leq n_2, 1 \leq j \leq m \} \dots\dots\dots ⑲$$

$$\cup \{ (\}_i A \}_i \rightarrow (s_i) \}$$

$$1 \leq i \leq n_1, 1 \leq j \leq m \} \dots\dots\dots ⑳$$

$$\cup \{ [\}_i A \}_i \rightarrow [s_i] \}$$

$$1 \leq i \leq n_2, 1 \leq j \leq m \} \dots\dots\dots ㉑$$

ここで、 m_i , n_i の記号および添数字は、それぞれ引用される終端記号等の種数を示すもので、適切に定められるものとする。先の文法との関係は、容易に類推できるので説明を省略するが、③→⑩、⑤→⑪、⑥→⑫～⑬、⑦→⑭～⑮、および⑧→⑯～⑳と変換されている。

前記の①および②の例示は、この文法に基づき記述した語であり、構文上の多義性はない。しかし、ここでは、(,) と [,] の連続関係には、一定の文脈規定を考慮しなければならない。すなわち、 ϵ , (,) と [,] のすべての組み合わせで、非論理的な連結を避ける必要がある。Dyck 言語自身が生成しない () などの組み合わせを除き、次の連結が問題である。

i)) [..... の連結

ii)] (..... の連結

iii) [[..... の連結

iv) ϵ [..... の連結

例えば、i) は、ブロックや単位の終わりを示す括弧に順連結の関係の始まり (を接続することはできるが、群連結の関係の始まりを示す [を連結できない。群連結単位を接続する場合は、一端ブロックの始まりを示す (を置き、続けて [を接続すればよい。以下 ii ~ iv) は、説明を省略するが、同様に常識的に考えられないものである。これらを、生成規則としてまとめる。

$$\cup \{ \} A \rightarrow \}_i (\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ㉒$$

$$\cup \{ \} A \rightarrow \}_i [\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ㉓$$

$$\cup \{ A \rightarrow [\}_i (\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ㉔$$

$$\cup \{ \epsilon A \rightarrow (\}_i (\}_i A \}_i A \mid 1 \leq i \leq n \} \dots\dots\dots ㉕$$

そこで、㉒を㉒、㉔と㉕に、㉓を㉓に、置き換えなければならない。

ここで ((..... の連結を問題にしていなが、記述の結果が例えば (((s))) というような語となることがあろうが、この多重の括弧の意味は常識的な空間構成には対応するものがないであろう。しかし、ここでは、この欠点については、意識されていたことを付記して今後の課題としたい。

(4) 記述のケーススタディ

記述の際、観察者が最初に取り見る視点を、建築の主入口

にとり、空間構成を普通に記述する立場を、「静的」な記述とし、建物利用者が建築の内部の、部屋や通路など、主観的に必要な視点で記述を始める立場を、「動的」な記述とする。この区別は、ここで記述される語が、一般的な空間構成の表現になるかどうかであり、「静的」な記述では建物は一つの語に写像されるが、「動的」な記述は観察者の視点の数だけ、すなわち空間単位の数だけある。

(a) 静的な記述

既存の空間構成を、文字どおり記述する。まず図—5-1において、エントランスに着目すると、 $A \rightarrow (A)$ $A \rightarrow (e) A$ 。さらに、エントランスに通路が繋がるので、 $A \rightarrow (A) A \rightarrow (c) A$ 。これで、 $A \rightarrow (e) (c) A$ と生成されている。通路に部屋が基本連結の関係で生成を繰返し最終的に4室連結する。 $A \rightarrow (A) A \rightarrow (A) (A) A \rightarrow (A) (A) (A) A \rightarrow (A) (A) (A) (A) A$ 。すべての部屋を具体的に入れると、 $A \rightarrow (s) (s) (s) (s) A$ (簡単のために添字を省略する、以下同様)。単位元 ε により、 $A \rightarrow \varepsilon$ として記述を終える。最終的な、記述結果は、 $A \rightarrow (e) (c) (s) (s) (s) (s)$ となる。

(b) 動的な記述

同様の空間構成を、例えば4部屋の奥から2番目の部屋から記述する。

初めに、 $A \rightarrow (s) A$ を得る。次に、 $A \rightarrow (A) A$ となり、括弧の中の A について、 $A \rightarrow (A)$ とする。ここまですべて、全体は $A \rightarrow (s) ([A] A) A$ となる。さらに、括弧の中の左の A を具体化して $A \rightarrow (s) ({}_1[s] A) {}_1 A$ とする。括弧の中の残った A を $A \rightarrow [A] A \rightarrow [(A) A] A \rightarrow [(A) (A) A] A$ として、 $A \rightarrow [{}_2(s) (s) A] {}_2 A$ を得る。さらに、括弧 $[]$ の中に残った A を展開して、 $A \rightarrow (s) ({}_1[s] [{}_2(s) (s) (c) (e)] {}_2) {}_1$ の最終の記述結果を得る。

このように動的な記述は、最初の視点によって、静的な記述と違い空間構成の意外なイメージを示すもので、グラフ理論などがない、視点に対応した空間構成を記述できる可能性を示唆している。

終わりに、この記述例で得られる注意と問題点を挙げる。まず、ここで、単位元の空間単位を示す括弧はラベルを持たないこと、ブロックを示す括弧はラベルを持つことに注意する。また、 $[{}_2(s) (s) (c) (e)] {}_2$ の記述において、空間単位の $ssce$ の連結関係は、 $(,)$ と $[,]$ を区別しなければ記述の上では基本連結の生成の繰り返しの、群連結の関係の生成なのか区別できないという、いわゆる多義性が出てしまう。

(5) 文法の課題と解決の考え方

これまでの議論から、ループ状の複数の空間単位は、まとめて線状の連結関係の空間単位にして、扱うくふうを要する。しかし、このように記述にくふうを必要とす

る空間や特性は、多数ある。和風住宅の空間構成¹⁸⁾、あるいは現代建築にしばしば見られるような複雑な空間構成——服部(1979)は、小学校建築において、通路に二次元(a)および三次元(b)でのループ状連続が大量に存在していることを指摘している。(図—4参照、ダイアグラムの辺は、通路を簡略化して示している)——は、その例である。また、この言語では、他に多くの記述されていない情報——例えば、空間単位の形状や階数など——があるし、通行可能な空間単位は扱われるが他に記述できない空間構成の情報——吹き抜けのような空間、グリッドパターンなどのパターンなど——が多くある。これらの内、「要素と全体」の関係で捉えられる空間構成の記述という、この形式言語の考え方に馴染まない——例えばグリッドパターン——空間の特性は対象外であるが、それ以外の制約は、提案の規則で空間単位の列挙が可能になっているので、空間単位に記号をあたえる際に統一的なルールを持つラベルを付ければ解決する。例えば、ループ状の空間単位の類型を網羅し、その識別番号を空間のアルファベット記号にラベルとして加えるような方法である。これによって、記述できなかった情報は、ほぼ記述できるようになる。

8. まとめと考察

(1) 形式言語の可能性

巷間で常用される2LDKのような記号化が、形式言語の生成文法によって論理的に説明されること、および現代建築の基本にある「要素による建築の構成」と「動線による空間の理解」を前提に、建築の空間構成がDyck言語を応用した形式言語によって記述可能であることを検証し、基本的に形式言語の可能性を明らかにすることができた。この成果は、既に研究の蓄積のある形式言語の類型を、建築空間を適用することで得られたものであり、本研究で限定した記述対象を前提にする場合の基礎的な成果となったと考える。

現代建築の要素による構成の考え方を基礎にしたことと記録を線状にしたことの制約があるが、空間単位や括弧の記号に、他に必要な情報をラベルとして添えれば、ほぼすべての情報を記述する記号化の方法が得られたといえる。

(2) 今後の展望

形式言語として、建築空間を捉えることは、ルールを勝手に設定するのでなく、単位を記号化して空間の実態を記述する「基本言語」を、科学的に一すなわち他分野と共有する仕方で一構成しようとするものである。その意味で、得られた結果は、記述にくふうを要する側面があるが、科学的、論理的な構成を持つとともに、簡明に了解しうるものとなった。既に概観したように既往の関連研究による図形記述言語の開発は、電子計算機による

作画等に応用されてきた。同様に、本研究の成果も、電子計算機に関連する諸技術と共通の認識に基づき、空間構成の数理的な処理——統計処理、類型化、分割図のような形態に関する辞書の作成等——の道を開くことになるであろう。また、既往の研究においても応用分野となってきた、空間構成の分析に、文字どおりに空間構成を対象にして、その生成規則を明らかにするような、これまでと若干異なった形で適応される可能性が考えられる。Shape Grammar のように建築図の観点ではないし、グラフ理論等の応用による空間構成の自動化・最適化などの観点でもないが、総合的には、本研究も CAD などの建築の空間構成の計画を導出するような技術への道に通じているだろう。

注

- 1) Stiny (1978, p.124) により命名されている。
- 2) 単位元をもち、いたるところで結合的算法をもつ集合—仮に A とすると A はモノイドと呼ばれる。そのなかでも、接続の演算— $A = 'bcac'$, $B = 'ac'$ に対して $AB = 'bcacac'$, $BA = 'acbcac'$ のような演算—をもつ集合 A^{*2} は、 A の上の自由モノイドになり、 A の要素はその生成元と呼ばれる。 A^* は、 A の生成元のすべての接続により生まれる「べき集合」である。
- 3) 生成系の定義法とは、言語の記述において、Chomsky の提案⁵⁾したもので、言語が生成する記号あるいは文の全体を、直接羅列・記述する事が不可能であるので、その生成文法によって記述する考え方。
- 4) 記号の集合 Σ の積 $\Sigma \times \Sigma$ を Σ^2 のように表現すると $\Sigma^* = \epsilon \cup \Sigma \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \cup \Sigma^4 \cup \Sigma^5 \dots$ である。クリーン演算、あるいは閉包演算という。
- 5) Chomsky によると有限終端記号、有限非終端記号、公理、生成規則によって定義される文法 (文 13, p.83) で、形式言語の種類を分ける、生成規則 $\alpha \rightarrow \beta$ の特徴は、以下のように分類される。
 - i) $|\alpha| \leq |\beta|$
 - ii) $\alpha \in V$, $|\beta| \geq 1$
 - iii) $\alpha \in V$, $\beta \in \Sigma^* \cdot (\Sigma \cup V)$
 ただし、 α と β は、語であり、 $\alpha, \beta \in (V \cup \Sigma)^*$, $V \cap \Sigma = \phi$
 - i) のような、語が増殖しながら導出される規則は、文脈規定文法である。ii) は、非終端記号からなんら規定のない記号が生成される、文脈自由文法である。iii) は、生成によって左に必ず終端記号が生まれるもので、正規文法とも呼ばれる。
- 6) 原則としてアルファベットにより、大文字を総称記号 (集合)、同じ文字の小文字をその具体的要素として表記する。 $=$, 括弧 (), 説明記号: , $\rightarrow$, $|$ などの意味は、代数学の表記に従っている。他の特別の表記については、そのつど説明される。
- 7) 木構造 (ツリー) は、[A tree is a connected acyclic graph.] (F. Harary, 1969, p.32)
- 8) デ・ステールの創始者のペルラーへは、建築において本質的なものは、装飾でなく、「空間創造とマスの関係」 (文 2, p.203) と主張し、後に G. リートフェルトらは、

より積極的に空間の概念を発展させたという (同 p.275)。

- 9) 立体派の「対象の外観を有利な一点からでなくその内的構成を把握」しようとした考え方を基本に、建築空間を意味付けた。(文 4, p.466)
- 10) 「二次元の空間を越えて、建築は、われわれに、われわれ個人を内包することのできる三次元の空間を提供する」 (文 3, pp.248~249)
- 11) 建築空間の抽象化されたモデルとして、矩形あるいは立方体を定められた数の要素の矩形あるいは立方体に分割する図。それを分割する数ごとに網羅したものを分割図の辞書と呼ぶことがある。
- 12) 一般言語に現れる空間的对象 (物) の幾何学的な記述のこと。(文 15, pp.75~96)
- 13) 武田は住宅を「接客用の諸室 (Guest Department), 家族住居用の諸室 (Family Department) など」と分類している。(文 8, pp.158~161)
- 14) Marcks のブロックの発想を示す記述 [Grouping consists in giving due proximity to parts intimately related.] (文 9, p.125)
- 15) $\Sigma_n = \{(i_1, j_1), (i_2, j_2), \dots, (i_n, j_n)\}$
 $V = \{S\}$
 $P_n = \{S \rightarrow \epsilon \mid U \mid S \rightarrow (i, S)_i \mid S \mid 1 \leq i \leq n\}$
 $G = (\Sigma_n, |S|, S, P_n)$
 で生成される言語。(文 10, p.177~)
- 16) 形式言語において、 $\epsilon, \phi, +, *$ を含まない Σ の語および ϵ, ϕ の要素の和、積および階乗 ($+$, $*$) で作られる式を、正規表現という。(文 13, p.62)
- 17) 文の解釈において、一義的に解釈できない性質
- 18) 書院造りの和室のように複数の室を、いわゆる通路によらず通り抜ける動線の場合、室の連結が一次元の記録に馴染まないことがある。

文 献

- 1) 原 広司：建築に何が可能か，学芸出版社，1967
- 2) Banham R. : Theory and Design in the First Machine Age, Architectural Press, 1960, 第1次機械時代の理論とデザイン，鹿島出版会，石原達二ほか訳，1976
- 3) Zevi B. : Architecture as Space, 空間としての建築，青銅社，栗田 勇訳，1975
- 4) Giedion S. : Space, Time and Architecture, 空間，時間，建築，丸善，太田 実訳，第三版，1962
- 5) Whitehead B. et al. : Three Dimensional Layout Planning, Building Science Vol.9, pp.45~53, 1974
- 6) Steadman J. P. : Architectural Morphology, Pion Ltd., 1983
- 7) 西山卯三：建築計画における動線，建築学研究 80, pp.1~15, 1936.5
- 8) 武田伍一：住宅建築要義，文献書院，1925
- 9) Marcks P. L. : The Principles of Planning Buildings, B. T. Batsford, 1911
- 10) Cross M. et al : Notions sur les grammaires formelles, Gauthier-Villars Editeur, 1970, 数理言語学入門，相沢照昭ほか訳，東京図書，1972
- 11) 菊竹清訓：建築講座 6 計画，彰国社，新訂 1 版，pp.44~46, 1971
- 12) 服部岑生 et al. : 千葉県小学校の動線計画，日本建築

- 学会学術講演梗概集（関東），1979.4
- 13) 福村晃夫 et al. : オートマトン・形式言語と計算論，岩波講座情報科学 6，岩波書店，1982
- 14) 渡邊 要，長倉謙介：計画原論，高等建築学第 13 卷，常磐書房，1934
- 15) Herskovits A. : Language and spatial cognition, 1986, 空間認知と言語理解，堂下修司ほか共訳，オーム社，1992
- 16) Stiny G. et Gips J. : Algorithmic Aesthetics, University of California Press, Berkely, 1978
- 17) 川野 洋：コンピュータと美学，東京大学出版会，1984
- 18) Flemming U. : More than the sum of parts : the grammar of Queen Anne houses, Environment and planning B, Vol.4, pp.323~350, 1987
- 19) Mitchell W.J. : The Logic of Architecture, MIT press 1990
- 20) Harary F. : Graph Theory, Addison-Wesley, 1969
- 21) 黒沢和隆：動線条件から平面構成パターンを導く図法を用いた住宅平面型のパターン分析手法，日本建築学会計画系論文報告集，第 392 号，pp.41~51, 1988.6
- (1992 年 7 月 6 日原稿受理，1992 年 12 月 24 日採用決定)
-