

日本民家の形態文法

○渡辺 俊*¹

キーワード：CGA、伝統和風、町屋、合掌造り

1. はじめに

形態文法(Shape Grammar)は、1971年にG. StinyとJ. Gipsによりその基本概念が提案されて以来¹⁾、空間分析や形態生成の理論として主にアカデミズムの世界で広く研究されてきた。W.Mitchellらは、パラディオのヴィラの形態文法を詳細に記述した²⁾。青木は、スキーマ・グラマーとして形態文法を批判的に改良するとともに、より簡便な言語として主に民家の平面形態を記述するための数理的表現(SAL)を提案した³⁾。

揺籃期において、これら空間記述言語の研究は主に机上の理論として探求されたが、計算機技術の進展と共に、具体的に実行可能なアプリケーションシステムとして実装されるようになった。渡辺らは建築の形態・生成・構成を統一的な枠組みの中で記述可能なモデル(AKM)を構築した⁴⁾。Müllerらは形態文法を実行する処理系としてCGA言語を実装した⁵⁾。

近年では、都市デザイン分野におけるGeoDesignへの関心の高まりと共に、改めて、この様な手続き的記述から建築形態を生成するプロシージャルモデリングへの関心が高まりつつある⁶⁾。渡辺らは、急速に開発が進む筑波研究学園都市の景観について、それらの構成要素をCGA言語により記述することで、我が国の近代計画都市に潜在する形態文法を検討している⁷⁾。熊倉らは、東日本大震災被災地の宮城県岩沼市において、失われた街並みの記憶を共有するメディアとして、プロシージャルモデリングによる景観再現を試みている⁸⁾。

これらの研究において肝要なのは、対象となる幾何形態全体に通じる規則性を明示的に明らかにすることであり、その手続き的記述は建築匠の知識そのものと言えよう。本報では、我が国の伝統的都市・農村景観の再生に不可欠な構成要素である日本の民家について、その外観に限定した形態文法をCGA言語により記述した事例を紹介する。

2. 形態文法とCGA言語

形態文法(SG)について改めて確認しておく、その定義は下記の通りである¹⁾。

$$SG = (V_T, V_M, R, I)$$

ここで、

- ・ V_T は形態の有限集合

- ・ V_M は $V_T^* \cap V_M = \phi$ となる様な形態の有限集合

- ・ R は順序対 (u, v) の有限集合、ここで u は V_M の要素と結合した V_T^* から構成される形態、 v は(A) u に含まれる V_T^* の要素、又は(B) V_M の要素と結合して u に含まれる V_T^* の要素、又は(C) V_T^* の付加的要素と V_M の要素と結合して u に含まれる V_T^* の要素、から構成される形態

- ・ I は V_T^* と V_M の要素から構成される形態

とされている。これらは、チョムスキーが言語学において導入した句構造規則(生成文法)の定義に従ったものであるが、生成文法が記号のアルファベット上で定義されシンボルの1次元文字列を生成するのに対して、形態文法は形態のアルファベット上で定義される違いがある。言い換えれば、 V_T は形態のアルファベット、 V_M は形態の配置を誘導するマーカー、 I は初期形態、 R は現在の形態(の一部)が如何に変形できるかを定義した形態ルールであり、

Left-Hand Side (LHS) → Right-Hand Side (RHS)

と表すことができる。形態文法は基本的にトップダウンに実行されるが、複数の形態ルールの適用により、新たにLHS形態がボトムアップに生成される場合もあり、それを認めている。

一方、CGA言語の基本構文も、

PredecessorShape --> Successor

である。しかし、今日の計算機技術をもってしても、条件に当てはまるLHS形態を無作為に自動検出することは困難であり、PredecessorShapeの判定はSuccessorにおいて明示的に与えられるシンボルにより誘導されることになる。即ち、形状の生成はツリー状に展開(トップダウン)されるのみであり、セミラチス状の集約過程(ボトムアップ)は記述できない。

また、CGA言語で形態自体を操作する予約語は、extrude(引き抜く)、split(切り分ける)、comp(構成要素に分割する)、translate(移動する)、rotate(回転する)など、極めて基本的な31の操作(TexturingやScope関連を除く)に限られている。実際の形態生成には、これらの操作を巧みに組み合わせる必要があるが、操作対象を逐次的に選択するインタラクティブモデリングとは異なり、生成の過程全てを形態ルールのみで記述しなければならない。

形態文法の例として、G. Stiny が描画したアクリル絵の具による象徴的なペインティング¹⁾ は、CGA 言語では次の様に記述できる (図1)。これからも分かる様に、形態文法は再帰的なルールの適用により複雑な形態の生成することを念頭にしていたことが確認できる。

```
// Rule1 and Rule3 -----
MShape -->
  case i < level :
    set(i, i + 1)
    LShape
  else :
    NIL

// Rule2 -----
LShape -->
  t(0, 0.1, -scope.sz / 7.5)
  s(scope.sz / 7.5 * 8.5, 0, scope.sz / 7.5 * 8.5)
  i("Urform.obj") Urfrom
  split(x) {
    ~0.3 : split(z) {
      ~0.5 : rotateScope(0, 90, 0) MShape |
      ~0.5 : rotateScope(0, -90, 0) MShape } |
    ~0.3 : split(z) {
      ~0.25 : MShape |
      ~0.3 : rotateScope(0, 180, 0) MShape |
      ~0.3 : rotateScope(0, 90, 0) MShape } |
    ~0.25 : split(z) {
      ~0.5 : MShape |
      ~0.5 : rotateScope(0, -90, 0) MShape } }
```

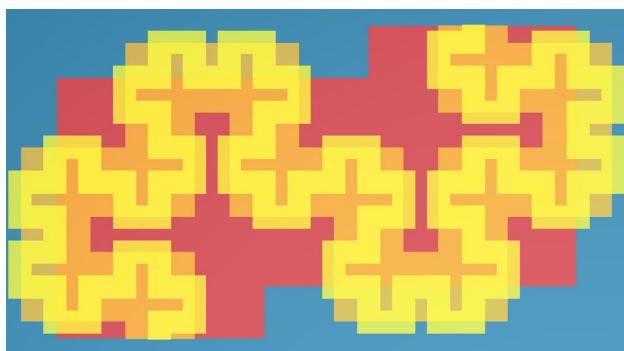


図1 CGA 言語で生成した CGI

3. 伝統和風の形態文法

伝統和風住宅の外観における一番の特徴は入母屋造の屋根であろう。その構成は、下部が寄棟造、上部が切妻造という形態文法を備えている。CGA 言語において、寄棟造の屋根の基本的な形態は roofHip により、切妻造の屋根の基本的な形態は roofGable により生成されるので、それらを組み合わせると、例えば次の様なスクリプトにより入母屋造の屋根の概形が生成できる。

```
GambrelRoof -->
  roofHip(30, 0.9)
  split(y) {
    1.8 * sin(30) : comp(f) {
      bottom : NIL |
      horizontal :
        roofGable(30, 0.0, 0.0)
        comp(f) { vertical : Gable | top : Roof } |
      top : Eaves } |
    ~1 : NIL }
```

上記のスクリプトに、螻羽、大棟、降り棟、隅棟、垂木などのディテール要素の形態文法を追加することで、詳細な伝統和風の屋根が生成される (図2)。ただし、先に述べた CGA 言語の制約通り、例え同一平面上でも切妻の野地面と寄棟の野地面を集約 (Merge) することはできない。また、より伝統的な装いとしての「そり」や「むくり」などは実現できていない。

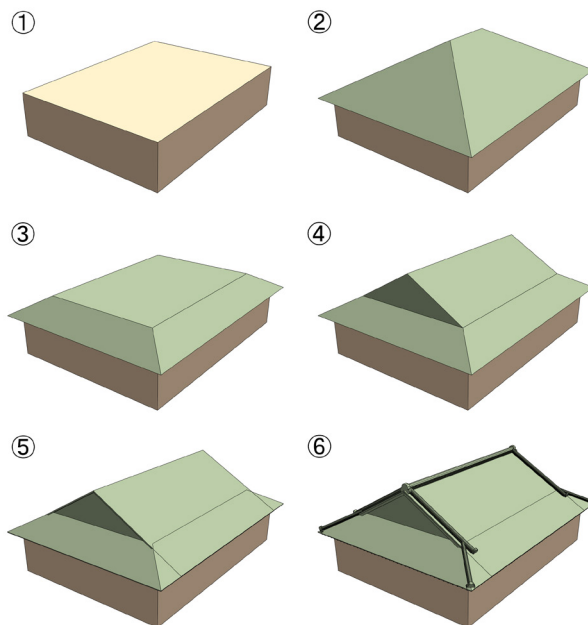


図2 入母屋造の屋根の形態文法

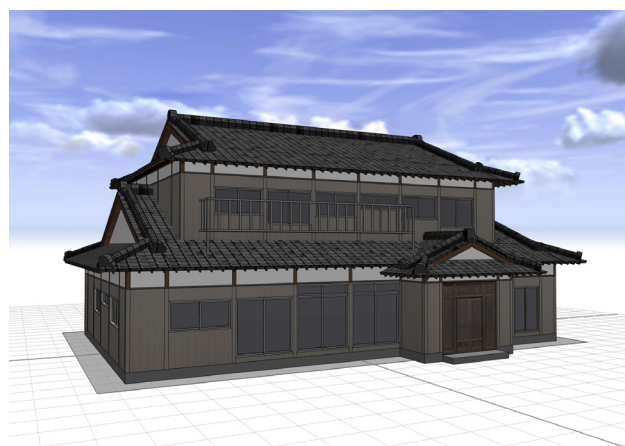


図3 形態文法で生成した伝統和風住宅

CGA スクリプトとして実装した形態文法が、フットプリント（方形のポリゴン）だけから自動的に生成した伝統和風住宅の例を図3に示す。細かく言えば、立面における柱間は軸組に、開口部などの配置は間取りに対応する必要があるが、ここでは住宅内部の構造には立ち入らず、東西南北の方位のみに従って、それらしい大きさの窓をランダムに配置している。

4. 町屋の形態文法

町屋の意匠は地域により様々であるが、外観における共通の特徴は、様々な格子窓を設えた間口の狭い平入りのファサードであろう。

格子自体は日本固有という訳ではなく、その幾何学的な構成について、これまでも様々な研究が行われてきた。G. Stiny 自身も中国の格子窓について、2次元パターンの平面充填による形態文法や、矩形分割によるパラメトリック形態文法（Ice-ray）に言及している⁹⁾。一方、町屋の格子窓は、縦方向の堅子と横方向の横棧が独立したルールで配置されおり、その組み合わせで酒屋格子、呉服屋格子、糸屋格子、仕舞屋格子、吹寄せ格子などの装いを見せる¹⁰⁾。その形態文法は、CGA 言語により下記の様なスクリプトとして記述できるであろう。

```
LatticeWindow -->
  offset(-0.045)
  comp(f) {
    inside : HorizontalArrange VerticalArrange |
    border : extrude(-0.08) Frame }

HorizontalArrange -->
  split(y) { ~scope.sy / 4 : NIL |
    { 0.016 : Muntin | ~scope.sy / 4 : NIL } * }

VerticalArrange -->
  split(x) { ~0.144 : VoidArrange |
    { 0.039 : Mullion | ~0.144 : VoidArrange } * }

VoidArrange -->
  split(x) { ~0.03 : NIL |
    0.027 : ShortMullion | ~0.03 : NIL |
    0.027 : ShortMullion | ~0.03 : NIL }
```

スクリプトの数値部分をパラメータ化すると共に、平格子、出格子、釣格子などの構造的な形態文法を追加することで、様々な意匠の格子窓を詳細に生成することが可能である（図4）。

町家の屋根は一般に切妻造であるが、roofGable は自動的に棟を長手方向に取るので、間口の狭い町家のボリュームにそのまま適用すると正面ファサードは必ず妻側になる。roofGable には棟の方向を制御するためのパラメータもあるが、必ずしも意図した通りには生成されない。これを解決する方法として、例えば次の様なス

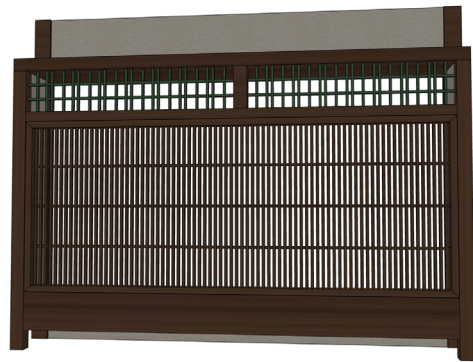


図4 形態文法で生成した仕舞屋格子

クリプトにより、間口方向を N 倍した仮想ボリュームで切妻造の屋根を生成し N 分の 1 に縮小・移動すれば、確実に平入りの切妻造の屋根の概形が生成できる。

```
GableRoof -->
  alignScopeToGeometry(yUp, any, longest)
  s('1, '1, '4)
  roofGable(30, 0.9, 0.45 * 4, false)
  s('1, '1, '0.25)
  t(0, 0, 0.45 * 3)
  comp(f) { top : Roof | side : Gable }
```

CGA スクリプトとして実装した形態文法が、フットプリントだけから自動的に生成した町屋の例を図5に示す。なお、図3と同様に、内部の間取りなどは考慮しておらず、格子窓や格子戸の配置はパターンをランダムに適用している。

5. 合掌造りの形態文法

世界遺産で知られる白川郷・五箇山の合掌造り集落は、かつて荘川沿いに多数存在していた。しかし、高度経済成長期に取り壊されたりダム底に水没するなど、そのほとんどが消失し、今日となって失われたかつての集落景観が偲ばれる。



図5 形態文法で生成した町屋

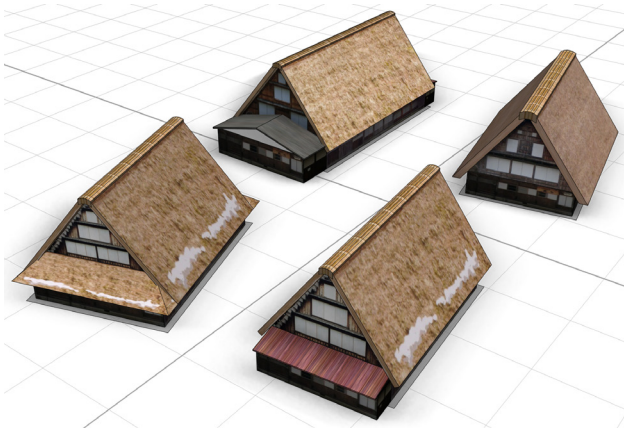


図6 形態文法で生成した合掌造り

合掌造り民家の外観における特徴は文字通り茅葺きの合掌屋根であるが、細かく見ると白川郷では切妻風であるのに対し、五箇山では入母屋風の形態も見受けられる。形態文法の観点から分析すると、切妻風の合掌屋根の概形は roofGable で簡単に生成できるが、入母屋風の合掌屋根の概形は3章で示した方法では上手く生成できず、根本的に異なる形態文法が必要である。一方、多くの合掌造り民家では近代的な生活に適応するために妻側が増築されており、その規模により片流れや切妻の鉄板葺き屋根が掛けられている¹¹⁾。

実装した CGA スクリプトが生成する合掌造り民家のバリエーションを図6に示す。ムナガヤやカンザンガヤなどのディテール要素の形態文法などを追加することで、合掌造りらしい意匠に配慮してある。なお、合掌屋根の平側の形状は正確には棟が少し張り出した台形状であり、また手斧梁により下屋等が設えられている場合には屋根に微妙な段差がある様であるが、これらについては実現できていない。

以上、CGA 言語による日本民家の形態文法を用いて生成された白川村荻町地区について、城山展望台と同じ方向から見た景観を図7に示す。



図7 形態文法で生成した白川村荻町地区

6. おわりに

歴史的・文化的に継承されてきた建築デザインの構成原理は、これまでも様々な形式で言及されてきたが、具体的に実行可能な形態ルールとしての蓄積は未だ薄いと言わざるを得ない。本報で示した外観に限定した形態文法でも、複雑な屋根形状の再現や、窓上に設えられる庇等の配置など、まだ不明・不十分な点は数多く残されている。

一方、構築した CGA スクリプトを用いれば、伝統的街並みを簡便に再現することが可能であり、生成されるデータは3次元プリンタで模型にするなど様々な活用も検討できるであろう。

今後の課題としては、本報で実現した日本民家の形態文法に軸組構造や室内の間取りの生成まで含めることで、建築全体としても矛盾のない形態を生成にすることが挙げられる。

[参考文献]

- 1) G. Stiny and J. Gips : Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture, IFIP Congress 71, 1971
- 2) W. Mitchell : The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition, The M.I.T. Press, 1990
- 3) 青木義次 : スキーマ・グラマーを用いた伝統的空間構成の分析、日本建築学会計画系論文報告集 第494号、pp.153-159、1997年4月
- 4) 渡辺俊、渡辺仁史 : 建築設計のための知識表現モデルに関する研究、日本建築学会計画系論文報告集 第443号、pp.71-78、1993年1月
- 5) P. Müller, P. Wonka, S. Haegler, A. Ulmer, L. Van Gool : Procedural modeling of buildings, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006, Volume 25 Issue 3, July 2006, pp. 614-623, 2006
- 6) C. Steinitz : A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design, Esri Pr, 2012
- 7) S. Watanabe and H. Kitada : Generative Grammar of Modern Japanese City Planning, Proceedings of the 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014), pp.555-564, 2014.5
- 8) 熊倉永子、村上暁信、山本幸子、石川幹子 : プロシージャルモデリングによる津波被害を受けた沿岸集落の再現、ランドスケープ研究、78(5)、pp.697-702、2015
- 9) G. Stiny : Ice-ray: a note on the generation of Chinese lattice designs, Environment and Planning B, 1977, volume4, pp.89-98
- 10) 渡辺俊、葛城桂子 : 奈良町における町並み景観保全のための町屋の意匠構成要素に基づく造形ライブラリーに関する研究、日本建築学会計画系論文集、第562号、pp.329-335、2002年12月
- 11) 白川村教育委員会 : 白川村の合掌造集落-重要伝統的建造物群保存地区白川村荻町保存計画見直し調査報告書-、1987

*1 筑波大学システム情報系・教授・博士(工学)