JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	本棚シーンのルールベース生成
Author(s)	北，直樹；宮田，一乗
Citation	Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム予稿集，2010：#17
Issue Date	2010-06-26
Type	Conference Paper
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/12077
Rights	北直樹，宮田一乗，Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム予稿集，2010，#17．本著作物は画像電子学会の許可のもとに掲載するものです。
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

本棚シーンのルールベース生成

Rule-based modeling of a scene with bookshelves

北 直樹 † 宮田 一乗 †

Naoki KITA† and Kazunori MIYATA†

† 北陸先端科学技術大学院大学

† Japan Advanced Institute of Science and Technology

E-mail: {s0950018,miyata}@jaist.ac.jp

1 はじめに

3D オブジェクトのモデリングは，ハードウェアの性能向上に伴いその規模やディテールは膨大かつ詳細なものが求められる傾向にある．しかしそれらを手作業で制作すると開発コストが大きくなる．そこで作業の効率化のため，コンテンツのプロシージャル生成や自動生成などの技術が重要になってくる．これらの手法を用いることにより，制御パラメータを変化させることで生成モデルにバリエーションを与えることが可能となる．つまり，プロシージャル生成を行うことにより，自動的あるいは半自動的にコンテンツを生成することができ，詳細な形状の制御に関してはパラメータの制御で行うことができる．その結果，モデルの制作に費すコストを大幅に削減することが可能となる．

本論文では，ルールベースの文法を用いた本棚および本棚シーンのモデリング手法を提案する．ルールを追加していくことで容易に様々なバリエーションのモデルを生成することが可能である．また，人工の構造物によく見られる反復構造や表現対象物の階層構造を考慮したモデリングを行うことで，従来的な制御パラメータを用いたバリエーション付け以上に多様なバリエーションのモデルが生成可能であることを示す．

2 関連研究

2.1 文法ベース・モデリング

文法を用いたモデリングは自然形状の生成から建造物の生成まで様々な対象に用いられている．L-System[1] は植物の生成手法として広く用いられている．L-System では初期状態に置換規則を再帰的に適用していくことで自己相似的な図形を生成することが出来る．CityEngine[2] ではこの L-System を拡張することで道路ネットワークの生成に応用している．また，ビルの詳細のモデリングには Shape Grammar[4] や Split Grammars[5]，CGA shape[6] などが用いられる．

2.2 規則性に基づく形状解析

建築物に見られる対称性や規則性は多くの場合経済的，製造的，機能的あるいは美的配慮の結果と考えられる [7]．多くの研究が対象物の持つ対称性や構造上の規則性に基づく形状解析からモデルの変形やスキャンしたモデルの再構築などを行っている [8, 9, 10]．

2.3 自動生成

自動生成では文法ベース・モデリングと同じく，各種制御パラメータを変更することで様々なバリエーションのモデルが生成可能である．野村らは大規模工場の景観の自動生成手法を提案した [11]．この手法では建造物全体のシルエットを手書きで入力することで工場の概形を，そしてパラメータにより工場を構成する各部位のレイアウトを制御することができ，生成される工場にバリエーション付けすることが出来る．

2.4 文脈自由デザイン文法

本研究では実装にあたり，Structure Synth[12] を用いた．Structure Synth では一般的なプログラミング言語とは異なり，文脈自由デザイン文法 (Context Free Design Grammar，以降 CFDG を記す) をベースとしたスクリプト言語 EisenScript により 3DCG 制作を行う．CFDG は Chris Coyne によって形式言語の文法を拡張し CG に応用出来るようにしたものである．CFDG の実装としては Context Free Art[13] がある．Context Free Art は形式言語を 2 次元に拡張したものであるが，Structure Synth は Context Free Art を 3 次元に拡張したものである．

3 本棚のモデリング

3.1 本棚のモデリング

本棚は本を収納するための備品の一種であるが，図書館や書店，オフィスをはじめ，家庭内でも家具として使用さ

れており，多種多様なものが存在する．ここでは，本棚を図 1 の 2 種類に限定してモデリングを行う．図 1 左の本棚は一般的な本棚であるが，近年では書店をはじめとして図 1 右に示すように下段数段分を上向きに傾斜させた本棚が多く散見されるようになってきた．このタイプの本棚では，下段が傾斜しているため下段の本が見やすくなる．また，本箱の基部を裾広がりにして，一歩後ろへ下がらなくても題名が読めるようになっている [14]．そのため，書店でも特に広い通路が確保できる大型書店ではこの種の本棚が主流であると考えられる．逆に，小型の書店や個人の本棚は図 1 左の本棚が主流であると考えられる．

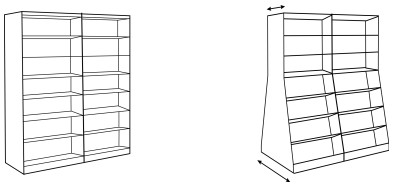

図 1: 左：一般的な本棚, 右：下段を傾斜させた本棚

これを参考に，ルールベースでのモデリングを行う．本棚は外枠と棚板から構成されているので，これを EisenScript でルールとして記述すると以下のようになる：

```
rule bookshelf {
  shelf_frame
  7 * { y height } shelf_board
}
rule shelf_frame { ... }
rule shelf_board { ... }
```

これは 7 段組の本棚をルール化したものである．ルールは最終的にプリミティブ (Box 等) と並進移動，回転移動等の移動操作へと変換される．本棚の例では，棚板を y 軸方向に $height$ だけ平行移動を 7 回繰り返すことで作成する．

図 2 に図 1 の本棚を参考にモデリングしたものをレンダリングした結果を示す．傾斜のついた本棚は，実物を観察した結果から 5° の傾斜をつけて再現した．

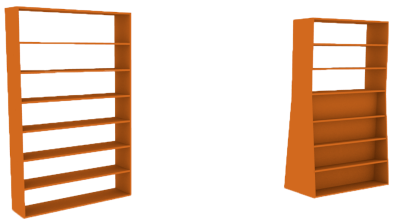

図 2: 本棚のレンダリング結果

3.2 本のモデリング

本はページとカバーから構成されており，本棚同様，以下のようにルール化できる：

```
rule book {
  pages
  cover
}
rule pages { ... }
rule cover { ... }
```

しかし実際に本を観察してみると，背に丸みがあるのが確認出来る (図 3)．図 3 から，ソフトカバーには，本の表紙を包むカバー (ジャケット) のあるものとないものが確認できる．一方のハードカバーにはソフトカバーにない特徴として，“溝” の存在が確認できる．

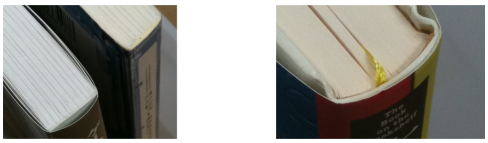

図 3: 左：ソフトカバーの背表紙, 右：ハードカバーの背表紙

そこで本研究では多くの本が背に丸みを帯びていることを考慮し，丸みを実現するために Cylinder プリミティブで形状を再現する．また，本研究では溝の再現は行わない．図 4 に上記ルールによりモデリングした背に丸みを持つ本のレンダリング結果を示す．

図 4: 背に丸みを持つ本のレンダリング結果

3.3 本の本棚への配列

実際の本棚においては，本は必ずしも整理されて配列されているとは限らず，他の本に寄りかかるかたちで斜めになっている本であったり，横積みになっていることが考えられる．本研究では扱うオブジェクト数が多くなるため，計算の効率を考慮して本同士，あるいは本と本棚との衝突検出は行わない．衝突検出を行わずに上記のような配列を実現するため，本手法では複数冊の本をまとめて扱うことで衝突の問題を解決し，また様々な配置方法を実現する．

ここで，数冊の本をまとめたものをロットと呼ぶことにする．いくつかのバリエーションのロットを作成し，それらのロットの内から 2 組を選んで組み合わせたものをカップリングとする．そして，そのようにカップリングしたロットを本棚に配列する．カップリングは，重み付けしたロットのルールを確率的に選択することで行う．以降，ロット

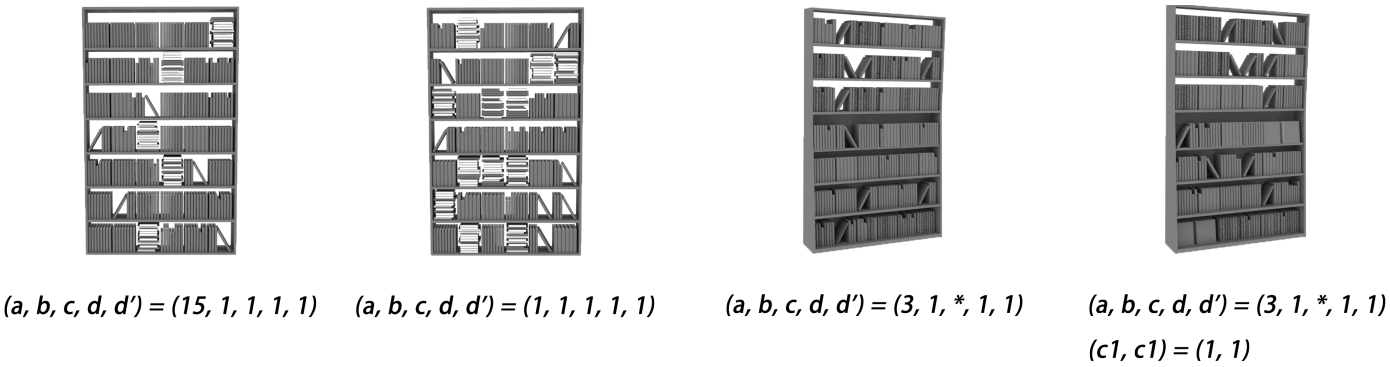

図 5: 本棚のレンダリング結果

の作成，ロットのカップリング，そしてカップリングしたロットの本棚への配置方法について述べる．

ロットの作成：本の配列の問題を解決するために，本研究では複数冊の本をロットというかたちにまとめることを考える．ロットのパターンとして，図 6 左の (a) から (d) を作成する．$(a), (b)$ は普通に配列されたロットであり，(b) に関しては本の厚みが (a) とは異なる．(c) は横積みのロットである．本の背が水平面から見て前後左右のどの方向を向くかでランダムに積み上げていく．そして (d) は斜めになっている本があるロットである．また，本の高さに関しては 2 種類のルールを用意し，それを重みに応じて確率的に選択することでバリエーションを出す．ロットのルールの作成もこれまで同様，繰り返しや平行移動，回転移動で構成される．また，各ロットのルールには重み付けを行う．これにより生成される 3D モデルにバリエーションを持たせることが可能となる．

ロットのカップリング：ロットのカップリングは各ロットのルールから 2 つのルールを重み付けに従い確率的に選択し，それらをルールとしてまとめることで行う．図 6 右は図 6 左のロットを用いてカップリングを作成した例である．

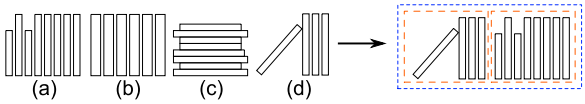

図 6: ロットの作成とカップリング

カップリングしたロットの本棚への配置: カップリングしたロットの本棚への配置は，1 段にカップリングを 3 つ並べ，本棚の段数分だけ積み上げることで行う．このように本，ロット，カップリング，本棚といったある程度のまとまりでルール化していくことにより様々な階層レベルでのバリエーション付けが可能となる．例えば，別のロットのルールを作成し，カップリングの構成に組み込むことで局所的な変更が可能である．またカップリングや配置方法を変更することで比較的大きな範囲での変更を施したモデルも生成可能である．

	(a)	(b)	(c)	(d)	(d')
$(r1)$	15	1	1	1	1
$(r2)$	1	1	1	1	1
$(r3)$	3	1		1	1
$(r4)$	3	1		1	1

表 1: 各モデルにおける各ロットの重み付け

3.4 本棚の生成結果

本棚のレンダリング結果を図 5 に示す．書籍は B5 サイズと A4 サイズのものを用意し，本棚は製品カタログを参考に，1 段に 48 冊収納でき，1 段の高さは 350mm の 7 段組とした．

表 1 は図 5 の $(r1)$ から $(r4)$ における各ロットの重み $(weight)$ をあらわした表である．ただし，(d') は (d) のロットにおいて斜めになっている本の向きを反転させたロットである．$(r1)$ は (a) から (d') に $(15, 1, 1, 1, 1)$ の重み付けを行ったロットをカップリングし配置したものである．$(r2)$ は (a) から (d') に等しい重みをつけたものである．

$(r3), (r4)$ は下段が傾斜している本棚に本を配置したものをレンダリングした結果である．これらでは傾斜している棚とそうでない棚で適用するルールを分けた．上半分の傾斜のない棚には $(r1), (r2)$ 同様のルールをそのまま適用した．傾斜がある下半分の棚には図 6 のルールを以下のように変更したルールを作成し適用した：

```
rule lot_rotated {
  { rx 5 } lot
}
```

rx により x 軸まわりに $5°$ 回転させることで，傾斜に対応させる．これらのロットからなるカップリングをを $c1$ と

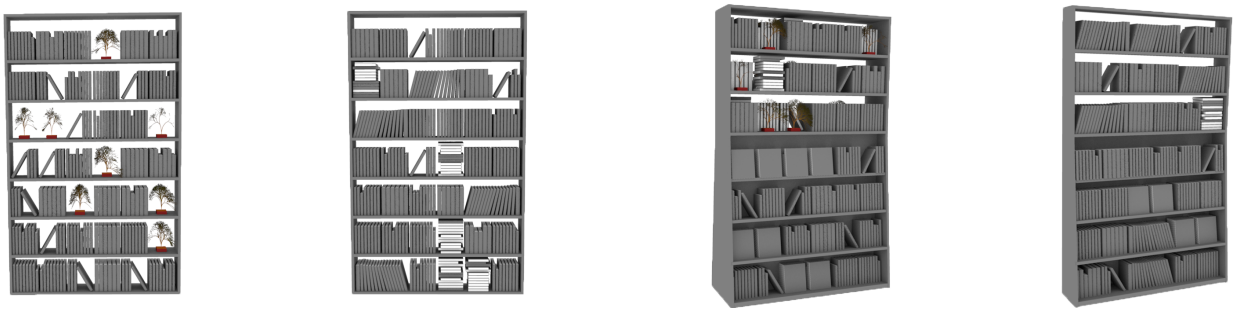

図 7: 生成モデルの階層別バリエーション付け

する．また表紙が見えるような配列 (面陳列) を実現するため，図 6(a) を回転させたものも用意した．これを 2 組セットにしたものを $c2$ とする．図 5($r4$) では $c1, c2$ に等しい重みを設定した．ただし，図 6(c) の横積みロットは不自然に感じられるため除外した．

3.5 生成モデルの階層別バリエーション

これまでのモデリングでは本，ロット，カップリング，本棚と階層構造を意識したモデリングを行ってきた．本には高さや厚さの違いを持たせた．また，ロットはそれぞれルールごとに重み付けされており，その重みに従い確率的にカップリングされる．

上記に加えてルールベースのモデリングでは，階層構造に注目したバリエーション付けが容易に実現できることを，ロット，カップリングの各階層レベルにおけるバリエーション付けで示す．

ロット階層のバリエーション：ロット階層のバリエーション付けのため，ここでは新たに植物ロットのルールを作成した (図 8 左)．植物自体もルールで記述されており，ランダムな方向に成長するため，生成のたびに変化する．植物ロットは他の本ロットと全く同様に扱われるため，植物ロットのルールを追加するだけで図 7 左のように容易に本棚に配置することが可能である．書店や図書館では見られないが，個人の本棚やオフィスの本棚ではこのように，本以外のもの (植物以外にもファイルや収納ケースなど) が配置されることがある．そのような場合にも容易に対応することが可能である．

カップリング階層のバリエーション：ロットの場合同様に，カップリング階層のルールとして，新たに図 8 右のような本からなるルールを作成した．これらはカップリング階層のルールとして扱うことで 2 つ分のロットの代替をすることが可能となる．これによりロットレベルでのバリエーション付けよりも比較的大きな変化を与えることが可能となる (図 7)：

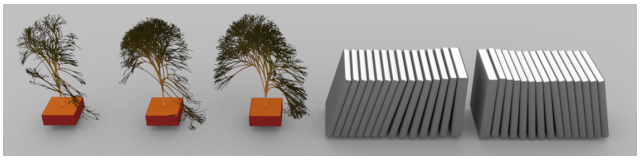

図 8: 左：植物ロット, 右：カップリング

4 結果

モデリングした本棚を用いた本棚シーンの生成例を図 10 〜図 13 に示す．図 10 から図 12 では繰り返し配置するという反復を利用し，反復的にルールを適用する際にルールを別ルールで代替することによりバリエーションを与えている．図 10 中央では，本棚を奥から手前に反復的に配置する．この反復的配置を利用し，図 10 右では，反復の途中で bookshelf ルールから椅子と机のルールを含む equipment ルールに代替している．これはスクリプト上では以下のようにして実現出来る．

```
rule arrange_bookshelf maxdepth 6 > equipment {
  bookshelf
  { z offsetZ } arrange_bookshelf
}
rule equipment maxdepth 2 { ... }
```

EisenScript 組み込みの *maxdepth* により最大再帰回数を指定し，< 記号を用いることでルールの代替を実現している．図 10 中央では 8 回だった回数のうち 2 回分を代替している．図 11 では同様のテクニックを利用し，本棚の中央の棚に表紙が見えるように配置 (面陳列) するためにルールの代替を利用している．

また，図 12 では反復的に配置する際に，回転移動させながら本棚を配置することでゆるやかな曲線を描くような配置を実現している．図書館や書店における本棚の配置方法には壁面に平行に配置するウォールシステムと，壁面と直行する向きに配置するストールシステムが知られている [14] が，このような曲線を描くような配置も存在する [15]．

図 13 は神田古書店街のとある店で許可をもらい撮影したものである．参考画像から，本棚の下段や手前には本が

横積みにされている様子が伺える．このような本の配置は他の古書店にも多く見られた．この特徴を再現するために，横積みロットの適用箇所を本棚下段に限定した．また，本棚の手前にも横積みのロットを配置した．本の背の方向などを適切に変更し，積み重なる際には方向がある程度ランダムになるようにルールにバリエーションを用意しモデリングを行った．

5 まとめと今後の課題

本稿では本，本棚そして本棚シーンのルールベース・モデリングについて提案した．ルールの追加や重み付けを制御することで，多彩なバリエーションのモデルが生成可能となる．また，反復構造や階層構造などの構造的パターンを利用した生成モデルのバリエーション付けについても提案した．

本手法の限界：本論文では，ルールベースのプロシージャル・モデリング手法の有効性を示すために Structure Synth[12] を利用した．しかし，Structure Synth で用いられる EisenScript は汎用プログラミング言語が備えているフロー制御構造や条件分岐を持たない文脈自由文法に基づく言語である．これらの特徴により，EisenScript や CFDG が主として用いられるのは，意図しない結果が描かれることを期待したアート作品等の制作においてである．より高度な制御を行うためにはさらなる拡張が必要となってくる．

その他の応用：本論文では本棚シーンのモデリングを行った．図 10 から図 13 に示した通り，参考画像からルールを抽出し，それを元にモデリングを行うことが可能である．これは Structure Synth の本来的な用途である，意図しない結果が描かれるアート制作とはかけ離れている．つまり本研究で行った構造物のモデリングの結果から，建築物などの構造物とアートとを同一のフレームワーク上に構築出来る可能性を見出すことも可能である (図 9).

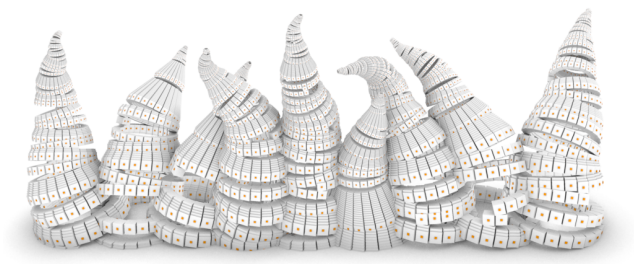

図 9: 構造物とアートの融合例．(サンプル引用．要差し替え)

参考文献

[1] Prusinkiewicz, P. and Lindenmayer, A.,“The Algorithmic Beauty of Plants”, Springer Verlag, 1991.

[2] CityEngine, Procedural Inc., http://www.procedural.com/

[3] Parish, Y. I. H., and Müller, P., “Procedural modeling of cities”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, ACM Press, E. Fuime, Ed., pp301-308, 2001.

[4] Stiny, G., “Introduction to shape and shape grammars”, Environment and Planning B7, p343-361, 1980.

[5] Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F., and Ribarsky, W., “Instant Architecture”, ACM Trans. Graph. 22.3, p669-677, 2003.

[6] Müller, P. Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., and Van Gool., L., “Procedural modeling of Buildings”, ACM Trans. Graph. 25, 3, pp614-623, 2006.

[7] Mitra, N. J., and Pauly, M., “Symmetry for architectural design”, In Advances in Architectural Geometry, pp13-16, 2008.

[8] Mitra, N. J., Guibas, L. J., and Pauly, M., “Partial and approximate symmetry detection for 3d geometry”, ACM Trans. Graph. 25, 3, pp560-568, 2006.

[9] Payly, M., Mitra, N. J., Wallner, J., Pottmann, H., and Guibas, L., “Discovering structural regularity in 3D geometry”, ACM Trans. Graph. 27, 3, 2008.

[10] Bokeloh, M., Berner, A., Wand, M., Seidel, H.-P., and Schilling, A., “Symmetry detection using line features”, Computer Graphics Forum 28, 2, 2009.

[11] 野村健太郎, 宮田一乗, “大規模工場の景観の自動生成”, 第 8 回 NICOGRAPH 春季大会 論文 & アート部門コンテスト予稿集 SI-2, pp1-6, 2009.

[12] Christensen M. H., “Structural Synthesis using a Context Free Design Grammar Approach”, Generative Art Conference, Milano, 2009.

[13] C. Coyne, M. Lentczner, J. Horigan, Context Free Art, http://www.contextfreeart.org/

[14] ヘンリー・ペトロスキー, 池田栄一 (訳), “本棚の歴史”, 白水社, 2004.

[15] 鈴木明, 港千尋 (編), 多摩美術大学図書館ブックプロジェクト, “つくる図書館をつくる”, 鹿島出版会, 2007.

図 10: 図書館における本棚シーンのレンダリング結果と反復構造に基づくバリエーション付け．本棚を繰り返し配置する際，適用されるルールを繰り返しの途中で代替した例．

図 11: 書店における本棚シーンのレンダリング結果と反復構造に基づくバリエーション付け．ルールを代替することにより，本を反復的に配列する際に中央の棚の本を面陳列に変更した例．

図 12: 反復構造を利用した，ゆるやかな曲面を描く書架のモデリング例．本棚を繰り返し配置する際，地面に垂直な軸に対して回転させながら配置した例．画像は [15] より．

図 13: 古書店における本棚シーンのモデリング例．参考画像から，下段の棚には横積みの本が配置されているのが確認できる．これを考慮して本の配置の際，上段と下段で配置されるロット (カップリング) を変更しモデリングした例．