

石垣パターンの生成技法について

宮田 一乗

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

現在、各種のテクスチャを生成するテクスチャ・ジェネレータを試作中である。今回は、その中の石垣パターンの生成技法について報告する。生成に用いるパラメータとしては、積石の平均の大きさ（縦、横、高さ）、積石の粗さ、積石の大きさのばらつき、および積み方の種類等を用いている。また、出力には、表面の高さ情報を表すバンプファイルと、石垣の目地と岩石領域の属性を表す属性ファイルが出力される。生成された石垣パターンを、城郭や外壁にマッピングすることにより、建築分野でのプレゼンテーション用として、より現実感のある画像を生成することができる。

A METHOD OF GENERATING
STONE WALL PATTERN

Kazunori MIYATA

IBM Research, Tokyo Research Laboratory

5-19, Sanbancho, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan

This paper reports a method of generating stone wall patterns, which is part of a texture generator that we are developing in order to represent various kinds of material. In this method, the average size of stone, the roughness of its surface, the variance of its size, the piling type, and so on are used as input parameters. The output data are the bump data file, which represents the stone's height data, and the attribute data file, which represents the stone's attributes. A photo-realistic image of a castle and walls can be obtained by mapping the generated patterns. This is useful in the field of architectural design.

1. はじめに

最近、プレゼンテーション・グラフィックスと称して、コンピュータ・グラフィックス（CG）を説得の手段として用いる傾向が強まってきている。現存しないものを、実際に目に見える画像とすることは、相手を説得させるのに重要な役割を果たすものであり、CGの得意とするところでもある。例えば、クリーン・ルームの気流の可視化⁽¹⁾、頭蓋骨の整形手術のシミュレーション⁽²⁾等が挙げられる。特に、建築分野では、客先への建設プランの提案の際にCGを用いる傾向が強くなってきており、各企業ともこぞって独自のシステム開発に励んでいる。

一方、より現実味を帯びた画像を生成しようとする研究も盛んである。レンダリング手法では、レイ・トレーシング法、ラジオシティ法⁽³⁾といった大域照明アルゴリズムが開発され、現実感あふれる画像が生成されている。また、表現の興味の対象としては、機械部品のような厳密にモデリングできるものから、布地等の柔軟物体（Non-Rigid Object）や⁽⁴⁾、樹木⁽⁵⁾、雲⁽⁶⁾等の自然形状といったような、厳密にはモデリングしにくいものへと移ってきており、その範囲は次第に拡大されてきている。

このような、現実感の追及を目標とした研究にあって、物体の材質感の表現、特にテクスチャの生成法に関する報告例は、他と比較して数多くない⁽⁷⁻¹⁰⁾。その一番大きな理由としては、計算機を酷使して現実感のあるテクスチャを生成しなくても、実際のテクスチャをカメラで入力し、マッピングを施せば十分満足のゆくものが得られるからである。また、そのほうが計算コストも安くすむ。しかし、このような手法では、自分の望んでいるテクスチャを得るのに多大な労力を要する。

また、取り込んだ画像が小さい場合は、その画像を繰り返してマッピングするため、どうしても不自然なものになってしまう。そこで筆者らは、簡単なパラメータで現実感のあるテクスチャを生成するテクスチャ・ジェネレータを、現在試作中である。

本報告では、最近CGを用いる機会が増えている建築分野に目を向け、その分野でのテクスチャの一つである、石垣パターン⁽¹¹⁾の生成技法について述べる。生成に用いるパラメータとしては、積石の平均の大きさ（縦、横、高さ）、積石の表

面の粗さ、積石の大きさのばらつき、および積み方の種類等を用いている。また、出力には、パンプ画像ファイルと属性ファイルとが出力される。生成された石垣パターンを、城郭や外壁にマッピングすることにより、建築分野でのプレゼンテーション用として、より現実感のある画像を生成することができる。

2. 石垣パターンのモデル

本章では、まず石垣パターンについて簡単に述べる。続いて、本報告で用いたモデルと、そのデータ構造について述べる。

2.1 石垣パターンについて

石垣を構築するには、採石された石を石寄せしなければならない。石の積み方は、採石された石の加工度により区別される。積み方の種類としては、自然石をそのまま積む『野面積み』、小石で合端を揃える『打ち込みハギ』、切石のみで積み揃える『切り込みハギ』、積石が六角形になった『亀甲積み』などがある。野面積み、打ち込みハギはほぼ無秩序に積まれており、切り込みハギにおいては、目地を揃えるように積まれている。図1に、各積み方の様子を挙げておく。

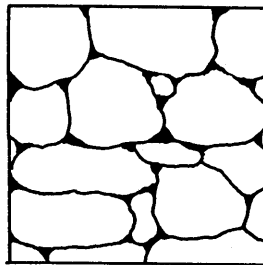


図1(1) 野面積み

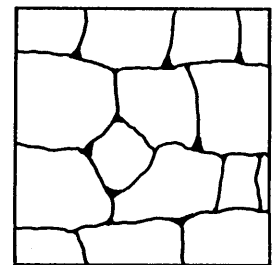


図1(2) 打ち込みハギ

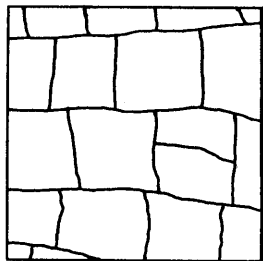


図1(3) 切り込みハギ

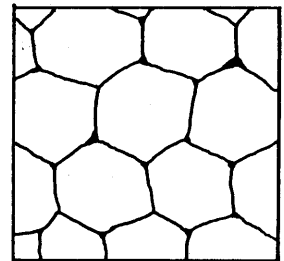


図1(4) 亀甲積み

図1 石の積み方の種類

2.2 石垣パターンのモデル

本報告では、石垣の目地パターンに注目し、その目地パターンを『ノード&リンクモデル』と呼ぶ網目状のモデルで表現する。このモデルを図2に表す。各ノードは、その位置情報と他ノードへのリンク情報を持つ。

ノード&リンクモデルを用いた目地パターンで生成される各閉領域が岩石領域に相当する。岩石領域のテクスチャは、フラクタル^[12]手法を用いて生成する。また、目地パターンの各線分は、最初は直線であるが、後にフラクタル手法で再帰分割し、より自然な形状にする。

最終的に出力されるデータは、岩石表面の凹凸情報を表したパンプファイルと、岩石、目地の属性を表した属性ファイルである。

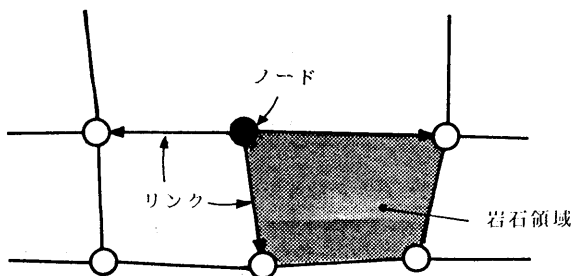


図2 ノード&リンクモデル

2.3 データ構造

次に、前節のモデルのデータ構造を、C言語の構造体調で示す。各ノードは、その位置情報と、他ノードへのリンク情報を持つ。ここで、リンク先は上下左右の4方向に限定した。実際の石垣パターンを観察していただければ明らかであるが、目地ノードのリンク情報としては、この4方向だけで十分である。構造体Edgeは、目地パターンの線分を表しているものである。

```
Position {
    Integer    x, y;
}
```

```
Node {
    Position  p;
    Node     *u, *r, *d, *l;
}
```

```
Edge {
    Node     *n1, *n2;
    Integer  n;    /* No. of point */
    Position *line;
}
```

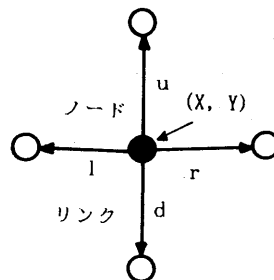


図3 ノードのデータ構造

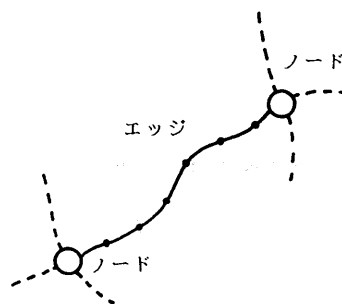


図4 エッジのデータ構造

3. 石垣パターンの生成法

本章では、2章で述べたモデルに基づく、石垣パターンの生成法について述べる。最初に、パターン生成の手順を述べ、続いて、各手順について具体的に述べていく。

3.1 パターン生成の手順

石垣パターンの生成手順は、大きく6つの部分に分けられる。この処理の流れを、図5に示す。

最初に、積石の大きさとばらつき度合、積み方の種類に基づいて、基本パターンを生成する。その後、基本パターンを変形させて不規則性を出す。続いて、基本パターンのノードとリンクの各情報を用いて、岩石領域の探索を行なう。次に、岩石領域に応じて岩石テクスチャを生成し、パンププレーンに岩石表面の高さデータを、属性プレーンに目地と岩石の属性データを埋めこんでいく。

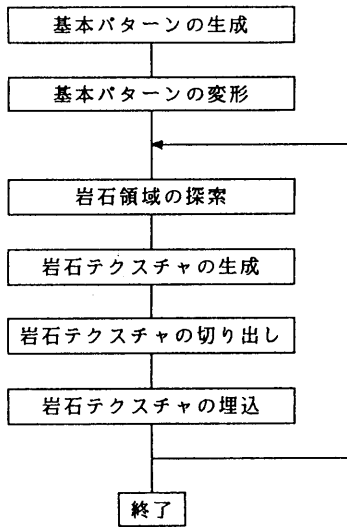


図5 石垣パターンの生成手順

3.2 基本パターンの生成法

まず、一番基本的な情報となる、基本パターンの生成法について述べる。

基本パターンは、積石の大きさ、大きさのばらつき度合、および積み方に基づいて生成する。生成順序を、図6に示す。

最初に、図6(1)のように横方向の線分を生成する。続いて、図6(2)のように縦方向の線分を発生させていく。そして横方向と縦方向の各線分の交点がノードになる。この時、亀甲積みの場合は、パターンを六角形にするために、図7(1)のように、交点が上下の列において交互に発生するようにする。図7(2)の領域Aの部分では、交点が交互に発生していないため、六角形にはならない。

生成した基本パターンの例を、図8に挙げる。

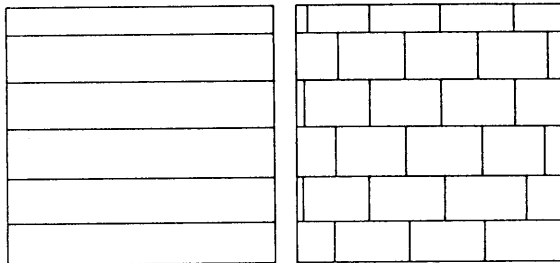


図6(1) 横方向の線分発生 図6(2) 縦方向の線分発生
図6 基本パターンの生成法

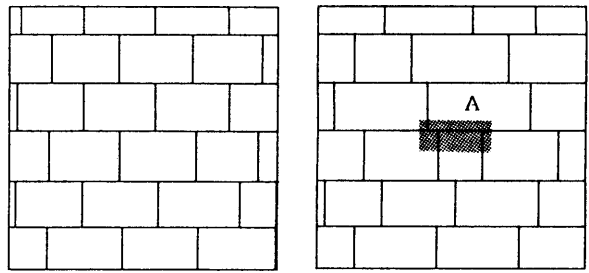


図7(1) 亀甲積みに合うパターン

図7(2) 亀甲積みに合わないパターン

図7 亀甲積み

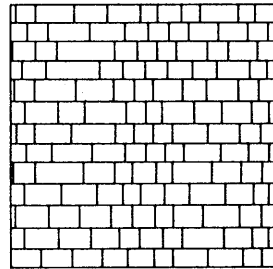


図8 基本パターンの例

3.3 基本パターンの変形法

3.2で生成された基本パターンの各ノードを移動させて変形することで、目地パターンを生成する。このとき、なるべく凸多角形になるように、図9(3)に示すような方向にノードを移動させる。図9(2)に示すような方向に移動させると、凹多角形になってしまう領域が発生する。

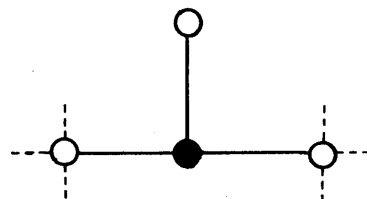


図9(1) 移動前

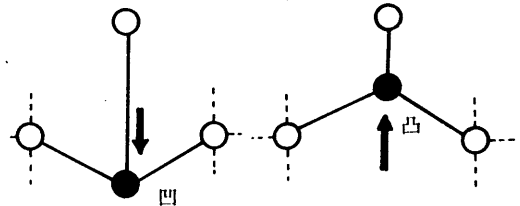


図9(2) 凹になる場合 図9(3) 凸になる場合

図9 ノードの移動

ノードの移動後、ノード間の線分をフラクタル手法を用いて再帰分割し、より自然なパターンを生成する。再帰分割の手法は、図10に示すような中点変位法である^[13]。

図8から生成された目地パターンを、図11に挙げる。図11(1)が基本パターンの変形後の目地パターン、図11(2)が目地線分を再帰分割した後の、目地パターンである。

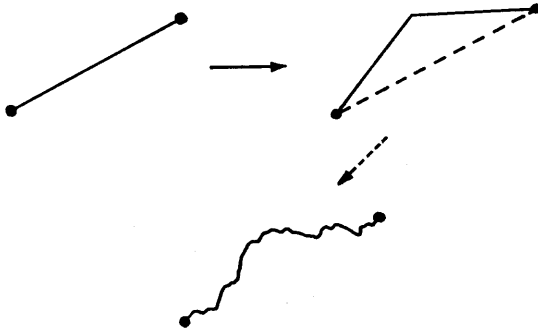


図10 線分の再帰分割法

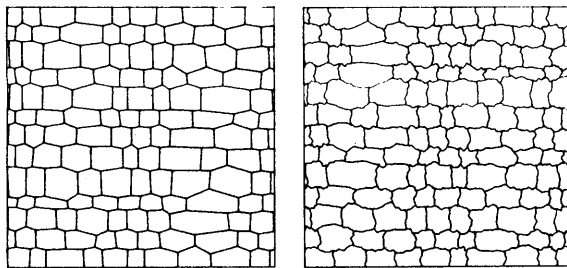


図11(1) 再帰分割前の目地パターン

図11(2) 再帰分割後の目地パターン

図11 目地パターンの例

3.4 岩石領域の探索法

次に、目地パターンの各ノードのリンク情報から、岩石領域の探索を行なう。岩石領域の探索は、各ノードから出発してリンクを辿り、一番内側の閉領域を探せばよい。検索の方向は、右回りに行なうものとする。

図12を例に説明する。各ノードは図3で示したように、U(上)、R(右)、D(下)、L(左)の4方向のリンクを持つ。いま、ノードAのUリンクから始めて右回りに検索するものとする。このとき、ノードBにおける次のリンク先の候補は、Rリンクが第1候補、Uリンクが第2候補となる。これ

を、表にまとめると、表1ようになる。

リンク・ステータス	第1候補	第2候補
U	R	U
R	D	R
D	L	D
L	U	L

表1 次のリンク先の候補

この表をもとに、閉ループになるようにリンクを辿っていけばよい。多くの場合は、四～六角形におさまる。図12の領域Gの場合、ノードAのUリンクから始めて、U→R→R→D→L→LでスタートノードのAに戻ってくる。この場合の岩石領域は六角形になる。

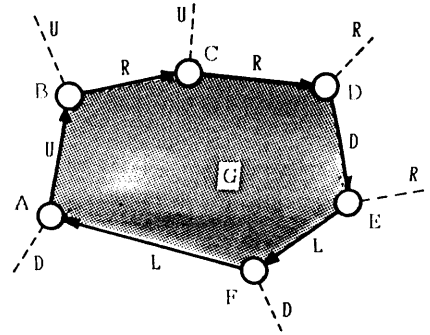


図12 岩石領域の探索法

3.5 岩石テクスチャの生成法

岩石テクスチャの生成には、文献[14]で用いられている手法を適用している。すなわち、あらかじめ岩石プリミティブを用意しておき、その各バッチ三角形を、再帰的に分割していく。岩石プリミティブは、図13に示すような形状をしている。L_a、L_b、Hは生成パラメータとしてあたえられた岩石の寸法(縦×横×高さ)である。

ここで、分割後の三角形の面積Aは式(1)で表される。したがって、式(1)から、分割数nは式(2)で表される。この式を用いて、与えられた最終面積の閾値Th_Aから分割数を求め、岩石形状を生成する。

$$A = L_a * L_b / (16 * 4^n) \quad \dots (1)$$

$$n = \ln(L_a * L_b / 16A) / \ln 4 \quad \dots (2)$$

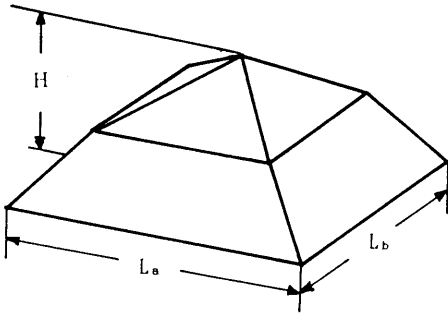


図13 岩石プリミティブ

3.6 岩石テクスチャの埋込法

次に、パンププレーンへの岩石テクスチャの埋込法について述べる。

3.6.1 岩石領域の切り出し

実際に岩石領域を切り出す場合、目地領域を残す必要がある。本報告では、各岩石領域をその重心を中心に縮小変換することにより、目地領域を確保した。以下に、この方法を述べる。

図14に示すように、岩石領域の各頂点を、 d だけ内側に移動して縮小変換を行なう。ここで、点 p を縮小変換した場合、縮小率 t は、式(3)で表される。したがって、縮小変換後の点 q は、式(4)で表される。以降、縮小変換後の岩石領域を、カットポリゴンと呼ぶ。

$$t = (|\bar{p} - \bar{m}| - d) / |\bar{p} - \bar{m}| \quad \dots (3)$$

$$= 1 - d / |\bar{p} - \bar{m}|$$

$$\bar{q} = \bar{m} + t(\bar{p} - \bar{m})$$

$$= \bar{m} + (1 - d / |\bar{p} - \bar{m}|)(\bar{p} - \bar{m}) \quad \dots (4)$$

3.6.2 岩石テクスチャの埋込法

生成した岩石テクスチャを、3.6.1で述べたカットポリゴンで切り出し、その高さ情報をパンププレーンに書き込んでいく。

切り出しの際に、カットポリゴンの重心が岩石プリミティブの中心に位置するように、カットポ

リゴンを平行移動させる。

高さ情報は、スキャン・ライン法を用いて、カットポリゴンでクリッピングしながら、計算していく。

パンププレーンに情報を書き込む場合は、逆変換(平行移動)を行なった後の座標値に対して行なう。

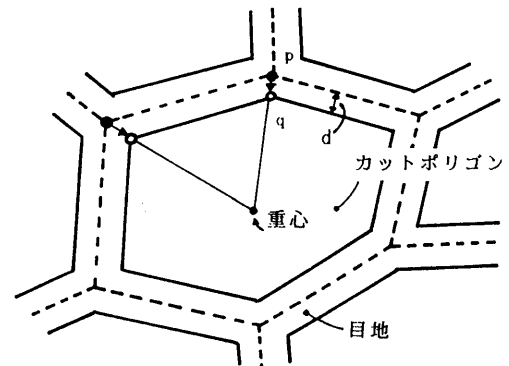


図14 岩石領域の切り出し

4. 石垣パターンの生成例

本章では、各パラメータを変化させて生成した、種々の石垣パターンの例を挙げる。

4.1 レンダリング手法

まず、パンプファイルと属性ファイルを用いたレンダリング手法について簡単に述べる。

パンプファイルは、シェーディング処理に用いる。パンプファイルには高さ情報が記述されているので、隣接点から法線ベクトルは算出できる。

属性ファイルは、岩石領域と目地領域との色を変えるなど、2つの領域を区別してレンダリングしたい時や、岩石の色を変化させたい時などに用いる。

画像生成に用いたコンピュータはIBM 3081、グラフィック・ディスプレイはIBM 5080である。岩石領域の数にもよるが、パターン生成に要した計算時間は、平均して4分程度である。

4.2 石垣パターンの生成例

次に、実際に生成した石垣パターンの例を図15

に示す。表2に示した各パラメータの意味は、以下の通りである。

- L_a : 石の縦の長さ, L_b : 石の横の長さ
- H : 石の高さ
- D : 石の表面の粗さ (0.0 ~ 1.0)
- T : 石の積み方 (亀甲積みかどうか, 0, 1)
- V_v : 石の縦の長さのばらつき (0.0 ~ 1.0)
- V_h : 石の横の長さのばらつき (0.0 ~ 1.0)
- B_v : 石の縦方向の変形の度合い (0.0 ~ 1.0)
- B_h : 石の横方向の変形の度合い (0.0 ~ 1.0)
- M : 目地幅

図15(1)~(3)は、石垣を構成している積石の表面の粗さを変化させた例である。図15(1),(2),(3)の順番で、表面を粗くしてある。

図15(4)は、亀甲積みの例である。積石がほぼ六角形に揃って、規則正しく積まれているのがわ

かる。

図15(5)は、基本パターンを生成する時の、横方向の大きさのばらつきを大きくとった例である。この例では、縦方向の大きさはほぼ揃っているが、横方向の大きさは不均一になっているのがわかる。

図15(6)は、基本パターンを変形させる時のパラメータを大きくとった例である。この例では、図15(1)や図15(4)と比較して、かなり上下に入り組んだパターンになっている。

図15(7)は積石の高さを大きくし、粗削りな石垣を表現した例である。

図15(8)は、細かい石を敷き詰めた例である。小石を一面に均一に敷き詰めた様になっている。

図15(9)は、レンガパターンを生成した例である。大きさのばらつき、変形の度合いを押えることにより、このようなパターンも生成することができる。

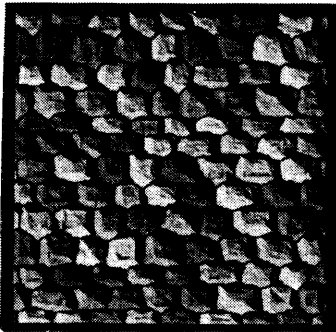


図15(1) パターン 1



図15(2) パターン 2



図15(3) パターン 3

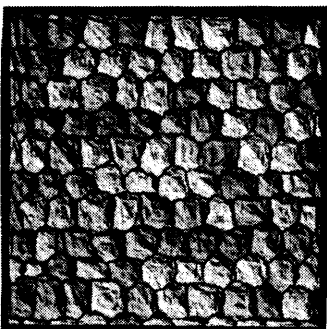


図15(4) パターン 4

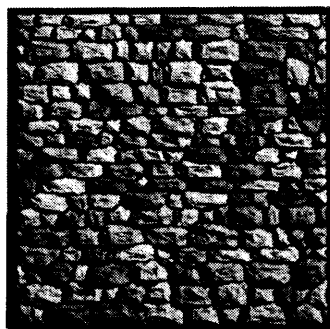


図15(5) パターン 5



図15(6) パターン 6

図15 石垣パターンの例

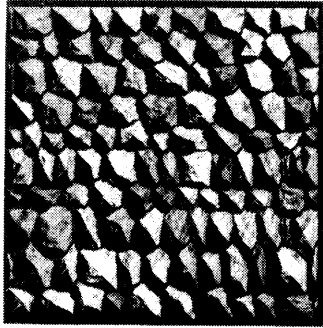


図15(7) パターン7

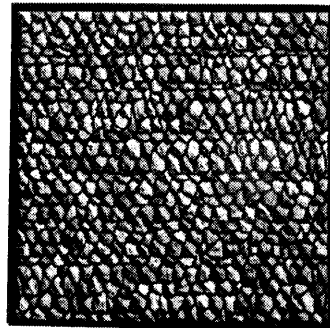


図15(8) パターン8

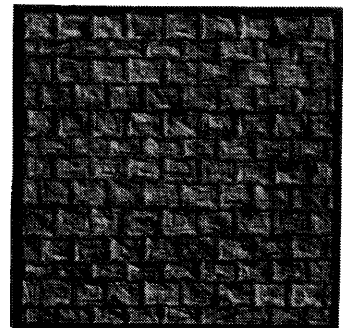


図15(9) パターン9

図15 石垣パターンの例 (続き)

パターン番号	パラメータ									
	L _a	L _b	ll	D	T	V _v	V _h	B _v	B _h	H
1	60	40	10	0.05	0	0.2	0.2	0.3	0.3	1
2	60	40	10	0.2	0	0.2	0.2	0.3	0.3	1
3	60	40	10	0.6	0	0.2	0.2	0.3	0.3	1
4	50	50	10	0.2	1	0.1	0.1	0.3	0.3	1
5	60	40	10	0.2	0	0.2	0.6	0.3	0.3	1
6	50	50	10	0.2	1	0.2	0.2	0.5	0.6	1
7	50	50	80	0.1	1	0.2	0.2	0.3	0.3	1
8	20	20	5	0.2	0	0.2	0.2	0.3	0.3	1
9	60	40	10	0.2	1	0.05	0.05	0.0	0.0	4

表2 生成例のパラメータ

5. おわりに

以上、簡単なパラメータで種々の石垣パターンが生成できる方法について述べた。本手法を用いることにより、現実感のある石垣パターンが容易に得られるようになった。

今後の課題としては、計算時間の短縮、より現実感のある岩石パターンの生成などが挙げられる。より現実感のある岩石パターンを生成するには、その形状のみならず、岩石の組成まで考慮する必要があると考えられる。計算時間に関しては、岩石パターンの生成部分に大部分を費やしているので、再帰分割の高速化が必要である。

また、本手法を拡張して、岩石領域である閉領域に種々のテクスチャを埋めこむことにより、亀甲テクスチャ、魚のうろこ、爬虫類の皮革パターン、パイナップルのような果皮テクスチャなども生成できるようにしていきたい。

参考文献

- [1] 村上,日比,持田, "数値シミュレーションとコンピュータ・グラフィックスを利用した流れの可視化と乱流構造の解析に関する研究", 日本建築学会計画系論文報告集第395号, pp.1-9, 1989
- [2] 安田,橋本,横井,鳥解, "CT画像を用いた形成外科手術計画支援システム", 信学論(D), Vol.J70-D, No.11, pp.2134-2140, 1987
- [3] M.F.Cohen, S.E.Chen, J.R.Wallace, D.P.Greenberg, "A Progressive Refinement Approach to Fast Radio-sity Image Generation", Computer Graphics, Vol.22, No.4, pp.75-84, 1988
- [4] J.Weil, "The Synthesis of Cloth Objects", Computer Graphics, Vol.20, No.4, pp.49-54, 1986
- [5] P.Prusinkiewicz, A.Lindenmayer, J.Hanan, "Developmental Models of Herbaceous Plants for Computer Imagery Purposes", Computer Graphics, Vol.22, No.4, pp.141-150, 1988
- [6] G.Y.Gardner, "Visual Simulation of Clouds", Computer Graphics, Vol.19, No.3, pp.297-303, 1985
- [7] L.Mezei, M.Puzin, and P.Conroy, "Simulation of Patterns of Nature by Computer Graphics", Information Processing 74, pp.861-865, 1974
- [8] J.P.Lewis, "Texture Synthesis for Digital Painting", Computer Graphics, Vol.18, No.3, pp.245-251, 1984
- [9] S.Haruyama, B.A.Barsky, "Using Stochastic Modeling for Texture Generation", IEEE CG&A, pp.7-19, March 1984
- [10] K.Perlin, "An Image Synthesizer", Computer Graphics, Vol.19, No.3, pp.287-296, 1985
- [11] C.I.Yessios, "Computer Drafting of Stones, Wood, Plant and Ground Materials", Computer Graphics, Vol.13, No.2, pp.190-198, 1979
- [12] B.B.Mandelbrot, "Fractals Form, Chance, and Dimension", Freeman, San Francisco, pp.34-65, 1977
- [13] 安居院,宮田,中嶋, "フラクタル次元に基づいたデジタル図形の擬似符号化法", テレビジョン学会誌, Vol.39, No.10, pp979-987, 1985
- [14] 安居院,宮田,中嶋, "三次元山岳形状の等高線からの自動作成法", 信学論(D), Vol.J69-D, No.12, pp.1905-1912, 1986