

拡張型多重濃度共起行列フラクタル法を用いた カラーシームレステクスチャの生成

遠藤 亮正† 徳永 幸生† 山田 辰美‡

あらまし 写真などの画像(テクスチャ)を複数枚貼り合わせても境界が連続的に繋がりに、テクスチャ内部と境界との違和感が無いカラーシームレステクスチャの生成手法を提案する。これまでにシームレステクスチャを生成する手法としては、多重濃度共起行列フラクタル法^[1]が提案されている。しかし、この方法には、対象としたテクスチャに対して適用領域が狭い、画品質が低下する、またカラーテクスチャに対応できないといった問題があった。本稿では、これらの問題を解決するために、拡張型多重濃度共起行列フラクタル法、ならびに画像の濃度分布を操作する濃度分布変換法を提示すると共に、カラーテクスチャに応用して、本手法の有効性を示す。

The Extension Method of Generating Textures Based on Fractals with A Multi-distance Co-occurrence Matrix and It's Application to Color Texture

Akitaka ENDO†, Yukio TOKUNAGA†, and Tatsumi YAMADA‡

Abstract The authors proposed the method of generating Textures based on Fractals with a Multi-Distance Co-occurrence Matrix(hereafter, TFMCM) to solve the problem that a similar texture to the natural texture was not able to be generated. However, the method have two problems. In the case of the value that a lot of pixels in the natural texture is same, generated texture is damaged. In the worst case we can not recognize original texture. Another problem is TFMCM can apply only to monochrome natural textures, not to color ones.

In this paper, we propose the extended-TFMCM method(E-TFMCM) and the method of density-distribution conversion to solve the above two problems. Experimental results show the usefulness of these methods.

1. まえがき

テクスチャマッピングは少ない計算コストで実現できるCGの質感向上に有効な技術である。しかしながら、これまでに提案された一般的なテクスチャ生成法では、マッピング面積がテクスチャデータの面積より大きい場合、テクスチャを繰り返して貼るため境界部分での不連続性は避けられない問題であった。

この境界部分の不連続性の問題の解決法として、任意の向きで繰り返し並べても境界部分での連続性を保証するシームレステクスチャの生成法が提案されている^{[1][2][3]}。しかしながら、この生成法は乱数列から、フラクタル生成法(中点変位法)を応用してシームレステクスチャを生成する方法であるため、自然にあるようなテクスチャの生成は不可能であった。

そこで自然テクスチャへの拡張を目的として、筆者らは、多重濃度共起行列を用いたシームレステク

スチャを生成する方法(Textures generating method of based on Fractals with Multi-distance Co-occurrence Matrices)以下、TFMCM法)を提案した^[1]。TFMCM法は、元となる自然のテクスチャ画像から多重濃度共起行列を算出し、この算出した値をフラクタル生成法における画素値の決定に用いることにより、自然のテクスチャ画像からシームレステクスチャを生成する手法である。これにより、グレースケールの自然テクスチャ画像から上下左右に違和感なく繋がるシームレステクスチャ生成が可能となった。

しかしながら、TFMCM法によりシームレス化可能なテクスチャはグレースケールに限定され、また、元となる自然のテクスチャ画像のもつ画素の濃度分布によっては、生成されたテクスチャが元のテクスチャの形状や質感が全く別のものとなる等の問題があった。

本稿ではこの問題の解決法として拡張型多重濃度共起行列フラクタル法、及び、濃度分布変換法を提案し、カラーテクスチャに応用して、本手法の有効性を示す。

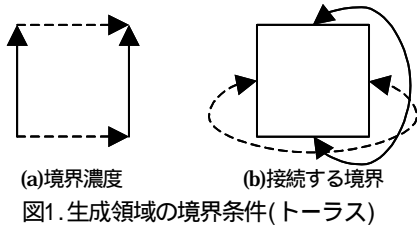
†芝浦工業大学工学部情報工学科
†Shibaura Institute of Technology
‡NTTコミュニケーション科学基礎研究所
‡NTT Communication Science Laboratories

2. シームレステクスチャ

本章では本稿で扱うシームレステクスチャと多重濃度共起行列フラクタル法について説明する。なお、本稿で扱うテクスチャサイズは $2^n \times 2^n$ (n は自然数) とする。

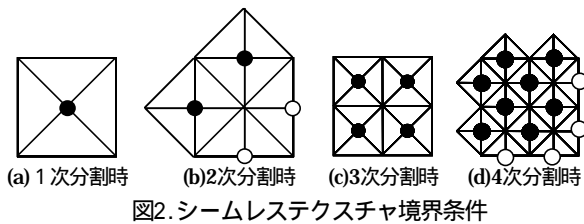
2.1. シームレステクスチャの境界の定義

本稿で扱うシームレステクスチャは、1枚のテクスチャを上下左右に並べた際に、境界が連続的に繋がるテクスチャであり、その生成領域は図1(a)に示す境界条件を持つ。図1(a)に示す生成領域は、生成条件を構成する上辺と下辺(点線矢印)および左辺と右辺(矢印)が、それぞれ同一の辺を共有する特殊な領域であり、そのトポロジーはトーラスをなす領域である。この共有関係から、上辺と下辺及び左辺と右辺の接続関係は図1(b)に示すようになり、この生成領域で生成したテクスチャは上下並びに左右の境界部分において連続性を保つシームレステクスチャとなる。



2.2. シームレステクスチャ生成

次に、図1(a)の領域にシームレステクスチャを生成するTFMCM法について概説する(詳細は文献[1]参照)。まず、領域内の画素をフラクタル法により決定する手順を図2を用いて説明する(詳細は文献[2]参照)。



(1) テクスチャの4頂点に初期値を設定し、この4頂点により構成される正方形の中心の画素値を中点変位法を用いて決定する(図2(a))。

(2) 既に決定されている点のうちの3点と生成領域外の1点により傾き $1/4$ の正方形を構成し、それぞれの正方形の中心の画素値を同様に決定する(図2(b))。

(3) 既に決定されている点の内の4点により構成さ

れる最小の正方形を構成し、それぞれの正方形の中心の画素値を決定する(図2(c))。

(4) 既に決定されている点の内の4点により構成される最小の傾き $1/4$ の正方形を構成し、それぞれの傾き $1/4$ の正方形の中心の画素値を決定する(図2(d))。

(5) (3)(4)を全画素値が決定されるまで繰り返す。

なお、手順(1)で設定する初期値の4頂点は図1の性質から1つの点を共有するので共有される1点のみ設定する。また、手順(2)および(4)における領域外の2点は図1の性質を利用し、領域内の点を参照しその点の画素値として計算する。

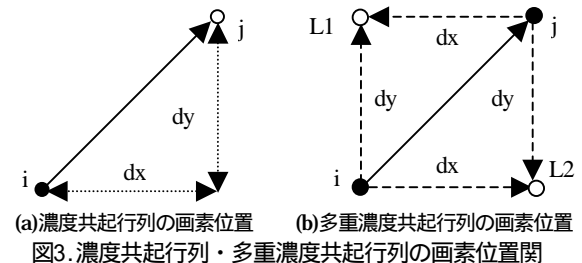
2.3. 濃度共起行列

TFMCM法で用いる濃度共起行列は式(1)で表される。

$$C(i, j; dx, dy) = \sum_x \sum_y \delta(V(x, y) - i) \cdot \delta(V(x + dx, y + dy) - j) \quad (1)$$

式(1)において、 (x) は $x=0$ のときのだけに1をとる関数、 $V(x, y)$ は位置 (x, y) の画素値を表し、計算範囲は $0 \leq x < 2^n - dx, 0 \leq y < 2^n - dy$ である。つまり、 $C(i, j; dx, dy)$ は、 x 方向に dx 、 y 軸方向に dy 離れた2点の画素値がそれぞれ i, j である画素の組み合わせの個数を示すものである(図3(a)参照)。

フラクタル法で生成する際に利用する濃度共起行列は、それぞれの生成過程での各頂点と決定対象画素である中心との距離を dx, dy として算出されたものを利用する。例えば図2(b)の場合では、濃度共起行列は (dx, dy) は $(2^{n-1}, 0), (-2^{n-1}, 0), (0, 2^{n-1}), (0, -2^{n-1})$ の4つである。このうち $(-2^{n-1}, 0), (0, -2^{n-1})$ は $(2^{n-1}, 0), (0, 2^{n-1})$ の転置行列となるので、 $(2^{n-1}, 0), (0, 2^{n-1})$ の2つを利用する。図2(c)の場合では $(2^{n-2}, 2^{n-2}), (-2^{n-2}, 2^{n-2})$ の2つを利用する。



2.4. 多重濃度共起行列

TFMCM法で用いる多重濃度共起行列は式(2)で

表される。

$$Mm(Vp_1, Vp_2, Vp_3, Vp_4) = [Em1(k), Em2(k), Em3(k), Em4(k)] \quad (2)$$

式(2)で、 m はフラクタル生成法における分割次数、 $Vp_x(x=1,2,3,4)$ は分割次数 m で画素値決定に用いられる正方形または傾き $/4$ の正方形の各頂点同様の位置関係にある画素の画素値を示し、画素の位置は正方形の場合には左下、傾き $/4$ の正方形の場合には下を P_1 とし、正方形の場合には左上、傾き $/4$ の場合には左が P_4 となるように反時計回りに順に番号が振られている。 $Emx(x=1,2,3,4)$ は、列ベクトルである。このベクトル $E(k)$ は、濃度共起行列 $C(i,j;dx,dy)$ の要素である 2 点を底辺の端点とする直角 2 等辺 3 角形の頂点の位置の画素値が k である組み合わせ個数を示すものであり、底辺を対称軸とするそれぞれの頂点に関してあらかじめ算出しておく(図 3(b)参照)。多重濃度共起行列を構成するそれぞれの Emx に対応する濃度共起行列 $C(i,j;dx,dy)$ は、

$$\begin{aligned} Em1 &: C(Vp_1, Vp_2; dx_{12}, dy_{12}) \\ Em2 &: C(Vp_2, Vp_3; dx_{23}, dy_{23}) \\ Em3 &: C(Vp_4, Vp_3; dx_{43}, dy_{43}) \\ Em4 &: C(Vp_1, Vp_4; dx_{14}, dy_{14}) \end{aligned} \quad (3)$$

である。ただし、 dx_{mn}, dy_{mn} は、 P_m と P_n の x 方向並びに y 方向の距離を示すものとする。

多重濃度共起行列を構成する Emx は、決定対象点側の頂点の位置に応じて選択する。

2.5. 多重濃度共起行列を用いたテクスチャ生成法

多重濃度共起行列を用いたシームレステクスチャ生成法である TFMCM 法(Textures generating method of based on Fractals with Multi-distance Co-occurrence Matrices)について説明する。テクスチャの領域内の画素の決定の順序については、2.2 節で説明した図 2 に準じて決定する。

TFMCM 法は以下の手順で行われる。

(1) 1 つの頂点を共有する 4 頂点(P_{init})とこの 4 頂点により構成される正方形の中心(P_c)の画素値を濃度共起行列を用いて、以下の式(4)の J_1 を最大とする Vp_{init}, Vp_c を P_{init}, P_c の画素値として決定する。

$$J_1 = C(Vp_{init}, Vp_c; 2^{n-1}, 2^{n-1}) + C(Vp_{init}, Vp_c; -2^{n-1}, 2^{n-1}) \quad (4)$$

(2) 既に決定されている点の内の 3 点と生成領域外の 1 点により $/4$ の正方形(P_1, P_2, P_3, P_4)を構成し、そ

れぞれの傾き $/4$ の正方形の中心(P_c)の画素値を以下の式(5)の J_2 を最大とする Vp_c を P_c の画素値として決定する。

$$J_2 = C(Vp_1, Vp_c; 2^{n-1}, 0) + C(Vp_c, Vp_2; 2^{n-1}, 0) + C(Vp_c, Vp_3; 2^{n-1}, 0) + C(Vp_4, Vp_c; 2^{n-1}, 0) \quad (5)$$

(3) 既に決定されている点の内の 4 点により構成される最小の正方形(P_1, P_2, P_3, P_4)を構成し、その中心(P_c)の画素値を多重濃度共起行列を用いて算出する。まず多重濃度共起行列 $Mm(Vp_1, Vp_2, Vp_3, Vp_4)$ をあらかじめ算出しておいた E を並べることにより作成する。次に以下の式(6)を計算し、 $J_3(k)$ が最大となる k を P_c の画素値として決定する。ここで、 $f(x)$ は $x=0$ の時に 1 を取る関数である。

$$J_3(k) = \sum_{x=1}^4 f(Emx(k)) \quad (6)$$

(4) 既に決定されている点の内の 4 点により構成される最小の傾き $/4$ の正方形(P_1, P_2, P_3, P_4)を構成し、それぞれの傾き $/4$ の正方形の中心(P_c)の画素値を(3)と同様の手順で $J_3(k)$ を算出し決定する。

(5) (3)(4)を全画素値が決定されるまで繰り返す。なお、 $\max(J_3(k)) = 1$ ($\max(x)$ は x の最大値を示す。)の場合には(1)又は(2)と同様に濃度共起行列に基づき濃度値を決定する。

この TFMCM 法により生成したシームレステクスチャを図 4 に示す。

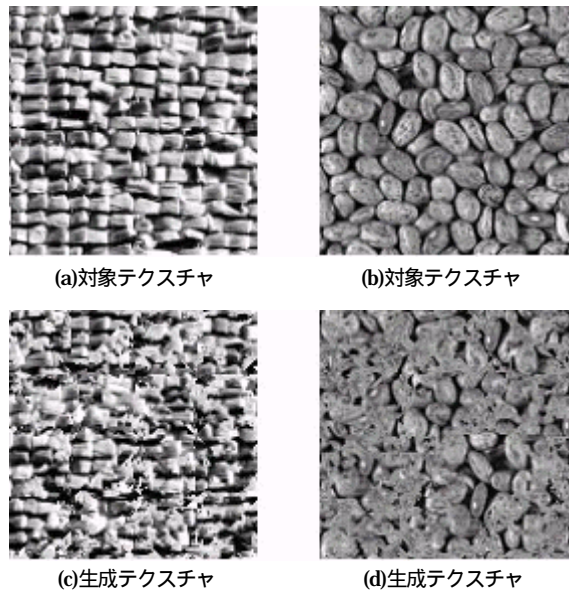


図 4. TFMCM 法による生成テクスチャ

図 4 で示した生成テクスチャは対象としたテクスチャの一部は表現されているが、細部を確認すると形

状や質感が復元されていない部分が目立っている。これは、画素決定時の $\max(J_3(k))$ の値が小さく、2段階の画素関係を有する多重濃度共起行列を用いずに濃度共起行列により画素値を決定していることに起因するものと考えられる。

2.6. 拡張型多重濃度共起行列フラクタル法の提案

そこで我々は、 $\max(J_3(k))=1$ の場合に別処理を行うことにより画品質の向上が可能とした拡張型多重濃度共起行列フラクタル法(Extended-TFMCM (以下、E-TFMCM))を提案する。

E-TFMCM 法は以下の手順で行われる。

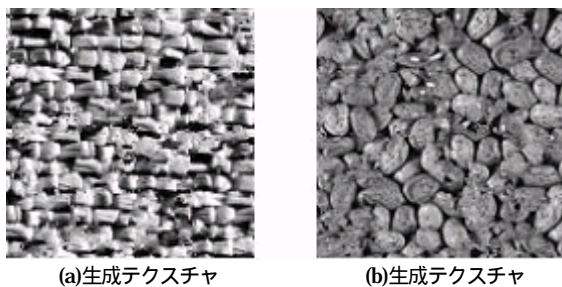
(1) $\max(J_3(k))=1$ のとき、濃度を決定する際に使用する正方形の4頂点の画素値($V_{p_1 \sim p_4}$)の平均値(Ave)を算出する。

$$Ave = (V_{p_1} + V_{p_2} + V_{p_3} + V_{p_4}) / 4 \quad (7)$$

(2) $J_3(k)=1$ である k と(7)で算出した平均値と比較し、最も値に近い濃度を算出濃度 k として決定する。ただし、濃度となりうる k が複数存在する場合には、乱数によって決定する。

TFMCM 法では、 $\max(J_3(k))=1$ のときに決定される濃度は濃度共起行列から決定され、多重濃度共起行列から濃度の決定を行わないが、E-TFMCM 法では、 $\max(J_3(k))=1$ のときにも多重濃度共起行列から効率的に濃度を決定することができる。

E-TFMCM 法による生成テクスチャを図5に示す。また、 $\max(J_3(k))$ と多重濃度共起行列から算出される画素数の関係を表1に示す。ただし、算出する全画素数は式(4)(5)で算出される4画素を除いた16380画素とする。表1の上段はTFMCM法によって生成された画素数を示し、下段はE-TFMCM法によって生成された画素数を示している。図5からわかるように、E-TFMCM法による生成テクスチャは、図4(c)(d)に示したテクスチャよりも画品質が向上している。また、表1よりE-TFMCM法で多重濃度共起行列から生成される画素数は対象としたテクスチャのほぼ全画素数である。

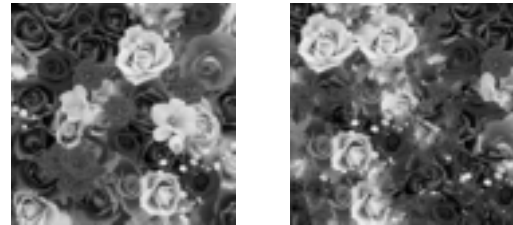


(a)生成テクスチャ (b)生成テクスチャ

図5. E-TFMCM 法による生成テクスチャ

表1. $\max(J_3(k))$ と算出画素数の関係

	図5(a)	図5(b)
TFMCM法	13660	14690
E-TFMCM法	16376	16376



(a)対象テクスチャ (b)生成テクスチャ



(c)対象テクスチャマッピング



(d)生成テクスチャマッピング

図6. 具象的なテクスチャへの適用例

更に、TFMCM 法では困難であった具象的なテクスチャにも、E-TFMCM 法では対応することができる。図6に例を示す。図6(c)(d)は図6(a)(b)を4枚貼り合わせたものであり、矢印は張り合わせた境界を示している。(c)では貼り合わせた境界で模様の不連続

続になっているが、(d)では模様が連続的に繋がり、また、対象テクスチャの原形を保持していることが分かる。

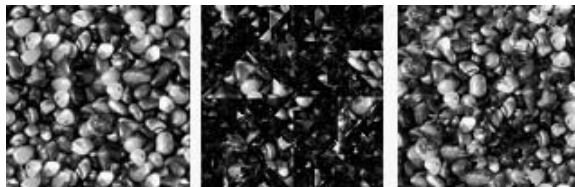
2.7. 復元率を用いた画品質の評価

E-TFMCM 法によって生成されたシームレステクスチャの画品質を復元率を用いて評価する。E-TFMCM 法は、対象としたテクスチャから全く新しいテクスチャを生成する手法であるため、対応するそれぞれの画素を比較して評価することはできない。そこで、E-TFMCM 法の濃度の組み合わせから濃度を決定する特徴を利用し、対象テクスチャと生成テクスチャのそれぞれの濃度ヒストグラムの差分から復元率を算出する。復元率の算出式を(8)に示す。

$$\text{復元率} = \left(1 - \frac{\sum_{n=0}^{255} |K_n - C_n|}{2^n * 2^n * 2}\right) * \frac{C}{K} \quad (8)$$

K_n, C_n はそれぞれ対象テクスチャと生成テクスチャの濃度ヒストグラム、 K, C は対象テクスチャ内と生成テクスチャ内の存在濃度数を示している。

図7に生成テクスチャとその復元率を示す。生成されたテクスチャは、復元率が高いほど画品質が優れていることが分かる。多くの画像を用いて評価を行った結果、生成されたテクスチャの復元率が90%以上であれば、ほぼ高い画品質であったが、稀に復元率が90%以上であっても画品質の低いテクスチャがあった。逆に、復元率が90%以下でも高い画品質のテクスチャも存在した。図5に示した生成テクスチャの復元率は、(a)が94%、(b)が85%である。



(a)対象テクスチャ (b)復元率 54% (c)復元率 91%

図7. 生成テクスチャと復元率

3. E-TFMCM 法の適用領域の考察

3.1. 最大個数差

E-TFMCM 法はテクスチャの濃度の組み合わせを利用する手法であることから、その適用領域は対象テクスチャ内の濃度の画素数に依存する。テクスチャ内の濃度個数を評価する尺度として、最大個数差を用いる。最大個数差とは、対象テクスチャの濃度ヒストグラム中に存在する濃度における画素数の

平均と、最も多い濃度の画素数との差分である。最大個数差が大きい場合、生成されるテクスチャは対象テクスチャ内の最大個数濃度に収束してしまい、画品質は低下する。逆に最大個数差が低ければ、画品質は向上する。最大個数差は低ければ低いほど高い画品質を得られるが、種々の実験の結果、最大個数差の1つの目安として、50以下が望ましい。しかしながら、最大個数差が少ないテクスチャでも、テクスチャ内に存在する濃度数が少ない場合は、ある濃度に収束してしまうことがある。実験より、対象テクスチャ内に存在する濃度数が多いほど高い画品質が得られることが分かっている。

そこで、以下に述べる最大個数差を下げることで、対象テクスチャ内の濃度分布を変更し、対象テクスチャ内に存在する濃度を増加させる濃度分布変換法を導入することにした。濃度分布変換法では、任意の最大個数差、濃度数に変更することができる。

3.2. 濃度分布変換法

濃度分布変換は以下の手順で行う。式(9)に示す i, j はテクスチャサイズ(2^i)であり、 n は濃度数($0 \sim 255$)、 m は存在濃度数である。

(1) 対象テクスチャ(P_{ij})の濃度ヒストグラム(K_n)内に存在する濃度(K)の個数の平均(Ave)を算出する。

(2) テクスチャ内の濃度数を増加させるために、対象テクスチャ内の最大個数差よりも低い値(T_0)を初期状態として与える。最大個数差と平均値が同じ値のときは、平均値よりも低い値を与える。Ave と T_0 を加えた値を T_1 とする。

(3) 濃度ヒストグラム(K_n)中の個数と T_1 との差分を O_n に代入する。

(4) O_n が 0 より大きい時、テクスチャ内で使用していない濃度、もしくは新しい濃度に O_n の値に応じて濃度を割り当てる。この際に、操作の対象とした濃度(B_m)と割り当てた濃度(A_m)の関係を保持する。

(5) 濃度変換が行われ生成されたテクスチャ(W_{ij})に E-TFMCM 法を行いシームレステクスチャ(C_{ij})を生成する。更に(4)で保持された操作の対象濃度、割り当てた濃度の関係に従い、シームレステクスチャ内の濃度の入れ替えを行う。

濃度分布変換法で、任意の最大個数差に変更する場合は、(2)で初期状態として与える T_0 の値を任意の値にする。また、任意の濃度数に変更する場合は、対象テクスチャ内に存在させる濃度数(T_2)を決定し、濃度数が T_2 になるまで T_1 の値を減少させる。

$$Ave = \left(\sum_n^{255} K_n \right) / K$$

$$T_1 = Ave + T_0$$

$$O_n = K_n - T_1 \quad (9)$$

$$\text{if}(O_n > 0) \quad B_m = n, O_m = O_n \quad (m++)$$

$$\text{if}(P_{i,j} = B_m) \quad W_{i,j} = A_m \quad (O_m \text{ 回繰り返す})$$

$$\text{if}(C_{i,j} = A_m) \quad C_{i,j} = B_m$$

これにより対象としたテクスチャの最大個数差と濃度数を自在に操作することができ、E-TFMCM法の適用領域の拡大、画品質の向上が可能となる。最大個数差を操作した生成テクスチャを図8に示す。最大個数差が減少するにつれて、生成されるテクスチャの画品質、復元率が向上している。図8(b)のように、従来のTFMCM法では生成テクスチャの劣化が著しいテクスチャもこの操作を行うことにより、劣化の少ないテクスチャを生成することができる。また、従来のTFMCM法で対応できたテクスチャに対しても、更なる画品質の向上が可能である。図9に図4(a)(b)のテクスチャに濃度分布変換法を施し、E-TFMCM法を行ったテクスチャを示す。

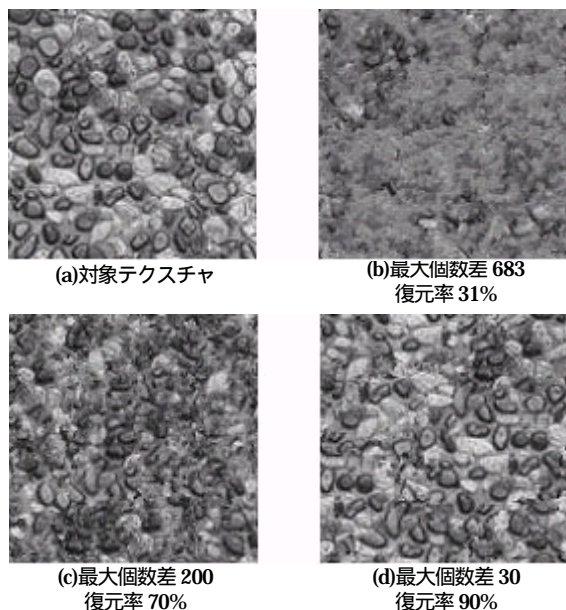


図8. 最大個数差を操作したテクスチャ

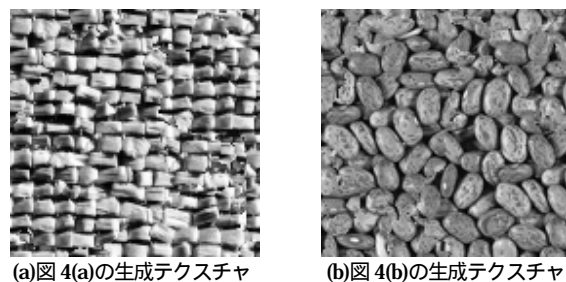


図9. 濃度分布変換法を施した生成テクスチャ

図9の生成テクスチャは、図5の生成テクスチャよりも画品質が高いことが分かる。また、ランダムに選んだ5個のテクスチャの最大個数差を(500, 300, 200, 100, 50)と操作し、その復元率との関係を図10に示す。図10の縦軸は復元率を、横軸は最大個数差を示している。最大個数差が低くなるにつれて、生成されるテクスチャの復元率が上昇し、最大個数差が50以下のときは全てのテクスチャの復元率が90%以上であることが分かる。

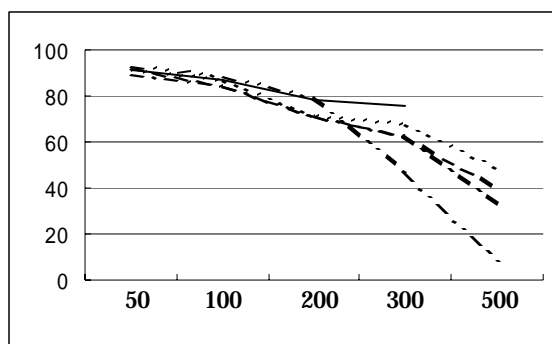


図10. 最大個数差と復元率の関係

4. カラーシームレステクスチャ

これまでに提案してきた手法は、全てグレースケールテクスチャを対象としていた。本章では、E-TFMCM法を用いたカラーシームレステクスチャを生成する手法について述べる。

4.1. カラーシームレステクスチャ生成

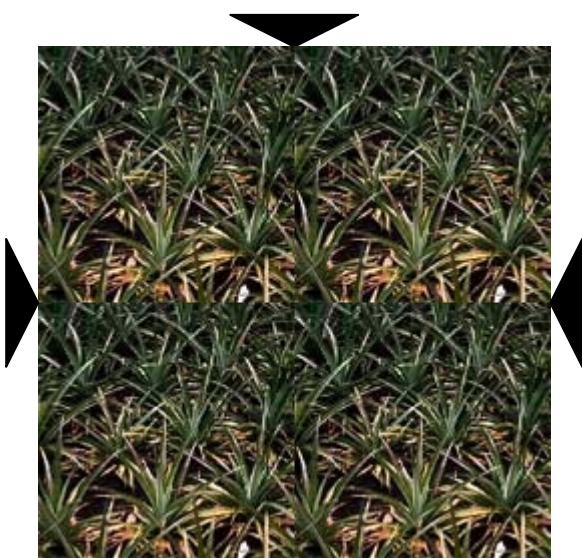
グレースケールテクスチャでは1つの濃度(輝度)のみを持っていたために、E-TFMCM法は輝度に対して行っていた。しかしながら、カラーテクスチャは、RGBの3つの濃度を持っている。シームレス操作は、RGBの1つの要素に対して行う。その決定には、3.1節で示した最大個数差を用いる。最大個数差は小さいほど生成されるテクスチャの画品質が向上するので、RGBの3要素のうち、最大個数差が最も低いものを選択し、E-TFMCM法によりシームレステクスチャを生成する。次に、生成されたシームレステクスチャの濃度と、対象テクスチャの選択した要素の濃度とでマッチング処理を行う。マッチングを行う際には、1画素のRGBを決定するために、近傍画素を参照する3x3のマスクを使用する。そして、生成テクスチャ内のカラー化を行う画素(注目画素)のマスクの濃度と、対象テクスチャのマスクの濃度を比較する。ただし、生成テクスチャの注目画素が境界にある場合は、反対側の境界へ回り込みを行う。この操作により、生成されるテクスチャのシームレス性が保持される。その算出式を式(10)に示す。



(a)対象テクスチャ



(b)生成テクスチャ



(c)対象テクスチャマッピング



(d)生成テクスチャマッピング

図 11. カラーシームレステクスチャの例 1



(a)対象テクスチャ



(b)生成テクスチャ



(c)対象テクスチャマッピング



(d)生成テクスチャマッピング

図 12. カラーシームレステクスチャの例 2

$$M_{x,y}(i,j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 \delta(K_{m+x,n+y} - C_{m+x,n+y}) \quad (10)$$

$$\begin{cases} (i, x = 0 \sim 2^n) \\ (j, y = 0 \sim 2^n) \\ \text{if}(m+x), (n+y) < 0 \quad (m+x+2^n), (n+y+2^n) \\ \text{if}(m+x), (n+y) > 2^n \quad (m+x-2^n), (n+y-2^n) \end{cases}$$

式(10)の (x)は x=0 とときに 1 となる関数であり、(Mxy(i,j))は、生成テクスチャの全画素に対するそれぞれのマスクのマッピング数を示している。また、m,n は近傍画素の位置を決定し、-1 m 1, -1 n 1 となる。更に、(10)で得られた対象テクスチャ、生成テクスチャ間のマッピング数の比較を行い、生成テクスチャの RGB を決定する。

その算出式を式(11)に示す。

$$\begin{aligned} C_{R,G,B}(x,y) &= K_{R,G,B}(i,j) \begin{cases} (i = 0 \sim 2^n) \\ (j = 0 \sim 2^n) \end{cases} \\ S(i,j) &= \text{Max}[M_{x,y}(i,j)] \begin{cases} (i, x = 0 \sim 2^n) \\ (j, y = 0 \sim 2^n) \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

(CR,G,B, KR,G,B) は、それぞれ生成テクスチャの RGB、対象テクスチャの RGB を示し、S(i,j) はマッピングを行った各画素の最大のマッピング数を示している。

マッピング数が最大るとき、対象テクスチャの画素(i,j)にある RGB を生成テクスチャの画素(x,y)に代入する。この操作を全ての画素が算出されるまで繰り返す。カラーテクスチャに関しても、グレースケールテクスチャと同様に、E-TFMCM 法を行う要素に対して最大個数差を下げる操作を行うことで画品質を向上させることができる。また、画品質の高い生成テクスチャは、カラーマッピング時のマッピング数の増加に繋がり、より精度の高いマッピングを行うことが出来る。カラーテクスチャ、及びこれらを 4 枚貼り合わせたテクスチャの例を図 11, 12 に示す。また、矢印はテクスチャを貼り合わせた境界を示している。対象としたカラーテクスチャでは貼り合わせた境界が不連続になっているが、生成されたテクスチャでは境界が連続的に繋がっていることが分かる。また、テクスチャ内の配色についても、対象テクスチャの配色と同等であることが分かる。

4.2. 復元率を用いた画品質の評価

生成されたカラーシームレステクスチャの評価を行う。カラーテクスチャの評価法は、グレースケールテクスチャと同様に行う。ただし、グレースケール

テクスチャでは 1 つの濃度個数の差分を使用していたが、カラーテクスチャでは RGB の 3 要素の濃度個数を使用する。

式(12)に算出式を示す。

$$\text{復元率} = 1 - \frac{\sum_{n=0}^{255} |C_n^{R,G,B} - K_n^{R,G,B}|}{2^n * 2^n * 2 * 3} \quad (12)$$

図 11(b), 12(b)に示したテクスチャの復元率は、それぞれ 88%、83%である。多数のテクスチャを用いて実験をした結果、生成されたテクスチャの復元率が 80%以上であれば、ほぼ高い画品質であった。

しかしながら、2.7 節でも述べたように、稀に復元率が 80%以上のテクスチャでも画品質が低いことがあり 逆に 80%以下でも画品質の高いことがある。

5. むすび

本報告では多重濃度共起行列を使用した拡張型多重濃度共起行列フラクタル法(E-TFMCM 法)と、その適用領域を拡大し、画品質を向上させることを可能にする濃度分布変換法について提案した。

本手法により、複数枚のテクスチャを貼り合わせても、その境界で連続的に模様が繋がるシームレステクスチャを生成することが可能となった。また、生成されたシームレステクスチャにカラー化処理を行うことで、カラーシームレステクスチャを生成することが可能となった。更に、TFMCM 法ではテクスチャの原形を損なってしまうテクスチャに対しても、原形を保持した画品質の高いシームレステクスチャを生成することが可能となった。

今後は、E-TFMCM 法の適用領域を明確化するための新しい評価尺度を検討する。また、生成されるテクスチャの更なる画品質の改善、E-TFMCM 法の適用領域の拡大をするために、多重濃度共起行列の再構成や算出領域の指定法、濃度の選択法等について検討する。

参考文献

- [1] 山田辰美, 橋本秋彦, 下原勝憲, “多重濃度共起行列を用いた自然テクスチャからのシームレステクスチャ生成法”電子情報通信学会, vol.J85-D- , No.2, pp291-299, Feb.2002.
- [2] 山田辰美, 秋元秋彦, 安達丈夫, 下原勝憲, 徳永幸生, “遺伝的アルゴリズムを用いたシームレステクスチャ生成方法”信学会(D-), vol.J82-D- , no.11, pp.2017-2025, Nov.1999.
- [3] 遠藤亮正, 徳永幸生, “多重濃度共起行列を用いたシームレステクスチャ生成法とその限界”, 情報処理学会第 65 回全国大会, 3G-5, pp.2-69-70, March.2003.