

## 「スーラブラシ」：新印象主義的点描画ブラシの実装

渡邊賢悟<sup>†</sup> 宮岡伸一郎<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>けん悟庵, 東京工科大学大学院 バイオ情報メディア研究科

<sup>‡</sup>東京工科大学 メディア学部 メディア学科

## “Seurat Brush”: Implementation of Pointillism Brush following Neo-impressionism Styles

Kengo Watanabe<sup>†</sup>, Shinichiro Miyaoka<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>KengoLab, Tokyo University of Technology, Graduate School, Bionics, Computer and Media Science

<sup>‡</sup>Tokyo University of Technology, School of Media Science

kengo@mediatelier.net, miyaoka@stf.teu.ac.jp

### アブストラクト

新印象主義画家による点描画は、現在でも多くの人々にとって魅力的な絵画技法である。しかし魅力的な技法であっても、細かな点を大量に描画する描法は画家への負担も大きく、現在ではあまり用いられていない。そこで本研究では、短時間で容易に点描を描画できる点描画ブラシの実装を提案する。ユーザが従来のペイントツール同様のブラシ描画を行うと、ストローク部分に多数の点描を自動描画するブラシを作成する。このとき描画する点描に新印象主義の表現を取り入れるため、同主義の代表的な画家ジョルジュ・スーラの2作品「春のグランド・ジャットのセーヌ川」と「ポーズする女たちの習作」、特に後者作品に着目して解析を行う。点描画共通の特徴である「筆触分割」「補色対比」に加え、スーラ独自の「太陽光の描画」と「白絵の具の混色」などの特徴を抽出し、点描画ブラシの表現に活用する。作成したブラシを用いて実際に点描画作品を制作し、その実用性および有効性を示す。

### Abstract

In this paper we present “*Seurat Brush*”, which is a drawing brush tool for making artwork of pointillism on a computer. The drawing process of pointillism is really tough as enormous points need to be put onto a large canvas. Therefore we are providing a new brush tool which can automatically generate a lot of points that look like pointillism along a brush stroke by the user. We extract the drawing features of the existing pointillism paintings to apply them to our brush tool. Among many pointillism artists, we especially focus on George Seurat who was the founder of pointillism. According to the results of our analysis, we obtained two general theories of pointillism which are the divisionism and complementary contrast. In addition we observe that Seurat’s painting has unique features such as the drawing points of sunlight, white color mixture, etc. With our analyzing results, we have built “*Seurat Brush*” which can draw artwork of pointillism more easily and effectively. With our experimental results which are the imitation of Seurat’s masterpiece generated using our brush, we have demonstrated the effectivity and practicality of the “*Seurat Brush*”.

## 1. はじめに

1880年頃に花開いた点描画技法は、現在に至るまで多くの人々の心を惹く魅力的な絵画技法である<sup>[1]</sup>。後に新印象主義と呼ばれることになった点描画家は多くいるが、中でも理論的かつストイックに色彩理論と象徴表現を突きつめ、点描画技法を確立したジョルジュ・スーラの作品群<sup>[2][3][4]</sup>は人々の心をとらえて離さない。

しかしながら、新印象主義の点描画技法は1910年以降に始まるフォーヴィスムへ移行するにもなつて用いられなくなっていった<sup>[5]</sup>。その主な原因は点描作品を仕上げるのにかかる作業負担と難易度であると考えられる。スーラを例にとれば、1891年の早世も要因ではあるが、残した作品点数は多くない。スーラの場合、特に円に近い細かな点で大画面を構成していたこともあり、大変な作業であったろうことは想像に難くない。一方でスーラと並んで代表的な点描画家であるポール・シニャックは多くの作品を残しているが、時を経るごとに点を大型化し、またスーラの形成した色彩理論を緩和していった。これにより理論に縛られがちだった点描画は表現の自由を得ると同時に、そのスタイルを大きく変えることになった<sup>[6]</sup>。実際、シニャックの後期作品は大きな点と絵の具自体の鮮やかな色で構成されており、これが後のフォーヴィスムの流れを生むことになる<sup>[1]</sup>。このように伝統的な点描画は人々にとって魅力的な表現でありながら、用いるのが難しいというジレンマを抱えた表現手法であり、現在では失われつつある描画表現であると言える。

そこで本研究では、コンピュータ上で伝統的な点描画技法を容易に用いることができる点描画支援ブラシツールの実装を提案する。ユーザが従来のペイントツールのように描画するだけで、ストローク部分に適切な点描を自動的に施すブラシを作成する。中でも、新印象主義の代表的な画家であるスーラの点描作品に対象を絞ってその描画特徴に注目し、分析結果をブラシツール実装に活用する。ユーザの意図に沿って、真っ白なキャンバスから、もしくは写真などの既存画像を元にして、スーラ風の点描作品を容易に描くことのできるブラシツールの実現を目指す。

## 2. 関連研究と本研究の位置づけ

### 2.1 関連研究

近年、絵画特徴を解析し画像を生成するNPR系研究が多くなされている。油彩画ではHealey<sup>[6]</sup>やZengら<sup>[7]</sup>の研究のように、ストロークベースの研究が盛んに行われている。これらの研究は実写画像の画像特徴からブラシのストロークを導出、コンピュータによる自動描画に筆跡方向を与えることで、人の手で描いたような絵画質感を与えることに成功している。これらの研究は基本的にコンピュータによる自動描画を前提としており、ユーザの描画ツールへの応用に言及しているものは少ない。

またNPR研究の中でも、杉田ら<sup>[8][9]</sup>、Yangら<sup>[10]</sup>、Seoら<sup>[11]</sup>点描画法の描画手順や色彩理論を考慮し、スーラをはじめとする点描画家の作品の特徴を捉えた風合い表現を実現している。

これらの応用研究として、渡邊ら<sup>[12]</sup>は3次元点群データと点描画技法を合わせることで、点描画で表現された空間をウォークスルーできるコンテンツを実装した。これらの研究も他のNPR研究と同様に元の画像や点群データを用いて点描画を自動生成するものであり、ユーザ操作の介入は考慮していない。

一方でユーザが用いるブラシ・画材のシミュレーションの研究として、齋藤ら<sup>[13]</sup>は筆の3次元形状をモデル化し、コンピュータ上でユーザが用いるブラシの質感を向上させた。またBaxterら<sup>[14]</sup>は筆の3次元モデルと3次元ハプティックデバイスを用いた力学フィードバックを合わせ、コンピュータを用いたペインティングのユーザ体験を向上させたシステム”DAB”を実現している。さらに「描く」を科学するプロジェクト<sup>[15]</sup>では油彩画シミュレータが開発され、コンピュータ上でアナログ画材を忠実に再現し、成果を得ている。従来のアナログ画材の描法を行使できるため、アナログ絵画の経験者はその技術力を十分に発揮できる。上記のDABや油彩画シミュレータを用いれば、点を1つずつ描いていく従来の点描画技法にのっとりた絵画は可能であると思われる。

### 2.2 本研究の位置づけ

2.1で述べたNPR系研究やブラシの研究により、コンピュータ上における絵画表現や、点描画の特徴を生かした表現が実現されている。また、ユーザが用いることのできるツールとしてもブラシ研究や画材のシミュレーション研究によって、コンピュータ上での高品質なアナログ描法を実現している。

これらの研究がコンピュータを用いた絵画表現の成果をあげている一方で、点描画技法に注目すると、必ずしも作業負担の軽減にはつながらない。またNPRのように全自動で点描を出力すると、ユーザの描画作業が介在せず、ユーザの試行錯誤や意図を作品に含めることができない。今回はあくまでユーザのツールとして自由に点描が施せることに重点を置く。

よって本研究は、ユーザが点描画を自由かつ容易に描けるような新たな描画支援方法を検討する研究と位置づけられる。ユーザは通常のブラシと同様に描画を行うが、その描画に合わせて点描画技法にもとづいた点を自動配置し、簡単な描画操作で多数の点を画面上に配置できる点描画ブラシの実装を目指す。

## 3. 点描画の特徴分析

点描画ブラシを実装するため、点描画の作品の特徴について分析・考察した・調査結果を以下に示す。

### 3.1 視覚混合

一般的な点描画法の最大の特徴は、細かな点を描画し、目の中で点の色を混ぜる「視覚混合」の効果を生み出すことである。絵の具は直接混ぜると鮮やかさが失われるため、色を混ぜずに点として並べて



図2. 点描による視覚混合

置く「筆触分割」という手法を用いる<sup>10)</sup>。これによって鮮やかさを失わない混色を実現する(図 2)。

点描画では、さらに鮮やかさを際立たせるため、「補色対比」を考慮する。「補色対比」とは、任意の色の純色と補色はお互いを引き立て合う効果があることを指す。点を描画する際、対象色の純色と補色を並べて置き、鮮やかさを強調する。

### 3.2 解析対象作品の選定と解析手順

本研究では、スーラの点描画特徴にフォーカスするため、3.1で示した一般的な点描手法に加えて、スーラの作品に見られる描画特徴を考慮に入れる。スーラの作品に含まれる独自の描画特徴は時期により異なるため、まず解析対象の作品を絞りこむ。1886年以前には代表作「グランド・ジャット島の日曜日の午後」(図 3(a))があり点描を用いているが、点描以外にも長いストロークの描画などがみられるため、点の抽出・解析に適さない。また1888年以降の「シャユ踊り」(図 3(b))などの作品は点描画技法よりも構図やオブジェクトの抽象性にフォーカスが当てられた作風となるため、解析対象として向かないと判断した。そこで本研究では点描画理論がもっとも強く表現された1887年頃の作品「春のグランド・ジャットのセーヌ川」(以下「セーヌ川」)と「ポーズする女たちの習作」を対象として選ぶ。

点描画ブラシを実装するにあたり必要な点描画の特徴を捉えるため、以降の3.3でまずスーラの描法に言及した文献を参考に、描画手順や技法を考察する。次に3.4で「セーヌ川」(図 3(c))の解析について触れる。この作品の特徴解析はすでに渡邊らの研究<sup>12)</sup>で行われており、スーラの描画における具体的な点の大きさや密度の比率、点形状の特徴が示されている。本研究でもこの解析結果を採用し、スーラの基本的な描画特徴として活用する。

さらに本研究では、新たに「ポーズする女たち」の解析を行う。「ポーズする女たち」の関連作品の中でも、背中を向けた女性を描いたクロクトン(習作)(図 3(d))を解析に用い、その特徴を考察する。ユーザの描画の自由度の高い点描画ブラシを実装するには、「セーヌ川」の3.3で述べるような特徴をそのまま適用するのが難しいと考えられる。一方「ポーズする女たちの習作」に点描画ブラシ実装上で必要な特徴が観察できるため、追

加の解析を行いその結果を3.5に示す。

3.3, 3.4で従来のスーラの基本的な特徴を、3.5でユーザが自由に扱える点描画ブラシを実現するための新たな特徴を取得する。得られた特徴を活用し、ユーザの操作に合わせてスーラの描画特徴を持った点描が描けるブラシツールの実装を図る。

### 3.3 スーラの特徴的な描画技法

デュヒティン<sup>13)</sup>、米村ら<sup>14)</sup>によると、スーラは3.1の一般的な点描画技法に独自の描法を加えている(図 4)。特徴は大きく以下の(A)~(E)に5つに分けられる。

- (A) エボシユ：点描を打つ前の下塗り作業を行う(図 4(1))。画面上の物体の大きな配置・サイズ・形状を決める。
- (B) 太陽光の点描：3.1の従来の物体色点描をさらに太陽の色と分割並置し、描画する。これにより物体色の純色/補色に加え、太陽光の橙色、その補色の青色の4種類の点描パターンが描かれる(図 4(2)~(5)の手順に分けて描画)。
- (C) 明部・暗部の塗り分け：任意の単一の対象オブジェクトにおける陰影表現が明部と暗部に明確に塗り分けられている。

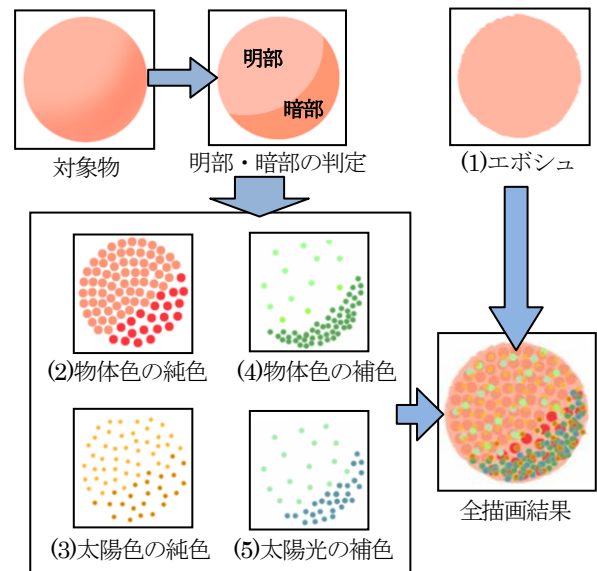
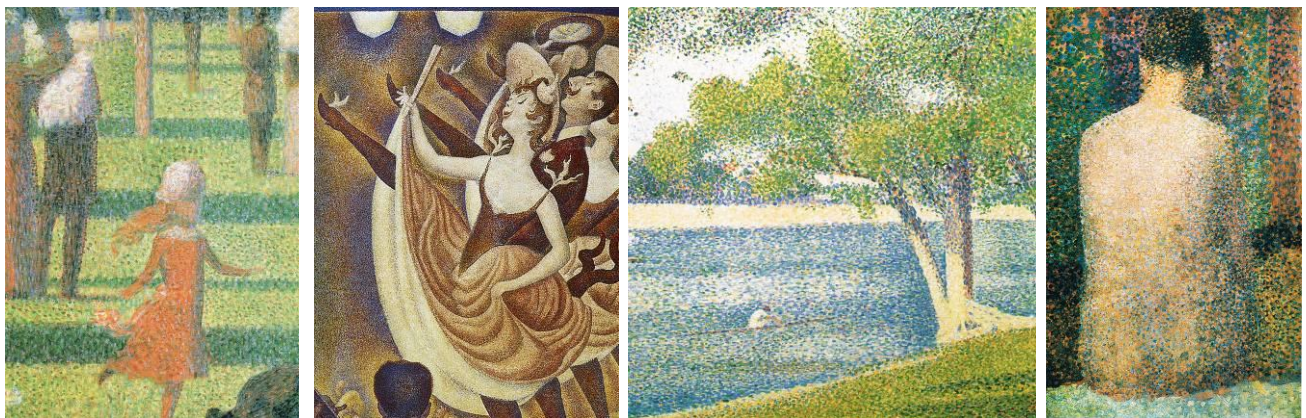


図 4. 色彩理論を用いたスーラによる点描画手順 (1)~(5)が描画の順序



(a)グランド・ジャット島の日曜日の午後 1884-6(一部) (b)シャユ踊り 1890(一部) (c)春のグランド・ジャットのセーヌ川 1887(一部) (d)ポーズする女たちの習作 1887

図 3. ジョルジュ・スーラによる代表的な作品の特徴



- (D) 点の密度変化：物体色の純色・補色，太陽の純色・補色の4種類の点描パターンの密度を，明暗部によって変化させ，画面のコントラストを強調している。
- (E) 白絵具の混色：絵の具の混色がない点描においてスーラは白絵具に限り混色を行い，明度を調整している。

### 3.4 「春のグランド・ジャットのセーヌ川」を用いた点密度・大きさ・形状の解析

渡邊ら<sup>14)</sup>は、「セーヌ川」を対象にしたスーラの基本描画特徴，特に3.3の(B)(C)(D)について具体的な解析結果を示している。つまり物体色・太陽色，純色・補色の各点描パターンについて，明部・暗部ごとの画面上の面積比率，点の大きさ，点形状の変化を明らかにした。本研究においても上記の解析結果を採用することでスーラの点描画を表現するために有用な特徴を取得し，点描画ブラシに活かす。以下に解析の要点を述べる。

はじめにスーラ作品内に描かれた対象物ごとに明部・暗部の領域(図5(a)(b))を切り出し，図4の「物体色の純色・補色，太陽光の純色・補色」に該当する点を手動で抽出する。抽出点の色情報を参考に各点描パターンを抽出した2値画像を作成し(図5(c)(d))，パターンごとの面積比率を求めた。以上の解析で得られたスーラ作品における面積比率の平均値の変化を表1に示す。暗部では補色の点の割合が総じて増加しており，また物体色の純色の減少は少ない一方，太陽色の純色の比率が大きく減少していることが見て取れる。

次に2値画像から240点の点を選択・抽出し，点の大きさとして形状を取得した。240点中の最小半径を1.0としたとき，全ての点描パターンに共通して平均半径が約2となり，かつ全ての

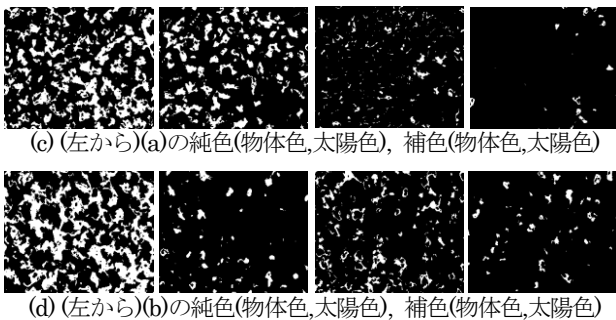
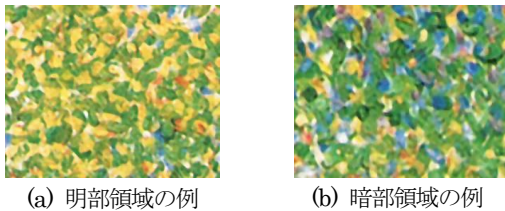


図5. 明部・暗部における各点描パターンの抽出例

表1. 明部・暗部による各点描パターンの平均面積比率の変化

	物体純色	太陽純色	物体補色	太陽補色
明部	60.66%	21.85%	11.65%	5.74%
暗部	55.96%	6.25%	18.12%	19.94%



図6. 点描画ブラシに用いる点形状モデルの例

点が1.0~3.6の範囲内にまんべんなく分布していることが確認された。よって点描画ブラシで自動配置する点も，この解析結果にのっとり処理を施すものとする。また抽出した2値のサンプルの欠落部や穴を補完した点形状モデルを作成し(図6)，点描ブラシで実際に配置する点形状として利用する。点描1点は原則として混色しないため，概ね平坦の1色で表現される。よって2値画像からブラシパターンを作成しても違和感なく描画できる。また2値画像をそのままブラシに用いるとブラシ形状の境界部が粗くなる。そこで本研究では，サンプリングする2値の点形状モデルを十分に大きく取り，これをバイリニア補間で縮小して用いることで境界部を滑らかにし，描画に用いる。

### 3.5 「ポーズする女たちの習作」の描画特徴

3.4より，スーラの描画技法の特徴について具体的な数値情報が得られた。しかしこの中にはユーザが扱うブラシとして適さない特徴がある。3.3で示した単一オブジェクトの明部暗部の明確な塗り分けである。明暗に関しては，一般的なペイントツールではユーザ任意のグラデーション表現が可能であることが望まれるが，点描画ブラシにおいてもグラデーション表現を実現する方法を検討したい。

そこで本研究では追加解析対象として「ポーズする女たちの習作」に着目した。スーラの作品の多くは明暗の塗り分けが明確だが，当該作品の主な対象物である「女性の背中の肌領域」に限り，明暗が徐々に変化する珍しい表現が観察でき，点描ブラシに適用できるのではないかと考えた。

そこで他作品との明暗変化の違いを確かめるため， $L^*a^*b^*$ 表色系の明度( $L^*$ )値画像を作成した(図7)。図7(a)(b)では3.3の特徴通り各オブジェクトの明暗が2段階である。一方で図7(c)の単一オブジェクト(女性の背中部)では明暗が滑らかに変わっている。明度の変化が実際に滑らかであるか確認するため，抽出領域で $L^*$ の平均値を計測した。結果，明部から暗部に向かって $L^*$ 値が徐々に低下していることが確認できた(図8)。

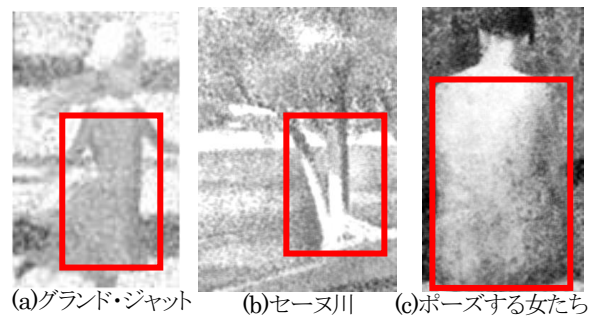


図7. 各作品のオブジェクトの明度( $L^*$ )値画像

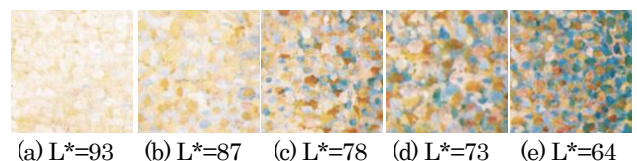


図8. ポーズする女たちの抽出領域と $L^*$ 平均値

また図8を観察するとさらにグラデーションに関連する2つの特徴がみられる。1つ目は暗部に向かうと補色の比率が徐々に増えていることである。L\*a\*値によって純色・補色の面積比率が徐々に変化している。2つ目は白絵の具の混色の影響が他作品と比較して非常に強い点である。図8(a)に至っては各点描パターンが見えなくなるほど強く白絵の具が混色されている。

明暗グラデーション変化と上述の2特徴によって、背中丸の表現が表現されており、「ポーズする女たちの習作」は、スーラの作品の中でも特に立体感に富んだ表現になっている。

### 3.6 実装に用いる点描画特徴の選定

3.3,3.4,3.5で得られた特徴を考察し、点描画ブラシに活かす特徴を選定する。基本的に3.3, 3.4で得た具体的なスーラの描画特徴、つまり「各点描の面積比率」「点の大きさの範囲」「抽出した点形状モデル」を用いて点描画ブラシを構築する。ただし「明部・暗部の2分化」はユーザーの色選択の自由を制限させてしまう。そこで明暗の制御については3.5で得られた「明暗のグラデーション」の特徴を採用する。具体的には「物体色の純色・補色、太陽光の純色・補色の面積比率の連続的な変化」と「明度による白絵の具の混色量の変化」を考慮し、明暗グラデーションの実現を検討する。

ただし、明確な明暗グラデーションが抽出できる「ポーズする女たちの習作」の肌領域(図3(d))は、肌の色と太陽光の点の色合いが類似しており区別して抽出できないため、正確な面積比率の変化の計測が困難であった。そこで本研究では、表1に示された明部・暗部に2分化した場合の点描の面積比率を参考に、明度値の変化にともなって面積比率を変化させる方法について検討する。以降の4.3.1で詳細な計算方法を述べる。

## 4. 点描画ブラシの実装

### 4.1 点描画ブラシの設計と処理の流れ

本研究の目的はユーザーの意図したブラシストロークに合わせて、スーラの点描特徴に似せた多数の点描を自動的に施すことである。点描画には先に得た特徴を活用するが、一方でユーザーには色やブラシサイズの自由な選択、また一般的なブラシと同様の操作で扱える機能を提供する必要がある。複雑な点描の各パラメータをユーザーに手動指定させる実装は望ましくない。本研究のブラシ処理では、下地のエボシと点描を2つのレイヤに分けた2層構造を採用する(図9)。

エボシレイヤには一般的なペイントツールのキャンバスと同じで平坦な塗りを施す。その上に点描レイヤを重ね合わせ、このレイヤに3.3で示した4つの点描パターンを描画していく。点描画ブラシの具体的な処理の流れを図10に示す。

ユーザーからブラシストローク入力があった時、選択した色とサイズによるブラシ処理をエボシレイヤに対して行う。次にエボシに描かれた色を抽出し、点描レイヤの処理に移行する。点描レイヤでは点描画に必要な明度と純色・補色を取得し、エボシの明度に合わせた面積比率を満たすように必要な数の点描を描いていく。ユーザーの描いたエボシの色を用いて点描が

施されるようになるため、ユーザーは通常のペイントツールのブラシと同様の使い心地で利用しつつ、同時に意図に沿った色彩の点描を施せるようになる。

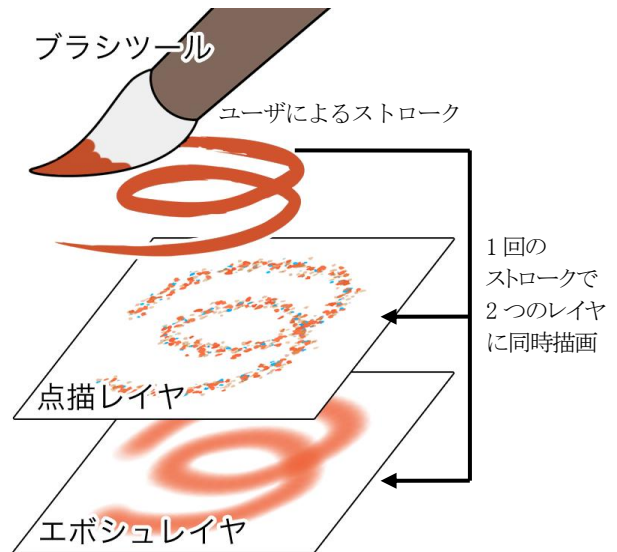


図9. 点描画ブラシの構造

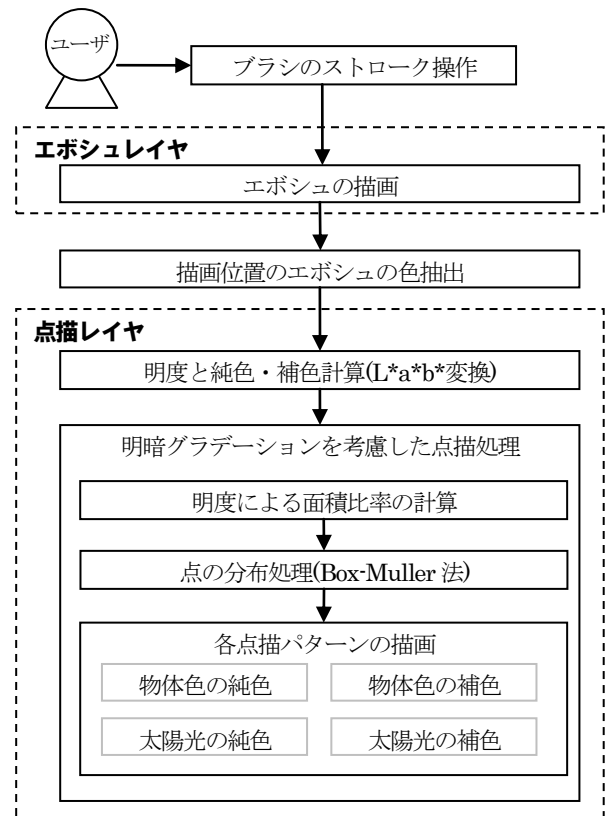


図10. 点描画ブラシの処理の流れ

### 4.2 L\*a\*b\*変換による純色・補色・明度の取得

3.1で示した点描画法の基本となる「筆触分割」「補色対比」のため、純色と補色を求める必要がある。本研究ではL\*a\*b\*表色系<sup>[16]</sup>を用いて、純色と補色を取得する。純色はL\*a\*b\*色相環上の円周にある色を指す。エボシから抽出した色と原点

を結ぶ線分の延長線と円周の交点の色を純色とし、円周上の真逆の色を補色として取得する(図 11)。また、明度はこのとき取得できる L\*値を用いるものとする。

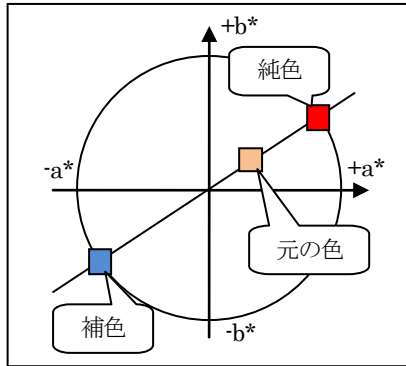


図 11. L\*a\*b\*の純色・補色

### 4.3 明暗グラデーションを考慮した点描処理

#### 4.3.1 明度による面積比率の計算

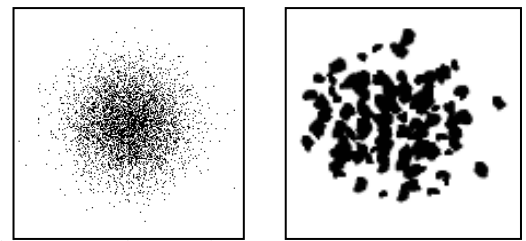
3.4 で示したスーラの点描特徴を示す面積比率、および 4.2 で得た明度(L\*)値に基づき、4 つの点描パターン の面積比率を求め。 「ポーズする女たちの習作」の純色・補色の面積比率変化は L\*値による線形変化で近似できるが、3.6 で述べたとおり物体色と太陽光を分けて抽出できない。しかし点描画ブラシでスーラの描画特徴を表現するため、点描パターンごとの面積比率の変化を持たせたい。そこで表 1 で示した明暗部の面積比率を基準とし、以下の手順で各パターン の面積比率を導く。

まず図 8 の「ポーズする女たちの習作」の各領域の面積比率を計測した。すると図 8(b)の L\*=87 が表 1 の明部の純色・補色比率に近く、図 8(e)の L\*=64 が表 1 の暗部純色・補色比率に近い結果であることがわかった。よって、本研究では表 1 の明部の面積比率は L\*=87、暗部の面積比率は L\*=64 で用いるものとし、これを L\*値による面積比率の基準とする。異なる L\*値が得られた場合、両者を基準とした線形変化しているものと仮定して新たな面積比率を求める。導出した 4 つの点描パターン の面積比率の計算は以下の式 1 となる。

$$\left. \begin{aligned} \text{物体純色} : P_{obj} &= 60.66 + 0.204(L^* - 87) \\ \text{太陽純色} : P_{sol} &= 21.85 + 0.678(L^* - 87) \\ \text{物体補色} : C_{obj} &= 11.65 - 0.281(L^* - 87) \\ \text{太陽補色} : C_{sol} &= 5.74 - 0.617(L^* - 87) \end{aligned} \right\} (1)$$

#### 4.3.2 Box-Muller 法による点分布

4.3.1 で求めた面積比率に従って円形ブラシ領域内に点描の描画処理を行う。点を描く位置は Box-Muller 法<sup>[7][8]</sup>を用いてブラシ中心付近を高密度に、ブラシ境界周辺の密度を疎にするよう分布させる(図 12(a))。点描ができるだけ重複しないように、すでに点が描かれた場所は避けながら乱数分布を取得し点を配置する。以上の点描処理を繰り返し、描画済の領域が円形ブラシ全領域内の面積比率を超過したとき、処理を完了する(図 12(b))。この処理を 4 つの点描パターンごとに処理していく。



(a) 点の分布(5,000 点) (b) 面積比率 50%の点描例

図 12. Box-Muller 法を用いた分布と点描画

#### 4.3.3 点描処理

4 つの各点描パターンについて点描を打つ位置が確定したら、3.4 で得た点形状モデルから無作為に 1 点を選択して描画を行う。このとき、「物体色の純色」と「物体色の補色」の点描の色は、4.2 で求めた純色と補色を用いて描画する。





次に 3.3 で示したスーラの特徴「太陽光の純色」と「太陽光の補色」を描画する。これらの太陽光の点は画面上に一様に置かれるもので原則として明暗部に 2 分化され、ほぼ一定の色で描かれていることが確認されている<sup>[9]</sup>(表 2)。

しかし点描画ブラシにおいては色の明暗を 2 分化するのは好ましくない。太陽光の点描も L\*値に合わせて白の混色量を制御し、明暗のグラデーション変化を表現したい。そこで先行研究で得た太陽光の RGB 値を L\*a\*b\*表色系に変換し、明部・暗部の L\*値(表 2)を基準に色値の線形変換式を求める。任意の L\*値から純色・補色の各 a\*,b\*を求める式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} \text{純色の } a^* : a^*_{pure} &= 23.0 + 0.124(L^* - 73.9) \\ \text{純色の } b^* : b^*_{pure} &= 46.8 - 0.016(L^* - 73.9) \\ \text{補色の } a^* : a^*_{comp} &= -8.8 - 0.426(L^* - 74.2) \\ \text{補色の } b^* : b^*_{comp} &= -21.9 + 0.578(L^* - 74.2) \end{aligned} \right\} (2)$$

L\*値はエボシユから取得した値をそのまま使用し、式(2)より求めた a\*,b\*と合わせて RGB に逆変換した色値を太陽光の点描の色として用いる。

表 2. 明部・暗部における太陽光の純色・補色の色値

明部	純色		RGB = { 244, 164, 96 } L*a*b* = { 73.9, 23.0, 46.8 }
	補色		RGB = { 137, 189, 222 } L*a*b* = { 74.2, -8.8, -21.9 }
暗部	純色		RGB = { 205, 133, 65 } L*a*b* = { 61.8, 21.5, 47.0 }
	補色		RGB = { 40, 96, 163 } L*a*b* = { 40.4, 5.6, -41.43 }

## 5. 点描画ブラシの実験・評価

### 5.1 点描画ブラシによる描画実験

4 章の流れで実装した点描画ブラシによる描画実験を行う。はじめに、「緑色」を選択色として描画した「エボシユのみ」「点



描のみ「エボシユ+点描」の結果を図13に示す。図13(a)はエボシユの描画結果で、平坦な色が出力されていることがわかる。次に点描のみに着目すると、ブラシのストロークに合わせて図4の4つの点描パターンが描画され、純色・補色が並置されていることがわかる(図13(b))。これを合わせた結果が図13(c)である。多様な色彩の点描の隙間からエボシユが見え、ユーザが選んだ「緑色」を軸とした点描画の結果が得られた。

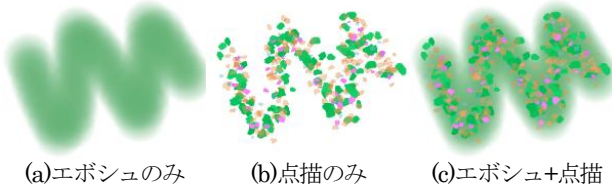


図13. 点描画ブラシによる緑色の描画ストローク  
(ブラシの太さ:50pixel, 点の平均直径:15pixel)

## 5.2 「ポーズする女たちの習作」の模擬制作実験

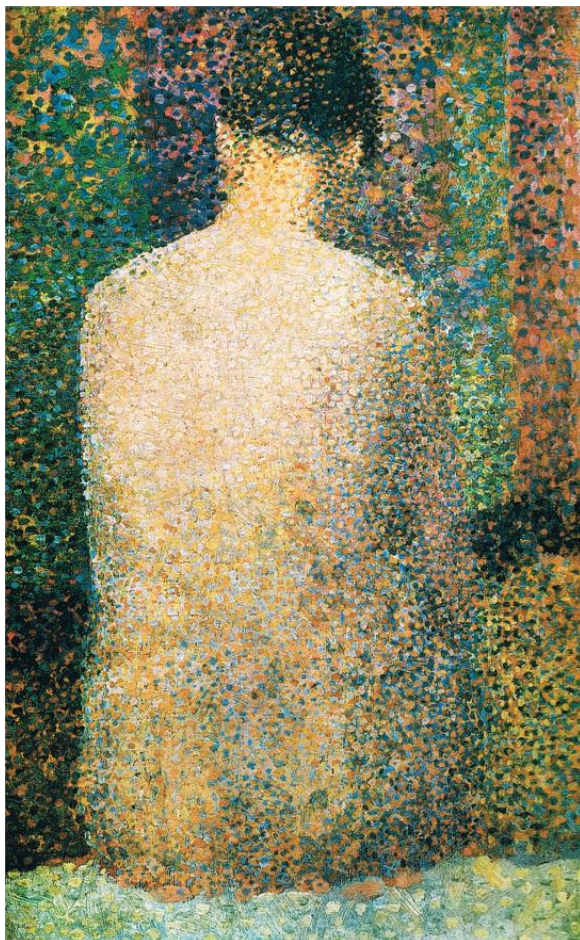
次に、実装した点描画ツールと筆圧感知型のペンタブレットを用いて、本研究の主な手本とした「ポーズする女たちの習作」の模擬制作を行った。実験環境を表3、実験によって得られた描画結果、制作時間、描画された点描の数を図14に示す。

表3. 模擬制作の実験環境

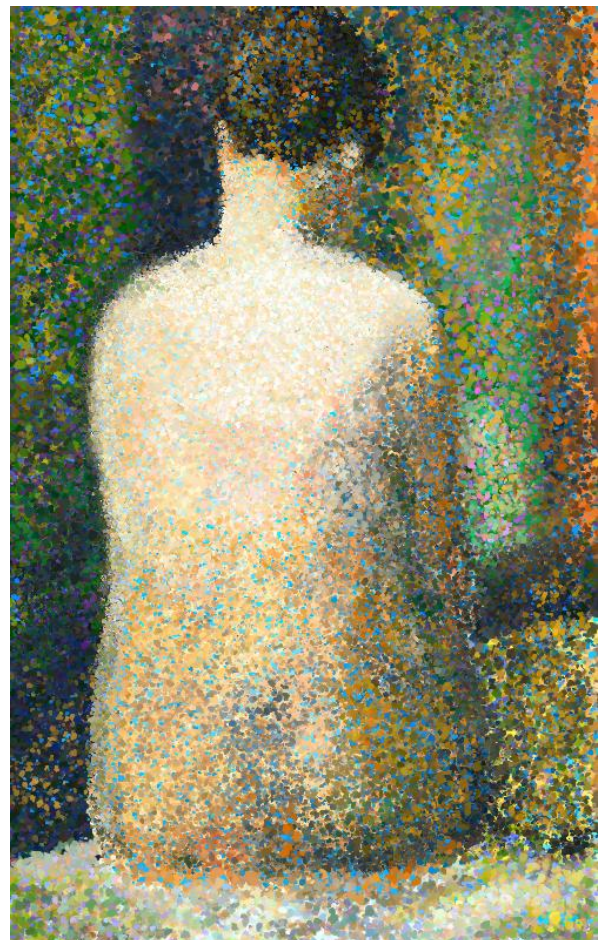
動作環境(CPU)	Intel Core2 Quad 2.83GHz
動作環境(メモリ)	DDR2 SDRAM 4GB
入力デバイス(タブレット)	WACOM Intuos3 PTZ-930 筆圧感度 1024 段階
被験者の絵画経験	アマチュア絵画経験 5年 (若干のデッサン学習経験)
実験開始時の状態	全画面白地から描画開始 (原作を下地としない)

本研究の点描画ツールは Visual Studio C++ 2008 を用いて Windows アプリケーションとして作成した。本ツールでは、ペンタブレットで取得した筆圧に合わせ、エボシユレイヤに描画する濃度や点描レイヤに描画する点の密度を調整できるようにした。また実用性を確保するために高速化を施し、大量の点の描画を処理してもリアルタイムに動作するよう工夫した。

実験は、数年間のアマチュアの描画経験および若干のデッサン学習の経験があり、自力である程度の構図を描くことのできる実験者を用意した。前準備として、実験者に数十分ほどツールを使ってもらい、基本操作を習得してもらった。その上で真っ白なキャンバスから描画を開始し、原作(図14(a))を観察しながら、点描画ブラシツールを用いて模倣描画を行った。以上の



(a) ジョルジュ・スーラ:ポーズする女たちの習作



(b) 本ツールで描画した模倣作品  
(500 x 800pixel, 制作時間: 54:36, 描画点数:301,725 点)

図14. 「ポーズする女たちの習作」(原作)と本ツールを用いた模倣作品



実験を施行し、得られた模倣作品の描画結果が図 14(b)である。

実験者は実験において、ツールのブラシの色やサイズをこまめに設定しながら、ペンタブレットの筆圧を駆使して微妙な陰影を表現していった。このことから本ツールは、一般的なペイントツールと同様のブラシ操作で、点描を用いた滑らかな陰影表現が可能であることが確認できた。

最終的に 500x800pixel のキャンバスに対し、54 分 36 秒ですべての描画を完了した。実験中にキャンバス上に描かれた点の数は約 30 万点に及んだ。以上の結果より、実装した点描画ブラシツールが短時間かつ容易に点描を描くツールとして有効であることが示せた。

一方、以上の実験結果は、絵画経験を持つ実験者によるものであるため、今回の実験と同じように白いキャンバスから模倣作品を描画するには、一般的な絵画経験やデジタルペイントの経験がある程度必要になると考えられる。

### 5.3 点描画ブラシの応用および課題点

次に、真っ白なキャンバスからではなく、写真などの既存画像をエボシユの色として取りこみ、その色を利用して点描を施した。既存画像を用いて点描を描画した結果を図 15,16,17 に示す。

点描ブラシの機能によって任意の部分に限定して点描を施す表現が可能となり、ユーザは必要な部分に欲しい分だけ点を施し、自由度の高い点描表現を追求できることがわかった。図 15

は、写真を下地の色に用いて点描を施した後、エボシユを非表示にして点描のみを表示した描画結果例である。下地の色を参照して点描を施すため、ブラシでなぞるのみの作業で容易に点描画を制作可能であることが確認できた。以上の結果から、絵画経験が無いユーザであっても、既存画像を下地に利用することで点描画を制作できるツールであることがわかった。

一方で、乱数分布を用いて点描を描画するため、対象物の境界部分の形状が乱れやすいことがわかった(図 16 拡大図)。また図 16,17 にみられるような鮮やかな黄色や明るい茶色などの特定の色に対して補色が顕著になり、物体色の色合いを損ねる現象が見られた。このことから、対象物の境界部分の保持や、純色・補色の計算など、改善の余地があることを確認した。

## 6. おわりに

本研究では、新印象主義の画家ジョルジュ・スーラによる点描画技法に着目し、ユーザが高速かつ容易に点描を表現できる点描画ブラシの実装を行った。

一般的なペイントツールのブラシ機能と同様の手順・使い心地を維持しながら、ユーザの意図に沿った色彩の点描を大量に描画できるツールを実現できた。また図 14(b)の結果から実際の点描画作品を制作でき、本研究の有効性を示せた。

今後の課題として、5.3 で述べた物体の境界部分の保持が挙

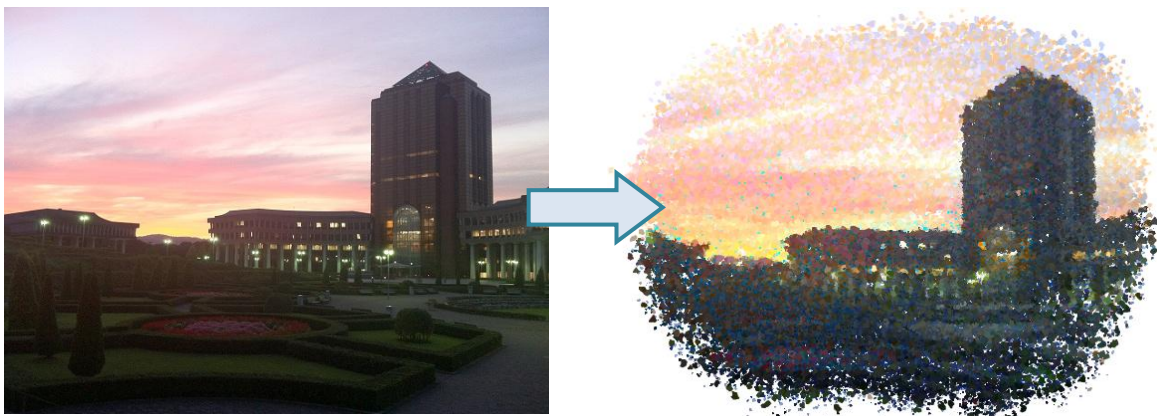


図 15. 写真を下地に用いて点描を行った作品例(左:原画像, 右:描画結果) ※エボシユレイヤ非表示

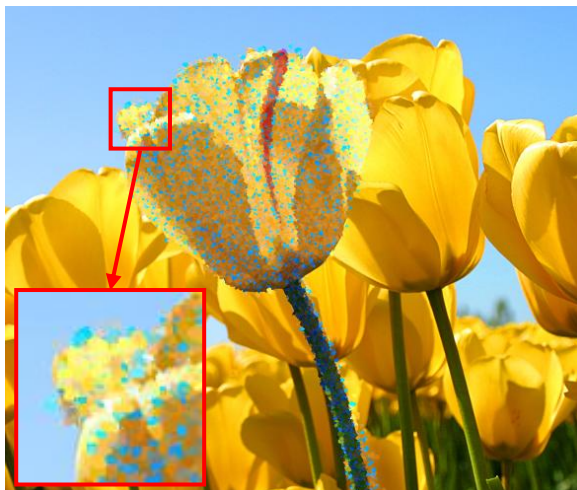


図 16. 点描ブラシ適用部分の拡大図と境界形状



図 17. 写真全体に点描を施した作品(補色が顕著な例)



げられる。ユーザのブラシストロークやエボシのエッジ情報を用いて点描分布を制御し、境界を保つ方法を検討したい。また純色・補色の色計算についても、 $L^*a^*b^*$ 変換の特性を改めて検証し、筆触分割の効果を高める計算手法を追求する。

上記の改善点に加え、点描画の表現の幅を広げ実用性を高める課題も考えられる。現状ではスーラの作品のみを解析対象として活用したが、新印象主義の点描画には、シニャックやマルタンの大きな矩形点描による作品や、デュボワ=ピエの明暗表現の点描画などスーラと異なる趣の魅力的な作品が存在する<sup>[1]</sup>。画家によって点描の表現特徴が明らかに異なるため、各画家の点描特徴を表現する場合、改めて各点描作品から点を抜き出して形状や色の特徴を解析する必要がある。これらの特徴を追加し、ユーザが自由に点描特徴を制御できるようにすることで、点描画ブラシツールの表現力・有効性をさらに高めることができると考えられる。よって今後は、他の画家作品の点描特徴の解析・活用、点描形状モデルの追加などを行い、さらなる表現力の向上を模索していきたい。

## 参考文献

- [1] 国立西洋美術館『点描の画家たち』, 国立西洋美術館(1985).
- [2] ピエール・クールティヨン『SEURAT』美術出版社(1994).
- [3] ハーヨ・デュヒティング『ジョルジュ・スーラ 1859-1891 点に要約された絵画』, タッシュンジャパン(2000).
- [4] 米村 典子『スーラ 点描を超えて』, 六耀社(2002).
- [5] ポーラ美術館学芸部『色彩の瞬き スーラの点描主義からマチスのフォーヴィスムまで』, ポーラ美術館(2004).
- [6] C. Healey, et al: "Perceptually-Based Brush Strokes for Non-photorealistic Visualization", ACM Transactions on Graphics, Vol. 23, No. 1, pp.64-96 (2004).
- [7] K. Zeng, et al.: "From Image Parsing to Painterly Rendering", ACM Transactions on Graphics, Vol. 29, No. 1, pp.2:1-2:11 (2009).
- [8] 杉田純一, 高橋時市郎: "補色対比を考慮した筆触分割による点描画風画像生成法", 情報処理学会研究報告 グラフィクスとCAD, Vol.2007 No.13, pp. 91-96 (2007).
- [9] 杉田純一, 高橋時市郎: "視覚混合と補色対比を考慮した点描画風画像生成法", FIT2007, I-082, pp.381-382(2007).
- [10] H. Yang and C. Yang: "Realization of Seurat's Pointillism via Non-photorealistic Rendering", The Visual Computer, Vol. 24, No. 5, pp. 303-322 (2008).
- [11] S. Seo and K. Yoon: "Color Juxtaposition for Pointillism Based on an Artistic Color Model and a Statistical Analysis", The Visual Computer, Vol.26, No.6-8, pp. 421-431 (2010).
- [12] 渡邊賢悟, 宮岡伸一郎: "3D Seurat: 3D点群情報による点描画ウォークスルーコンテンツ", 芸術科学会論文誌, Vol. 10, No.3, pp.192-200 (2011).

- [13] 齋藤 豪,中嶋 正之: "インタラクティブペインティングのための力学的三次元筆モデル", 情報処理学会論文誌, Vol.41 No.3 pp.608-615(2000).
- [14] W. Baxter, et al.: "DAB: Interactive Haptic Painting With 3D Virtual Brushes", Proc. ACM SIGGRAPH01, pp.461-468 (2001).
- [15] 藤幡正樹: "アートを科学するー「描く」ことを中心として", 情報処理学会, IPSJ Magazine Vol. 48, No. 12, Dec. 2007, pp.1319-1326 (2007).
- [16] Gernot Hoffmann: "CIELAB Color Space", <http://www.fho-empden.de/~hoffmann/>, (2009).
- [17] G. Box and M. Muller: "A Note on the Generation of Random Normal Deviates", the Annals of Mathematical Statistics, Vol. 29, No. 2 pp. 610-611 (1958).
- [18] D. Lee, et al.: "A Hardware Gaussian Noise Generator Using the Box-Muller Method and Its Error Analysis", IEEE Transactions on Computers, Vol.55, No. 6, pp. 659-671 (2006).
- [19] 佐野, 渡辺, 宮岡: "スーラの描法を模した実写画像の点描画風変換", 情報処理学会第70回全国大会, 4-ZE2 (2008).

## 渡邊 賢悟



東京工科大学メディア学部メディア学科卒, 同大学院バイオ情報メディア研究科メディアサイエンス専攻博士後期課程在籍。東京工科大学片柳研究所メディアテクノロジーセンター嘱託研究員を経て, 個人事業によるアプリケーションコンテンツ開発に従事, 現職。

## 宮岡 伸一郎



東京工科大学メディア学部教授。工学博士。京都大学工学部数理工学科卒業, 同大学院工学研究科修士課程修了の後, 日立製作所に勤務。同社システム開発研究所主任研究員, 独立しシステムコンサルタントを経て現職。イメージメディア技術関連の教育・研究に従事。