

# 「3D スーラ」：3D 点群情報を用いた点描画ウォークスルーコンテンツ

渡辺 賢悟<sup>†</sup> 佐野 実乃里<sup>††</sup> 宮岡 伸一郎<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>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

<sup>††</sup>マイクロ情報通信株式会社

<sup>†††</sup>東京工科大学 メディア学部メディア学科

E-mail: kengo@mediatelier.net, miyaoka@media.teu.ac.jp

## “3D Seurat”：Pointillism Walk Through Contents using Point Cloud Data Kengo Watanabe, Minori Sano and Shinichiro Miyaoka

Tokyo University of Technology, Katayanagi Research Institute, Media Technology Center  
MICRO INTELLIGENCE COMMUNICATIONS Co, Ltd  
Tokyo University of Technology, School of Media Science

E-mail: kengo@mediatelier.net, miyaoka@media.teu.ac.jp

### 1. はじめに

レーザーミラースキャナは、数百メートルの範囲の物体形状や位置情報を高い精度で計測し、3次元点群情報として保存できる機器である。これまでの主な用途は建築における測量や、文化遺産のアーカイブ (Great Buddha Project<sup>[1]</sup>) などであり、豊富な3次元情報を持つ点群データがあっても、コンテンツに応用する動きは少ない。

点群を用いたコンテンツとして、Snably<sup>[2]</sup>らのPhoto Tourism<sup>[3]</sup>が挙げられる。これはコンピュータビジョンの技術で写真画像から3次元情報を復元し、得られた点群データを、大量の写真をブラウジングする際のインタフェースとして用いているが、点群情報はガイドとしての役割の範疇を出ない。

そこで本研究では、スキャナで取得した3次元点群情報を直接的に活用した新しいコンテンツの制作を目指す。本研究の特徴は、3次元点群をポリゴンなどに変換せず、そのまま表現に利用する点にある。点の直接利用との親和性を考慮し、今回はジョルジュ・スーラの点描画表現手法に着目する。最終的にスーラの風合いで表現された点描画空間をリアルタイムでウォークスルーできるコンテンツの実装を目指す。

### 2. 研究の流れ

本研究が実装を目指すコンテンツは、図1に示す手順で作成する。まずレーザーミラースキャナを用いて、

必要な点群データを取得する。次に取得した点群情報に対して、写真などを用いて着色を行う。得られた点群情報を透視投影した後、点描画の特徴を考慮した描画処理を施すことで、点描画空間ウォークスルーコンテンツを実現する。

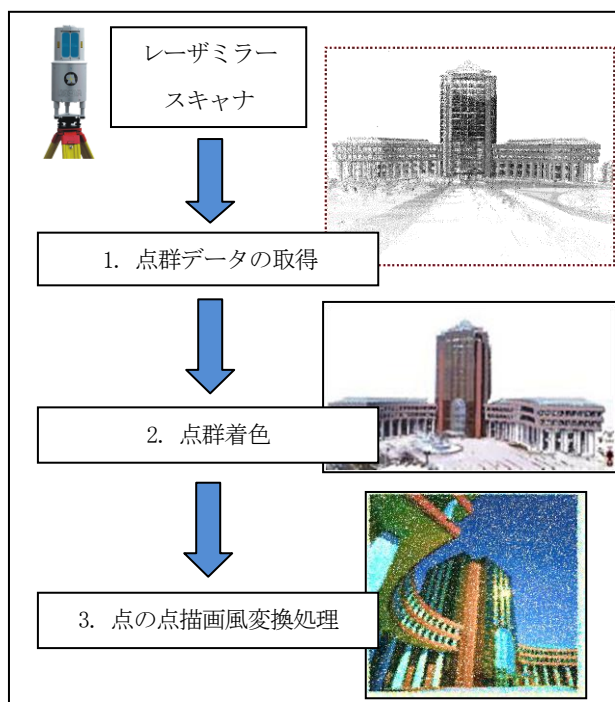


図1. コンテンツ作成の流れ

### 3. 点描画の特徴

歩き回れる点描画空間を実装するため、まず一般的な点描画の特徴についての調査結果を示す。

### 3.1 視覚混合

点描画の最も特徴的な性質は、細かな点を描画し、目の中で点の色を混ぜる「視覚混合」という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置く「筆触分割」という手法を用いる。これによって鮮やかさを失わない混色を可能としている。

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、鮮やかさを強調している



図 2. 視覚混合による点描の例

### 3.2 スーラの描法の特徴

スーラは 3.1 で述べた一般的な点描画手法に加えて、独自の描法を取り入れ、点描画絵画を完成させていた[4][5][6]。本研究ではこのスーラ独自の描法にも着目する。スーラの描画特徴は大きく 4 つである。この描画特徴による描画例を図 3 に示す。

まず大きな特徴として、スーラの点描では明度表現

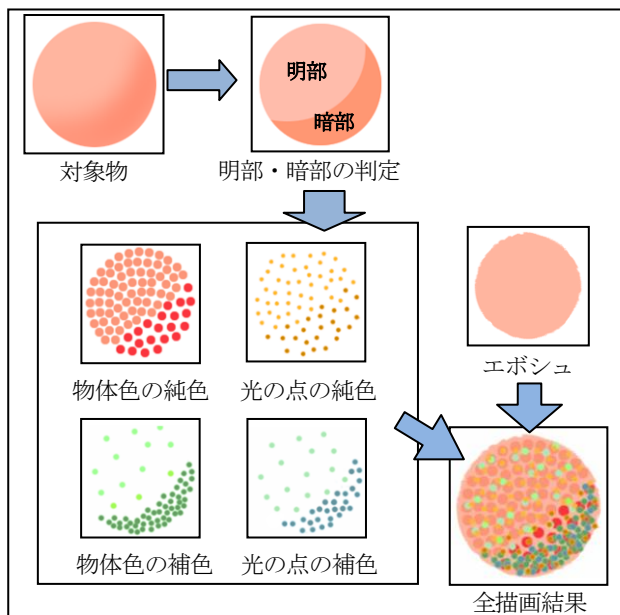


図 3. スーラの描画特徴による描画例

が「明部・暗部」の 2 つに明確に塗り分けられている。この特徴は、以下に示す他の特徴にも影響を与える。

2 つ目は「エボシュ」と呼ばれる点描を打つ前の下塗りの作業である。このことから、スーラの点描画は点描のみで構成されていないことがわかる。

3 つ目は「物体色の点描」と「光の点の点描」が存在する点である。スーラは一般的な物体色の点描に加え、光の点の描画を施している。光の点は太陽の光を表す橙色の点、補色の青色の点を画面全体に配置する。

4 つ目は「明度による点の大きさ・密度・明るさの変化」である。描画部分が明部であるか、暗部であるかで、点の描き方が変化する。点描画の特徴は絵の具を混ぜないことであるが、唯一、白絵の具の混色は行われている。純色・補色の点を配置する場所が明部であった場合、より多く白を混ぜることで配置する点の明度を調整する。点の密度も、明部・暗部の判断によって変化させている。

以上のスーラの描画特徴を整理し、スーラの描法を手順化したものを図 4 に示す。

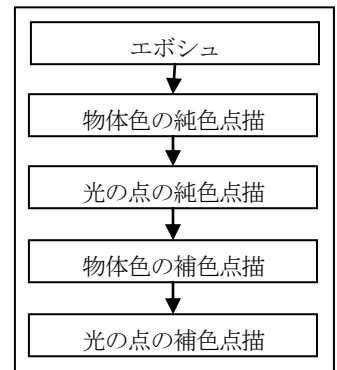


図 4. スーラの描画手順

## 4. ウォークスルーコンテンツの実装

### 4.1 処理の流れ

3 で述べた点描画の特徴を踏まえ、2 で示した流れで構成されるウォークスルーコンテンツを実装する。処理の流れを図 5 に示す。

カメラ位置と点群データによって透視投影変換を行う。ユーザからの入力でカメラを移動させるようにし、点群ウォークスルーを実装する。次に透視投影によってマップされた点の密度の調整や純色・補色の取得を行う。以上の情報を用いて、点描画表現処理を施す。3.2 で示したスーラの描画手順のうち、処理負荷の大きい「エボシュ」は行わないものとし、4 つの手順で構成するものとする。

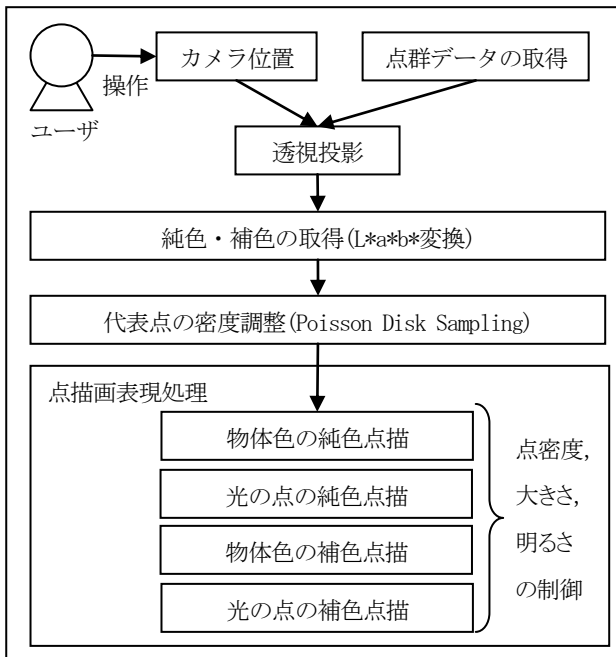


図 5. コンテンツの処理の流れ

#### 4.2 点群データの取得と着色

はじめにレーザーミラースキャナを用いて、点群データを取得する。利用するスキャナはリーグル社製 LMS-Z210i である。レーザーの飛行時間に基づき対象物までの距離を測定し、これから3次元座標を求めらるもので、測定可能範囲：4~400m, 測定精度：25mm の性能を持つ。0.12度刻みのパノラマスキャンを行うと200万点の点群データが取得できる。

得られた点群データは、撮影位置を原点とした (x,y,z) 相対座標を持つ点の集合である。さらに得られた各点に、先に宮岡が作成した点群着色ツール<sup>4)</sup>で RGB 値を設定できる。

このことから1点のデータは、3次元座標と RGB 値の6つのパラメータを持つこととなり、これをウォークスルーコンテンツに活用するものとする。

#### 4.3 L\*a\*b\*表色系変換と純色・補色の取得

スーラに限らず、点描を描画するためには 3.1 で示した「筆触分割」と「補色対比」が必要となる。純色と補色を表現する方法として、HSV 表色系を用いる手法<sup>5)</sup>などもあるが、本研究では実際の絵の具における純色・補色の関係に近い L\*a\*b\* 表色系<sup>6)</sup>を用いて、純色と補色を取得するものとする。点群データを持つ

RGB 値を元に、XYZ 表色系を経由して、L\*a\*b\* 表色系に変換する<sup>6)</sup>。

L\*a\*b\* 表色系変換は処理負荷が大きく、毎回演算しているとリアルタイム性を保てない。そこで L\*a\*b\* を各 128 階調とした 3次元変換テーブルをあらかじめ用意しておく。テーブルを用いることで RGB と L\*a\*b\* 値の間を高速に変換できるようにする。

L\*a\*b\* 値が得られたら、これを用いて純色と補色を求める。純色とは L\*a\*b\* 色相環上の円周にある色を指す。取得した色の原点からの延長線と円周の交点の色が、求める純色となる。そして純色の真逆にある円周上の色が補色となる(図 6)。

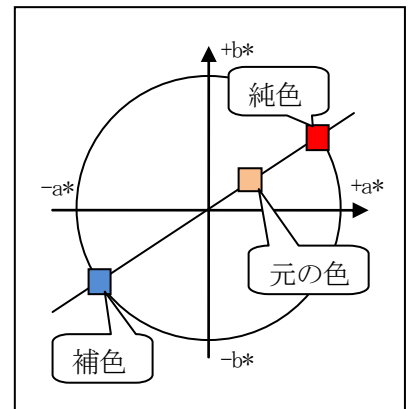


図 6. L\*a\*b\*の純色・補色の取得

#### 4.4 明部・暗部の判定





4.3 で得た L\* 値を用いてスーラの描画特徴である明部・暗部の 2 領域の判定を行う。対象の点の L\* 値を一定の閾値で判別する。本研究では次式の閾値を用いて判別を行う。

$$\begin{aligned} \text{明部} &: L^* \geq 55 \\ \text{暗部} &: L^* < 55 \end{aligned} \quad (\text{ただし } 0 \leq L^* \leq 127)$$

#### 4.5 光の点の純色・補色

3.2 で示したスーラの描画特徴に光の点の描画がある。光の点は物体色に関係なく、画面上に一様に置か

表 1. 光の点の純色・補色の RGB 値

	明部	暗部
純色	 R : 244 G : 164 B : 96	 R : 205 G : 133 B : 65
補色	 R : 137 G : 189 B : 222	 R : 40 G : 96 B : 163

れる太陽の光の純色と補色である。その色は固定で設定されており、佐野ら<sup>[10]</sup>の研究で適した RGB 値の指定がなされているため、本研究においても上記研究の色指定を採用する。光の点の純色・補色の RGB 値を表 1 に示す。

#### 4.6 Poisson Disk Sampling による点密度制御

3.2 で示した点描の特徴に点の密度変化があるが、密度に変化をつけながら描画を行う場合、単純な点配置では対応できない。また点群データは撮影点からの距離によって点の疎密が異なるデータであり、透視投影でマッピングすると、部分ごとの点密度の偏りが激しくなる。点描画は画面全体にまんべんなく点が打たれているため、この偏りを調整する必要がある。

そこで Poisson Disk Sampling 法<sup>[11]</sup>を用いて、マッピングした点群データから一様な分布の「代表点」を抜き出し、点の密度を調整する。また、空などの点情報を全く持たない領域は、色の固定値を持たせた代表点を新たに生成し、画面全体にまんべんなく代表点が配置されるようにする。

次に、この代表点を中心とした半径 R の円を「描画領域」として決定する。領域内に対して再び Poisson Disk Sampling を施し、密度に応じた点を実際に描画していく(図 7)。このときの点の密度は、代表点が明部であるか、暗部であるかによって変化する。明暗条件ごとの点密度の設定を表 2 に示す。表 2 は処理領域内における Poisson Disk Sampling のサンプリング円

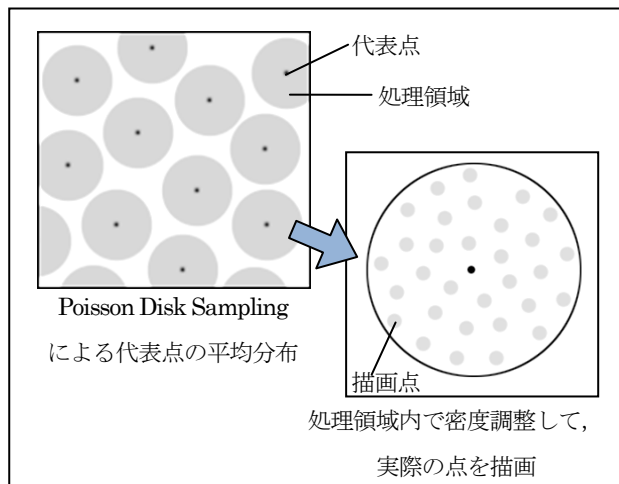


図 7. 2段階の密度調整と点描画の例

の半径であり、小さいほど点の密度は高くなる。

純色の点は明部・暗部で密度にあまり変化をつけないが、補色は暗部であることを強調するため、密度に差を大きくつける点の特徴である。

表 2. 描画領域ごとの点密度

(Poisson Disk Sampling のサンプリング半径)

	明部	暗部
物体色の純色	2pixel	2pixel
光の色の純色	5pixel	5pixel
物体色の補色	6pixel	1.5pixel
光の色の補色	9pixel	2pixel

#### 4.7 点の大きさと明るさの制御

4.6 で点を配置する際、その点の大きさ・明るさ制御をおこなう。3.2 の特徴に倣い、明部・暗部ごとに大きさと明るさの調整を変化させる。大きさ制御の条件ごとの設定を表 3、明るさ調整の条件ごとの設定を表 4 に示す。

表 3. 描画領域ごとの点の大きさ(点の大きさ直径)

	明部	暗部
物体色の純色	3pixel	3pixel
光の色の純色	2.5pixel	2.5pixel
物体色の補色	2pixel	1pixel
光の色の補色	2pixel	1pixel

表 4. 描画領域ごとの点の明るさ調整量(L\*の強度)

	明部	暗部
物体色の純色	$L^* \times 1.25$	$L^* \times 1.125$
物体色の補色	$L^* \times 1.50$	$L^* \times 1.00$

点の大きさ制御の性質として、画面全体の基盤となる色調は純色で占めるようにするため、純色の点描は大きな点で描く。補色は作業手順上、純色の点の上に書き加えるため、純色よりも小さめの点で描く(表 3)。

点の明るさ調整量は、純色・補色に関係なく、明部で白を多めに混ぜ、暗部で白はあまり混ぜない点で共通するが、補色は、純色に比較して明部と暗部との白の混色量の差を大きくする(表 4)。光の点描に関して

は表 1 に示した固定色を用いる。上記のように補色は密度、大きさ、明るさ調整において、暗部が強調されるように描画する。

## 5. ウォークスルーコンテンツの評価

### 5.1 点密度調整の比較実験

4.6 における密度調整の効果を確認するため、調整なしで点群をそのまますべて出力した結果(図 8)と、Poisson Disk Sampling で密度を調整した代表点を出した結果(図 9)を示す。

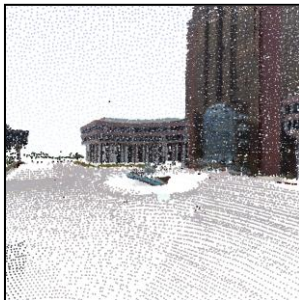


図 8. 調整なしの点配置  
(点の数: 46765 点)

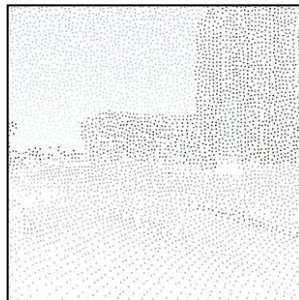


図 9. 代表点配置  
(点の数: 4711 点)

調整なしの場合、点群情報の疎密の影響をそのまま受けており、点描画処理に用いるには密度差に問題がある。一方で密度を調整した場合、画面全体において一様に代表点が打たれており、点描画処理に適切な密度に調整されていることが確認できた。

また密度調整を行うことにより、代表点の数が適切に削減された。調整なしのとき 46765 点あったものが、Poisson Disk Sampling によって 4711 点まで減少しており、処理速度が高速になる効果がみられた。

### 5.2 点描画空間の処理結果

今回実装したコンテンツで実際にウォークスルーを行い、出力される点描画空間を観察する。使用した点群は総ポイント数 121 万点の東京工科大学キャンパスを撮影したものを利用する。カメラ位置によって投影された代表点数、描画した点の数、そして結果として得られた点描画画像を図 10 に示す。

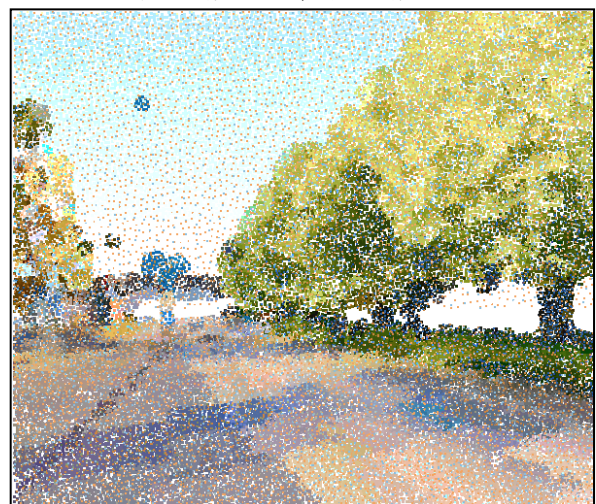
L\*a\*b\*表色系で計算された純色・補色が、画面全体に鮮やかさを与えており、スーラの点描画の特徴を表現した処理結果が得られたと考えられる。



(a) 代表点数 : 4527, 描画点数 : 74250



(b) 代表点数 : 4476, 描画点数 : 69235



(c) 代表点数 : 4796, 描画点数 : 93357

図 10. ウォークスルー点描画空間の描画結果

### 5.3 リアルタイム性評価

実装したコンテンツについて、動作のリアルタイム性の評価実験を行った。用いたマシンを表 5 に示す。

表 5. 評価に用いたマシン

マシン名	TOSHIBA Dynabook RX1/TAE
CPU	Intel® Core™ 2 Duo 1.2GHz
Memory	2GB
チップセット	Intel 945 チップセット

5.2 で使用した点群データを用い、上記マシンでウォークスルーを行った結果、4~12fps の速度で動作した。点群が多い場所では処理速度が低下し、若干のモタつきはあるが、閲覧に耐えうる速度で動作することが確認できた。また、使用したマシンの性能は、特別高性能なマシンではない。より高性能なマシンで動作させれば、さらに快適なリアルタイム性を確保できるものと考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、レーザーミラースキャナで取得した 3 次元点群情報の活用法として、点描画空間ウォークスルーコンテンツの提案と実装を行った。

作業負荷の大きい点群データの編集や 3D モデルの作成をすることなく、点群データをそのままコンテンツとして閲覧できるようになった。別の空間の点群情報を用意すれば、新たな点描画空間コンテンツとして、すぐに利用することが可能である。また、ユーザの入力で自由に歩き回れる動的な点描画表現を実現することができた。

今後の課題として、点群の疎な部分の穴埋めが挙げられる。現段階では、点密度が極端に疎である場合、点描がなされないという課題がある。この解決策として、実装したコンテンツ側で補完する方法と、点群情報の効率的な編集法を確立し、事前に補完しておく方法が考えられる。

もう一つの課題として、高速化がある。現段階の処理速度は、リアルタイム性の確保に余地があるといえる。今後は、より快適に動作させるため、GPU の利用や処理の効率化・高速化を進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] 池内, 倉爪, 西野, 佐川, 大石, 高瀬: The Great Buddha Project—大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化—, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.103-113(2002)
- [2] N. Snavely, S. M. Seitz and R. Szeliski: Photo Tourism: Exploring Photo Collections in 3D, SIGGRAPH 2006, pp.835-846
- [3] 宮岡伸一郎: “実写画像を用いた 3D 点群データ着色方式”, 情報処理学会, CVIM 研究報告 162-56, Vol.2008, No.27, pp.349-354(2008)
- [4] ハーヨ・デュヒティンク: 『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)
- [5] 米村 典子: 『スーラ 点描を超えて』, 六耀社(2002)
- [6] 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)
- [7] 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)
- [8] 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)
- [9] CG-ARTS協会: 『デジタル画像処理』, CG-ARTS協会(2006)
- [10] 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)
- [11] D. Dunbar and G. Humphreys: “A Spatial Data Structure for Fast Poisson-Disk Sample Generation”, SIGGRAPH 2006, pp.503-508