

ボクセルデータの断面図を用いた シームレスなアニメーションテクスチャの生成手法

渡辺充¹⁾(学生会員) 阿部雅樹²⁾(正会員) 渡辺大地²⁾(正会員)

1) 東京工科大学大学院 2) 東京工科大学

Generating Periodic Animation Textures by using Cross Section of Voxel Data

Mitsuru Watanabe¹⁾ Masaki Abe²⁾ Taichi Watanabe²⁾

1) Tokyo University of Technology Graduate School 2) Tokyo University of Technology

earth@gamescience.jp

概要

近年、3DCG やゲーム制作において、アニメーションを 3D モデルのテクスチャとして使用する例が増えている。特に、一部の用途では、シームレスに繰り返し再生可能なアニメーションが求められる。しかし、物理や化学に基づいた模様遷移を生成する研究は多いものの、入力データに依存せず多様なアニメーションを生み出す手法は少ない。本研究では、シームレス性を保証しつつ、複雑な模様遷移を実現する新たなアニメーションテクスチャ生成手法を提案する。ボクセルデータに対し断面となる平面領域を連続的に移動し、断面図を抽出することで途切れない繰り返し再生を可能にする。提案手法の検証では、様々な条件下でシームレスなアニメーションが生成可能であることを確認した。また、断面図の抽出や入力データの調整によって、より複雑な模様遷移や複数のアニメーション出力も可能であることが分かった。

Abstract

In recent years, there has been an increase in the use of animation as a texture for 3D models in 3DCG and game production. In particular, for some applications, seamlessly repeatable animations are required. Although much research has focused on generating pattern transitions based on physics and chemistry, few methods exist for creating diverse animations that are independent of the input data. In this study, we propose a new animation texture generation method that achieves complex pattern transitions while ensuring seamlessness. By continuously moving the plane area that serves as the cross-section of the voxel data and extracting the cross-sectional image, seamless repeat playback becomes possible. Verification of the proposed method confirmed that seamless animation could be generated under various conditions. Furthermore, it was found that more complex pattern transitions and multiple animation outputs were achievable by extracting cross-sectional images and adjusting the input data.

1 はじめに

三次元コンピュータグラフィックスを利用した映像制作やデジタルゲーム制作にて、モデル表面に張り付けるテクスチャ素材として繰り返し再生を伴うシームレスなアニメーションデータを用いることがある。本稿において繰り返し再生とは、アニメーションを最後まで再生したときに自動的に最初からアニメーションを再生することを指す。一般的には、ループ再生と呼ぶことが多い。また、シームレスなアニメーションとは、人間が目でアニメーションを見た際にその映像が途切れていないと感じる状態を指す。

単純な図形や線に則った規則的な動作を用いるのであれば、シームレスな繰り返し再生が可能なアニメーションを作成することは困難な要素は比較的少ない。しかし、複雑かつ抽象的な変形を伴うような場合、シームレスな繰り返し再生を実現することは難しい。複雑に湾曲した模様が蠢くようなアニメーションでシームレスな繰り返し再生を実現する場合は、図形や模様の生成方法や動かし方などにおいて複雑な法則や方程式を用いる必要がある。

本研究ではこのような課題を考慮して、アニメーションテクスチャ生成におけるシームレス性の保証と複雑な模様遷移の実現を目的とする。この目的に沿った研究成果として、上記2点の課題を解決することが可能な繰り返しアニメーションの生成手法を提案する。本研究で提案する手法では、任意の手法で用意したボクセルデータを入力データとして使用する。このボクセルデータの断面を二次元平面の画像として複数回抽出した上で、すべての断面図を用いて生成物であるアニメーションを出力する。また、入力するボクセルデータの構造やデータ制作手段に複数の既存手法を適用することで、出力するアニメーションの見た目や模様遷移の動き方などを幅広く調整することが可能である。

本研究と類似した要素を持つアニメーション生成を題材とした研究としては、Neel ら [1] によるシネマグラフを生成する手法が存在する。この手法では1つの映像から1枚の静止画を切り出し、それとは別に映像編集の背景画像として数秒間の映像をアニメーション素材として切り出す。その上で、映像の一部分を静止画に重ねて表示し、1つの映像から1枚の静止画風アニメーション

を制作する。この研究では静止画ではなく映像を入力するという発想を以てアニメーションを出力しており、同じく静止画ではなくボクセルデータを入力する本研究と類似したアニメーション生成手順を持つ。しかし、Neel らの研究の目的は映像作品の完成形を生成することであり、本研究のような汎用性の高いアニメーション生成手法は考慮していない。また、Neel らの提案した手法では、繰り返し再生時のシームレス性の保証が不可能である。

山本ら [2] は、画像分析で取得した法線マップに従ってその画像を歪め、分析元の画像が揺らめくようなシームレス性のある動きを持つアニメーションを生成する手法を提案した。しかし、この研究では画像の揺らめきを研究対象としているため、より大規模な模様遷移は研究の対象外である。

Ningxiao ら [3] は、三次元ナビエ-ストークス方程式を利用して、パーリンノイズ分布と物理環境に則った渦流体モデルを発表した。このモデルは実際の挙動と非常に酷似した虹色の石鹸膜模様を生成することを目的としており、複数の色の層を攪拌するような複雑な形状と模様遷移を備えたアニメーションの生成を可能としている。本研究が目指す複雑で抽象的なアニメーションの一例として理想的な模様遷移を生成する研究ではあるが、研究目的が石鹸膜のみを対象としているため攪拌以外の模様遷移を持つアニメーション生成は不可能である。

これらの研究のように、特定の場面を想定したアニメーションや入力データのモチーフに沿ったアニメーション、実在する現象を再現可能な理論に基づいたアニメーションなどを生成する手法は、既存研究として多数存在する。しかし、シームレス性の確実な保証と複雑な模様遷移の発生を可能とした上で、入力データのモチーフに縛られず多種多様なアニメーションを生成する手法は未だ少数だと言える。それに対して、本研究における提案手法では入力データや追加手順に応じた多種多様なアニメーションテクスチャの生成が可能である。

我々は、本研究の初期成果を NICOGRAPH2024 にて発表 [4] し、ノイズではない画像を入力データによる検証が必要であることや、初期データとして任意画像を入力可能とできることが望ましい旨の指摘を受けた。これを受け、新たなボクセルデータ生成手法としてチューリングパターンに着目した。これにより、一定の幾何学

模様や任意の入力画像を初期画像としたアニメーション生成を実現した。

2 提案手法

本章では、提案手法について説明する。はじめに、断面図抽出に用いるボクセルデータを用意、入力する。ボクセルデータは3次元配列データであり、各ボクセルは数値、色値など任意の型を持つことが可能であるが、基本的にはONとOFFの2値をとるものとする。また、本論文でボクセルデータを描画する場合、ONのボクセルのみを表示するものとする。なお、点の描画色は視点からの距離が近いほどシアン、遠いほど赤くなるように設定している。

次に、直線と平面領域をそれぞれ設置した上で、平面領域と重なったボクセルデータの一部分を断面図として抽出する。抽出した後は、平面領域を少し回転して再び抽出を行う。この繰り返しを、平面領域が初期位置と同じ位置に戻るまで続行する。最後に、抽出したすべての断面図を抽出順に並べて、断面図に現れた模様が少しずつ変形するような模様遷移を持つアニメーションを出力する。

2.1 ボクセルデータの入力

本手法を利用するためには、断面図を抽出する際に必要となるボクセルデータを任意の手段で用意する必要がある。この研究では、筆者らが過去に提唱した手法 [5] を利用した。該当手法を用いることで、2次元平面と時間軸を兼ね備えた動画の情報を3次元空間上のボクセルデータへと変換することが可能である。

図1は、動画からボクセルデータへの変換手法を簡単に示した様子である。前提として、動画は再生を一時停止すれば静止画と同じ状態になる。これを利用して、動画再生を開始した上で一定時間が経過する度に、その時点における動画の見た目を静止画として取得する。これを複数回繰り返し取得した上で全ての静止画を取得時間順に重ねることで、動画の時間軸を直交座標系における第3の軸に変換する形でボクセルデータを生成することが可能となる。

なお、本手法で入力するボクセルデータには、立体構造物としての形状やサイズなどといった具体的な条件や利用制限を設ける必要がない。そのため、実在する物体をスキャンしたデータや他の映像表現手法に基づいて自

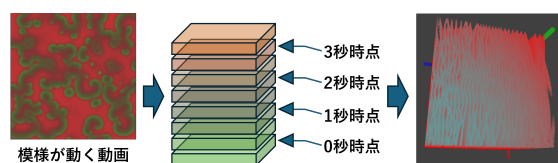


図1 動画をボクセルデータへ変換する概略図

動生成したデータ、数値の手入力で生成したデータなど様々なボクセルデータを本手法の入力物として利用することが可能である。

ただし、本研究における目的の一つである「アニメーション生成における複雑な模様遷移」に関して、入力するボクセルデータの形状は、生成物における模様遷移の複雑度合いに大きな影響を及ぼす。ボクセルデータの形状や断面の模様がそのまま生成物の見た目となるため、この入力データを用意する手段としては、ボクセルデータの形状を制御可能なデータ生成手法が望ましい。ここではボクセルデータ生成手法の一例として、本研究の検証でも利用するチューリングパターンに言及する。

チューリングパターン [6] は、反応拡散方程式において式内の反応項や拡散係数などが一定の条件を満たす際、自発的に模様が発生するという理論である。チューリングパターンによる模様が時間経過に伴い遷移する際、模様の間隔と密集度、そして方程式に組み込んだパラメータ値による影響の総計が全域でほぼ均一となるまでチューリングパターンによる模様遷移は止まらない。チューリングパターンの一例として、検証に使用したGray-Scott モデル [7] の連立偏微分方程式を式 (1) にて示す。ただし、 $\frac{\partial u}{\partial t}$ と $\frac{\partial v}{\partial t}$ はすべての格子にそれぞれ紐づけた2種類の値 u, v の増減量を、 D_u と D_v は拡散係数、 Δu と Δv はラプラシアン、 F と k は u と v の増減を調整するパラメータである。これにより、チューリングパターンは模様のプロシージャル生成が可能である。

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= D_u \Delta u - uv^2 + F(1 - u), \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= D_v \Delta v + uv^2 - (F + k)v.\end{aligned}\tag{1}$$

なお、近藤らの研究 [8] により、チューリングパターンは熱帯魚など様々な動物の柄模様を再現することが可能だと判明している。この再現を可能とするチューリングパターンの特徴として、模様の塊が自動で適度に散開する、連立方程式のパラメータ調節で実現する模様の大き

さや拡散範囲の自在な調整、任意の形状を持つ模様を意図して生成しやすいなど複数の有用な特徴が存在する。これらの特徴により、チューリングパターンは本手法への適性が高い。図2は、チューリングパターンで生成した3種類の模様である。これらは生成可能な模様の一例であり、大まかな規則性を持った多種多様な模様をランダムかつ大量に生成することが可能である。これに加えてチューリングパターンの生成時点で任意の形状が生成結果に現れるような細工を施した場合は、平面領域や回転軸の初期設定次第で本手法による生成アニメーションにも任意の模様を表示可能となる。

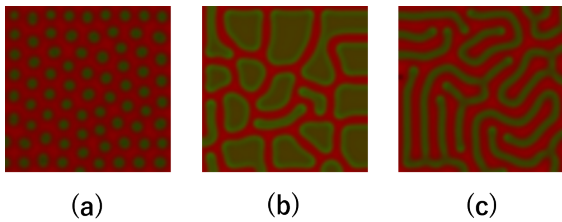


図2 二次元チューリングパターンのサンプル

2.2 断面図の抽出

2.1 節で用意したボクセルデータが存在する三次元空間の領域に、矩形平面領域と回転軸を設定する。そして回転軸を中心に平面領域を回転して、一定角度回転するごとに平面領域と重なるボクセルデータから断面図を抽出する。この抽出と回転は、平面領域の回転角が360度になるまで続行する。図3は、上記の手順を図示したものである。図中の緑色の立方体がボクセルデータ、赤い四角形が平面領域、黄色い線が回転軸を示している。図の上部にある緑色の正方形は、ボクセルデータを上から見た様子である。

図4は、2次元平面状の模様が回転する動画を時間軸から第3の軸へ変換する手法に入力して得たボクセルデータである。また、図5は、図4を斜めに切って上半分を取り除いたボクセルデータである。そして、図6は、本手法に沿って図4のボクセルデータから実際に抽出した3枚の断面図である。各断面図に存在する緑色の模様はボクセルデータと図3の赤い平面領域が重なった場所を示しており、平面領域の回転に伴って僅かに移動していることが読み取れる。

なお、本研究における目的の一つである「アニメーション生成におけるシームレス性の保証」に関して、断

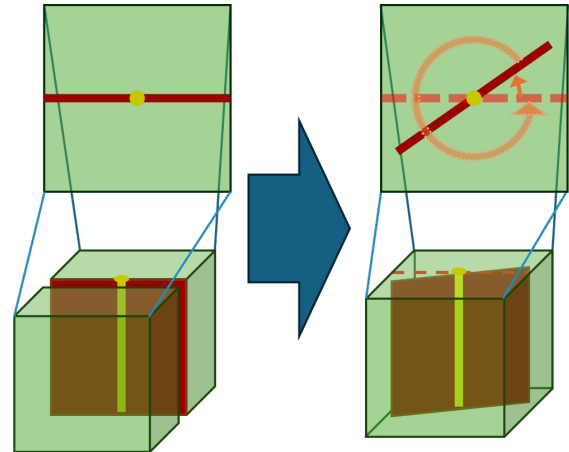


図3 ボクセルデータ内部で回転する平面領域

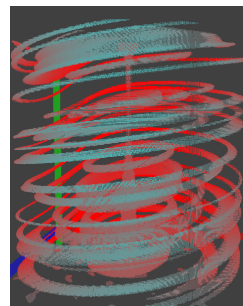


図4 生成したデータ

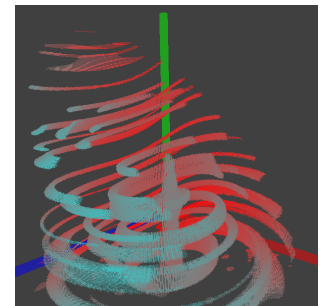


図5 図4を斜めに切った様子

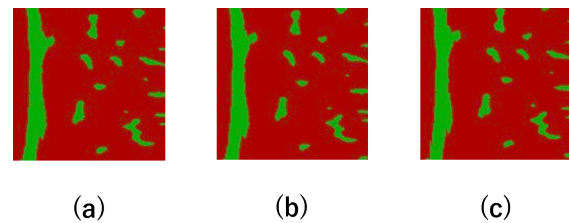


図6 連続で抽出した3枚の断面図

面を抽出するための平面領域を回転することで確実にシームレス性を保証することが可能となる。この平面領域を一本の軸に沿って回転した場合、回転角が一周に達した時点で平面領域が元の座標に必ず戻る。また、本研究では平面領域の回転中はボクセルデータの移動や変形を行わない。そのため、平面領域をちょうど一周回すと、ボクセルデータから抽出する断面図が一回転の前後で必ず同じ見た目となる。これにより、回転が一周するまでの断面図を定期的に抽出することで、生成したアニメーションを繰り返し再生した際も見た目が確実に途切れなくなる。

また、「一周回転した時点で平面領域が元の座標かつ元の角度に戻る」という条件を満たす限り、平面領域や回転軸の座標や初期角度などは自由に設定することが可能である。この特性が有効に機能する事例として、特定の条件下ではアニメーションの模様遷移が一部区画で乏しくなるという問題が存在する。この問題の一例として、回転軸が平面領域に平行かつ平面領域の中央に存在する場合は、どれだけ平面領域を回転しても、抽出した断面図の中央部分では模様遷移がほぼ発生しない。図7は、60度間隔で抽出した4枚の断面図を並べた上で、各断面図の中央部分のみをハイライト表示したものである。これは回転軸が存在する部分のみ、平面領域が回転する際に座標が変化しないためである。この問題に対する有効な対策としては、平面領域を回転軸から離れた座標に動かせばよい。このように、平面領域や回転軸を自由に移動することで、本手法で生成するアニメーションに対して意図的に模様遷移の様子を変更することが可能となる。

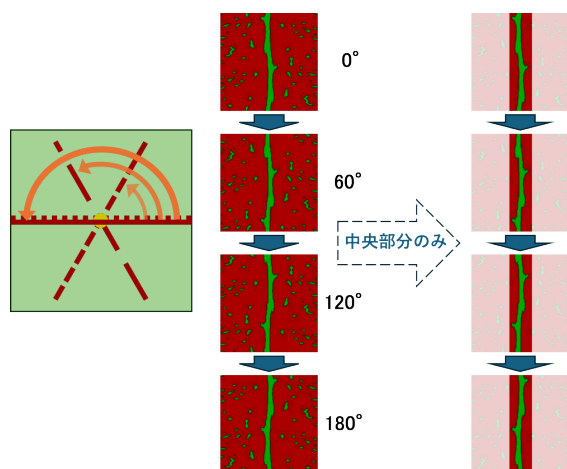


図7 ボクセルデータ内部で回転する平面領域

2.3 複数の断面図によるアニメーション生成

2.2節で抽出した複数の断面図を、抽出した時列系に沿って1枚ずつ順番に表示してアニメーションとする。断面抽出の頻度が十分に高い場合、各断面図とその前後に抽出した断面図との模様や見た目の誤差はほぼなくなる。そのため、パラパラ漫画の要領で、人の目で見ただけに連続して見えるシームレスなアニメーションが生成可能となる。

なお、本手法では大抵のボクセルデータを入力することが可能だが、すべての入力データに対して特徴的な模

様遷移を有するアニメーションを必ず出力するとは限らない。例えば、極小ボクセルが均一に散乱するボクセルデータを用いたアニメーション生成では、平面領域の座標や角度に関わらず常にスクリーントーンのようなノイズ画像が映る生成結果となる。また、トラス型形状を表すボクセルデータに対し、平面領域の回転軸をトラスの中心に配置した場合、画像はほとんど変化がない状態となる。複雑かつ明瞭な模様遷移を持つアニメーションを生成する際に入力すべきボクセルデータとして、ボクセルの塊が過密も過疎も避けた状態にあるような複雑な形状を持つものが望ましい。

3 検証

本章では、本研究における提案手法の検証方法と入力するボクセルデータ、そしてアニメーションの出力結果をそれぞれ述べる。今回の検証では、本手法に沿って開発したアニメーション生成システムを用いた。

3.1 検証用システム

本研究では検証用システムの中核として、Fine Kernel Tool Kit System[9]を用いてボクセルデータの断面図を抽出するプログラムを制作した。バージョンはFK Core22 4.3.0である。図8は、断面図抽出プログラムを実行した際の実行画面である。画面右半分に存在する四角形の見た目をした赤い平面をキーボード操作で回転する度に、平面と交差するボクセルデータのうちONの箇所を緑色に着色した画像を断面図として表示している。入力データは、Processing[10]を用いて生成した。

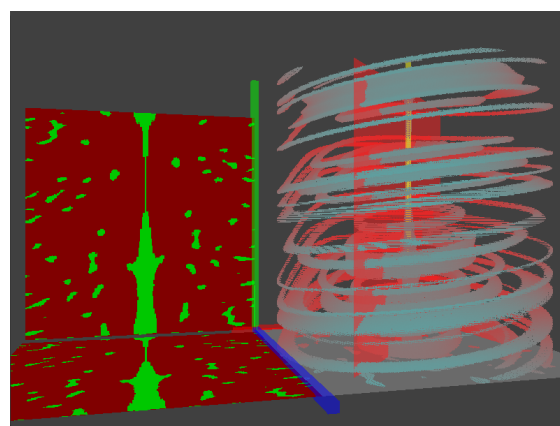


図8 検証用システムの全体図

今回の検証では、ボクセルデータを自動生成するプロ

グラムを実行した上で断面図抽出プログラムにデータを入力して、抽出した複数の断面図を GIF ファイルとしてアニメーションに変換した。断面図の抽出過程では、平面領域が 2 度回転する度に断面図抽出を実行した。これにより、各検証にて断面図を 180 枚抽出した上で、すべての断面図を用いてアニメーションを生成した。また、入力用ボクセルデータの自動生成を行うプログラムとしては、チューリングパターンの理論を用いた生成システムを別途制作した。それと同時に、生成するボクセルデータに発現する模様の全体的な構造が、過密状態と過疎状態を避けるように調整を施した。具体的には、ボクセルデータ生成に利用した模様形状 [11] の吟味や、ボクセルデータ改変前後での模様密度維持を実施した。今回の検証に用いた Gray-Scott モデルには、時間が経過しても模様が消失しない密度が幅広く存在する。模様が消失する濃度では時間経過に伴う模様遷移が急激な傾向が存在するため、維持する模様密度の目安として模様が消失しない範囲を利用している。

3.2 平面領域の初期座標を移動する検証

この節では、平面領域の初期座標を回転軸から離す検証とその結果を記載する。この検証は、2.2 節にて言及した模様遷移が起こりづらくなる問題を再現、解決するものである。

図 9 と図 10 は共に y 軸を中心として平面領域を回転し、特定の回転角度の時点で断面図を抽出したものであるが、回転する平面領域が異なっている。ボリュームデータ全体の領域を定数 M を用いて

$$\{-M \leq x \leq M, -M \leq y \leq M, -M \leq z \leq M\} \quad (2)$$

としたとき、初期状態での平面領域を図 9 は

$$\{-M \leq x \leq M, -M \leq y \leq M, z = 0\} \quad (3)$$

として設定したものであり、図 10 は

$$\left\{ \frac{M}{4} \leq x \leq M, \frac{M}{4} \leq y \leq \frac{3M}{4}, z = 0 \right\} \quad (4)$$

と設定したものである。また、どちらの図も断面抽出時の回転角度は 20 度、26 度、32 度である。

図 9 の断面図では、3 枚すべてにおいて中央部分の模様がほぼ変化していない。この現象は前述の問題として言及した通り、断面図の中央を貫くような初期座標に回転軸を配置していることが原因である。それに対して、

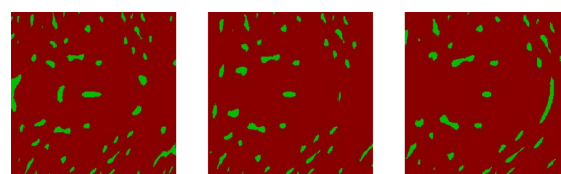


図 9 平面領域を移動する前の断面図

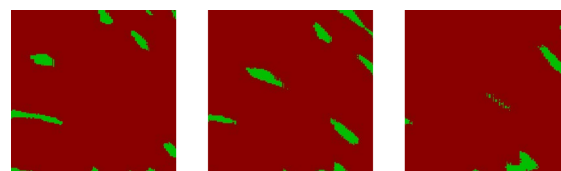


図 10 平面領域を移動した後の断面図

図 10 の断面図 3 枚からは中央部分も含めて模様が全域で大きく変遷していることがわかる。

それぞれの画像の変化の度合いを、「画像 A において緑色の画素となっている箇所のうち、画像 B においても同位置の画素が緑色となっている割合」という方法で算出した。変化の度合いが大きいほど、割合は小さくなることになる。算出結果を以下に示す。

- 図 9 での 20 度と 26 度: 22.08%
- 図 9 での 26 度と 32 度: 21.26%
- 図 10 での 20 度と 26 度: 10.71%
- 図 10 での 26 度と 32 度: 13.05%

このように、定量的にも図 9 よりも図 10 の方が変化の度合いが大きいことがわかる。

3.3 ボクセルデータの改変による変化の検証

この節では、一つのボクセルデータを改変した場合の改変前後での変化を検証した結果を記載する。この検証の目的は、本手法の入力データを改変することで、出力するアニメーションの模様遷移に一定の変化を引き起こすことである。図 11 は、この検証にて用いたチューリングパターンの模様である。また、図 12 は、図 11 の静止画を変換して生成したボクセルデータである。便宜上、これをボクセルデータ A と呼ぶ。ボクセルデータ A は、図 11 の静止画を等速で回転しながら垂直方向へ平行移動した上で、緑色の模様が移動した軌跡を三次元の模様としてボクセルデータに変換したものである。図 13 は、

ボクセルデータ A を複製した上で初期角度から 90 度回転して、元のデータと複製回転したデータを統合したボクセルデータである。このボクセルデータは、ボクセルデータ A を改変したためボクセルデータ A' と呼ぶ。この検証では、ボクセルデータ A とボクセルデータ A' をそれぞれ入力データとして使用した。

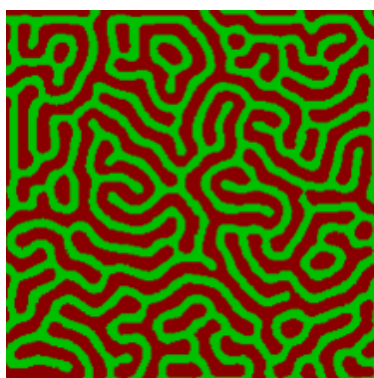


図 11 使用したチューリングパターン

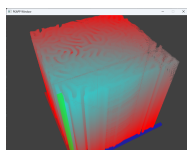


図 12 ボクセルデータ A

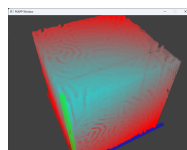


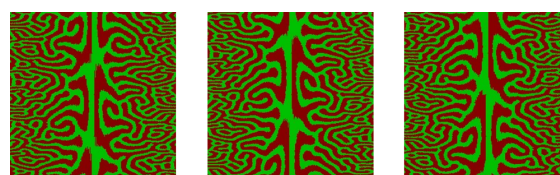
図 13 ボクセルデータ A'

図 14 は、ボクセルデータ A の断面図である。模様遷移としては、上へ直進するような動きを確認した。

また、図 15 は、ボクセルデータ A の初期角度を 90 度回転した状態で断面図を抽出した画像である。模様遷移としては、円を描くような歪み方を確認した。なお、図 15 の 120 度と 240 度の四隅に図 11 には無い縦線が存在するが、これはボクセルデータ生成時に視認性向上を目的としてチューリングパターンとは別に付与した模様である。図 11 に回転処理を適用した動画にて空白地帯と化した箇所縦線が出現するため、縦線以外の箇所のみを観察することでボクセルデータ改変の影響を正確に確認できる。

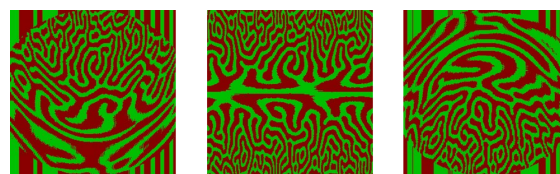
図 16 はボクセルデータ A' の断面図である。図 16 の 120 度、180 度、240 度時点の断面図を図 14 と比較すると、断面図の中でも下半分に同じ形状の模様が双方に存在することがわかる。同じように図 16 と図 15 を比較すると、図 16 の上半分が図 15 の各断面図と一致することがわかる。その上で、ボクセルデータ A と A' でそれぞれ

生成したアニメーションは、全体的には別物の動きとなった。また、各断面図において模様が不自然に途切れた箇所は四隅を除いて存在しない。アニメーション全体のシームレス性に関しても、連続した断面図をすべて見比べた結果として極端に模様構造が変化した箇所は存在しなかった。そのため、ボクセルデータの改変を行った上で生成したアニメーションも、改変前と変わらずシームレス性を保つと言える。



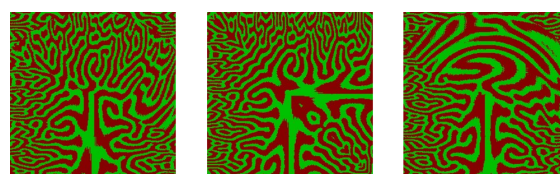
120度 180度 240度

図 14 ボクセルデータ A を入力した際の断面図



120度 180度 240度

図 15 ボクセルデータ A を 90 度回転した際の断面図



120度 180度 240度

図 16 ボクセルデータ A' を入力した際の断面図

3.4 任意の模様を表示する検証

この節では、本手法の延長線上として任意の模様を含むアニメーションを出力する検証の結果を記載する。具体的な手段としては、筆者らが過去に提唱した手法 [12] を用いてボクセルデータを生成する際に、アニメーション再生中に表示したい任意の象徴的な模様をチューリングパターンの初期配置としてセットする。その上で、任意の模様がボクセルデータの表面に現れるようにボクセルデータを生成して、このボクセルデータと鏡映対称

なボクセルデータを任意の模様が現れている面同士で結合する。これにより、任意の模様がボクセルデータの中央に存在するため、平面領域と回転軸をボクセルデータの中央に配置することで、アニメーションの再生開始時点と再生終了時点の見た目が任意の模様と完全に一致する。

図 17 は、この検証にて任意の模様として用いる東京工科大学コミュニケーションマーク [13] である。また、図 18 はコミュニケーションマークを中央部分に持つボクセルデータ、図 19 はコミュニケーションマークを捻じった形状のボクセルデータとそれぞれの生成過程である。要点として、平面領域の初期座標に模様の断面が重なるように、ボクセルデータを改変している。具体的には、ボクセルデータの中央から上下 2 方向へ時間軸が増加するように静止画を重ねることで、赤い平面領域の初期位置である中央に元のコミュニケーションマークが現れるようにした。図 19 の場合は、図 18 と同じ元動画に一定速度の回転処理を加えた上で、ボクセルデータ変換手法へ入力している。

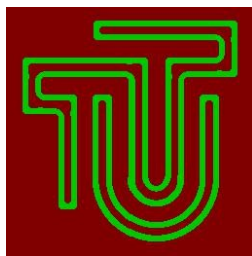


図 17 コミュニケーションマークを模した模様

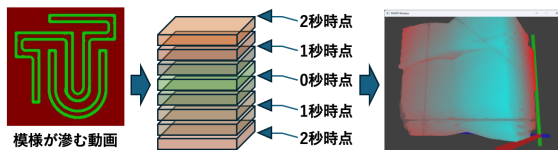


図 18 模様を中央に据えたデータ

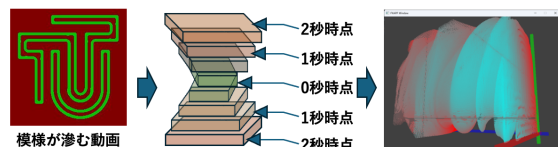
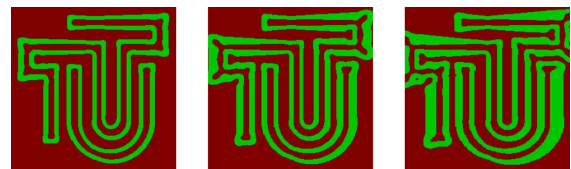


図 19 模様を捻じったデータ

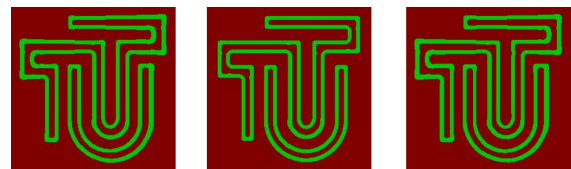
図 20 と図 21 は、コミュニケーションマークをまっすぐ延ばして仕込んだボクセルデータを入力して得た断面

図である。また、図 22 と図 23 は、コミュニケーションマークを回転して捻じるように延ばしたボクセルデータを入力して得た断面図である。図 20 と図 22 にある 10 度刻みの断面図で断面図の模様構造が似たようなものになっていることから、ボクセルデータを改変した状態でもアニメーション再生中にシームレス性を保つことが確認できる。また、図 21 と図 23 の中でも 0 度時点の断面図は、見た目がコミュニケーションマークそのものとなっている。なお、図 21 と比較して図 23 は 354 度並びに 6 度の模様と 0 度の模様の差異がより大きなものとなっている。これらの検証結果から、ボクセルデータの生成時点で細工を施した上で平面領域と回転軸、そしてボクセルデータ内部の模様発現箇所をそれぞれ調整することで、任意の模様をアニメーション中に表示することが可能だと言える。



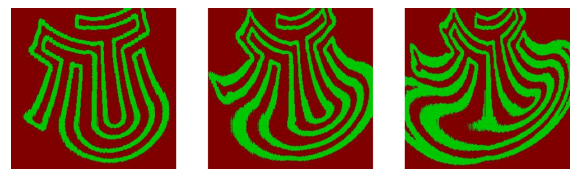
10度 20度 30度

図 20 直線ボクセルデータの入力結果



354度 0度(360度) 6度

図 21 直線ボクセルデータの繰り返し再生時点での断面図



10度 20度 30度

図 22 捻じれボクセルデータの入力結果

図 23 の「繰り返し再生時の模様遷移が大規模である」という特徴は、使用用途などの都合で「アニメーションの再生中に任意の模様を視認することが難しい」という

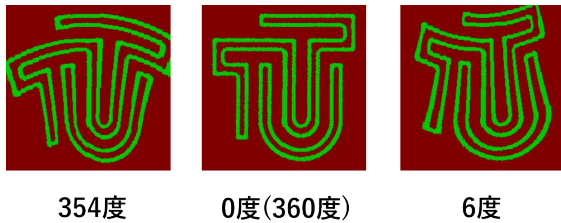


図 23 捻じれボクセルデータの繰り返し再生時点での断面図

問題に発展する場合がある。そのため、提案手法の手順追加でこの問題を解消可能か否かを追加で検証した。具体的には、提案手法の断面図抽出段階にて、平面領域の回転角度を従来の等速加算からイージング処理を適用した滑らかな回転角度加算に変更した。回転角が 0 度と 180 度に近い時点では角度の加算値を少なく、90 度と 270 度に近い時点では加算値を多くすることで、繰り返し再生の前後にてアニメーションの速度を抑えて任意の模様の視認性を改善することに成功した。図 24 は、図 23 の生成プログラムにイージングを適用した際の断面図である。図 23 では 6 度刻みで大幅な遷移が発生しているが、図 24 では 10 度刻みで確認しても模様遷移を大幅に抑えることに成功している。



図 24 イージング適用後の繰り返し再生時点での断面図

また、東京工科大学コミュニケーションマークは本来 2 色で表現する模様であるため、2 次元画像の情報を 3 次元ボクセルデータへと変換する手法と本研究の提案手法を併用した。これにより、生成アニメーションに任意の模様と同じ着色を施す検証を実施した。ここで利用した過去提唱手法とは、チューリングパターンの模様遷移に対して各模様の色情報を保持したまま模様の拡散、増幅を可能とするようなものである。これを本研究の提案手法に適用することで、入力用のボクセルデータに任意の模様の色情報を引き継ぎ、この色情報を生成アニメーションまで反映することが可能となる。図 25 は、提案手法に着色工程の組み込みを実施した際の断面図である。全ての断面図に対してコミュニケーションマークに

準じたカラーリングを適用しており、最初に設定した模様の色をボクセルデータ全体、そしてアニメーション全体に反映することに成功している。

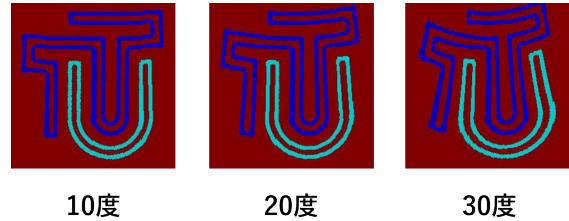


図 25 捻じれボクセルデータの繰り返し再生時点での断面図

更に、指定する任意模様の構造と生成アニメーションの模様遷移が一つ前の検証よりも複雑となる事例を想定して、東京工科大学の校章 [13] を生成アニメーションに表示する検証も実施した。図 26 は、実際の検証にて利用した校章の模様である。図 17 と比較して模様の構造が複雑かつ細かいだけでなく、模様の中に空白部分や隙間が存在しないという違いが存在する。画像データの入力に際して、全体の色データを 10 種類に区分けしている。また、ボクセルデータ生成に利用するチューリングパターンに関して、Gray-Scott モデルのパラメータを $F = 0.025$, $k = 0.0525$ と設定することで、チューリングパターン特有の複雑な模様遷移が生成アニメーションに強い影響を及ぼすように調整した。



図 26 入力データに仕込んだ校章の模様

図 27 は、上記の条件を満たしたボクセルデータを入力した上で、イージングや色設定引き継ぎなどの既存手法を適用した本手法でアニメーションを生成した結果である。模様遷移の様子を見るために 0 度、30 度、60 度、90 度時点の断面図 4 枚を確認すると、校章そのものから校章の輪郭が残る形状へ遷移した上で、主に外周部分にてチューリングパターン特有の複雑な形状、並びに模様遷移を確認することができる。このアニメーションも全編通してシームレスな模様遷移を行っており、本手法の

適用が任意の模様形状を問わず可能であることを確認した。また、チューリングパターンによるボクセルデータを利用することで、他のアニメーション生成手法では生成が難しい複雑な模様遷移を実現可能なことも確認できた。チューリングパターンそのものと比較した場合も、シームレスな繰り返し再生が確実に可能な点を以てアニメーション生成手法としての差別化が可能である。

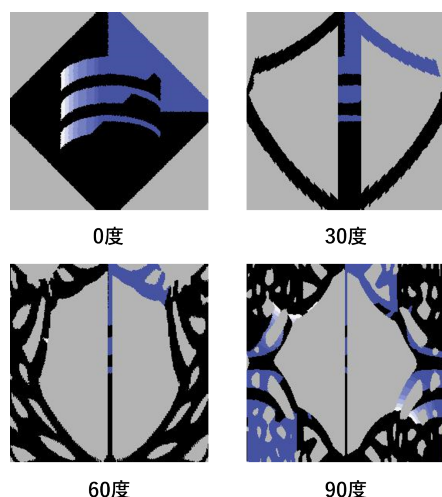


図 27 捻じれボクセルデータの繰り返し再生時点での断面図

4 まとめ

本研究では、複雑な模様遷移を持つシームレスなアニメーションの生成を可能とする新たな手法を提案した。本手法は、ボクセルデータを入力して、テクスチャとしての利用に適したアニメーションを出力するものである。入力したボクセルデータからは、断面図を複数回抽出する。この際、少しずつ断面の座標や角度をずらしながら抽出することで、生成したアニメーションがシームレスに模様遷移するようになる。また、ボクセルデータの自動生成手法やその他の既存手法を本手法に適宜組み込むことで、出力するアニメーションの見た目や模様遷移を幅広く調整することが可能である。

本手法で生成可能なアニメーションは、コンピュータグラフィックスにおけるテクスチャ素材などの用途で利用することを想定している。そのため、繰り返し再生時も含めたアニメーションテクスチャの再生中は常にシームレス性を保つような工夫を手法に施している。

検証では、チューリングパターンの利用やボクセル

データの改変、平面領域の移動など本手法の一部手順に様々な既存手法を施すことで、生成アニメーションに発生する模様遷移の大まかな傾向をコントロール可能なことを確認した。また、回転開始時点とちょうど一回転した時点でそれぞれの平面領域が直交座標上で座標も角度も一致すれば、シームレス性を維持した上で平面領域に対する回転軸変更や平行移動処理を加えることも可能である。これにより、1種類のボクセルデータから多種多様なアニメーションを生成することが可能となる。アニメーションの見た目に関しては、入力するボクセルデータの生成手法が特定の条件を満たすことで、生成アニメーションに任意の象徴的な模様を表示することが可能だと判明した。

本研究には、計算処理や調達手段に難のあるボクセルデータの使用が前提という問題点が存在する。これに関しては、ボクセルデータの計算処理における既存の高速化研究や計算を担うコンピュータの更なるスペック上昇などを以て根本的な解決が可能になると考える。また、ボクセルデータを扱う他の研究内容をデータ入力までの手順として組み込むことで、本手法の更なる発展が実現する可能性が高い。

今後の取り組みとしては、実在する物体を測定して得たボクセルデータによる検証を想定している。また、ボクセルデータを利用する事例や最新技術などと本手法の併用を考察して、本研究の更なる有用性検討を進めていく。

参考文献

- [1] Neel Joshi, Sisil Mehta, Steven Drucker, Eric Stollnitz, Hugues Hoppe, Matt Uyttendaele, and Michael Cohen. Clipleets: juxtaposing still and dynamic imagery. *UIST '12, Association for Computing Machinery*, pp. 251–260, 2012.
- [2] 山本薫, 栗田正伸, 坂本雄児. 時空間周波数領域を用いた一枚の画像からの揺らめき動画生成. 映像情報メディア学会誌, Vol. 69, No. 1, pp. J30–J37, 2015.
- [3] Ningxiao Tao, Liangwang Ruan, Yitong Deng, Bo Zhu, Bin Wang, and Baoquan Chen. A vortex particle-on-mesh method for soap film simulation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 43,

No. 4, pp. 1–14, 2024.

- [4] 渡辺充, 阿部雅樹, 渡辺大地. ボクセルデータを用いた周期的な動画の生成手法. *NICOGRAPH2024*, pp. F8:1–F8:6, 2024.
- [5] 渡辺充, 渡辺大地. チューリングパターンを利用した範囲分割と複雑な境界生成. *NICOGRAPH2021*, ポスター発表, No. P-47, pp. 1–2, 2021.
- [6] Turing A. M. The chemical basis of morphogenesis. *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, Vol. B 237, pp. 37–72, 1952.
- [7] P. Gray and S. K. Scott. Autocatalytic reactions in the isothermal, continuous stirred tank reactor: Isolates and other forms of multistability. *Chemical Engineering Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 29–43, 1983.
- [8] Kondo S and Asai R. A reaction-diffusion wave on the skin of the marine angelfish pomacanthus. *Nature*, Vol. 376, pp. 765–768, 1995.
- [9] Fine Kernel ToolKit Project. Fine Kernel ToolKit. <http://gamescience.jp/FK/>. 参照: 2024.11.18.
- [10] Processing Foundation. processing. <https://processing.org/>. 参照: 2025.1.30.
- [11] Robert P. Munafo. Reaction-diffusion by the gray-scott model: Pearson's parametrization. <https://mrob.com/pub/comp/xmorphia/index.html>. 参照: 2025.5.2.
- [12] 渡辺充, 阿部雅樹, 渡辺大地. 2次元チューリングパターンを用いた多様な3次元モデルの作成. *NICOGRAPH2022*, ポスター発表, No. P-31, pp. 1–2, 2022.
- [13] 東京工科大学. コミュニケーションマークについて. <https://service.cloud.teu.ac.jp/portal/about-tut-communication-mark/>. 参照: 2025.1.11.

渡辺 充



2023年東京工科大学メディア学部卒業. 2025年同大学大学院バイオ・情報メディア研究科メディアサイエンス専攻修士課程卒業.

阿部 雅樹



2008年東京工科大学メディア学部卒業. 2010年東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科修士課程修了. 2023年東京工科大学大学院後期博士課程修了. 博士(メディアサイエンス). 2016年より2024年まで東京工科大学メディア学部実験助手. コンピュータグラフィックスやゲーム制作に関する研究に従事.

渡辺 大地



1994年慶応義塾大学環境情報学部卒業. 1996年慶応義塾大学政策・メディア研究科修士課程修了. 2016年岩手大学工学研究科デザイン・メディア工学専攻博士後期課程修了. 博士(工学). 1999年より東京工科大学メディア学部講師. 2017年より同准教授, 2020年より同教授, 現在に至る. コンピュータグラフィックスやゲーム制作に関する研究に従事. 芸術科学会, 情報処理学会, 画像電子学会, 人工知能学会会員. 芸術科学会においては, *NICOGRAPH* プログラム委員長, *DiVA* 編集委員長, 論文委員長, 副会長などを歴任し, 2024年より芸術科学会会長.