

動的な Small Multiple Textures の生成のための 和紙テクスチャの潜在空間への風鈴音の派生写像

佐藤 信¹

概要: 本稿では、風鈴の音にあわせて変化する和紙の Small Multiple Textures の生成を目的として、音をテクスチャに派生的に写像するための手法を提案する。既提案手法では、深層生成モデルを用いて学習した和紙のテクスチャの潜在空間に音のスペクトログラムを写像することにより、音にあわせて変化するテクスチャを生成した。ここでは、音にあわせたテクスチャの変化に流れをイメージするような視覚的效果を加えることを目的として、流体計算によりテクスチャを派生的に写像するための手法を提案する。学習済みの和紙のテクスチャモデルを用いると、Web プログラミングにより音にあわせて変化するテクスチャを生成することが可能である。提案手法は、落ち着いた雰囲気のを表現するコンテンツを制作するために適した手法である。

Derived Mapping of Wind Chime Sounds to Washi Texture Latent Spaces for Generating Dynamic Small Multiple Textures

MAKOTO SATOH¹

Abstract: This paper presents a derived mapping method between sounds and textures for generating Washi Small Multiple Textures varying with wind chime sounds. In previous methods sound spectrograms were mapped to Washi texture latent spaces, learned with a deep generative model, to generate varying textures associated with sounds. In this paper a derived mapping method using a fluid simulation is presented, for giving visual effects associated with flow imagery to varying textures associated with sounds. Using learned Washi texture models, varying textures associated with sounds can be generated with Web programming. The method is suitable for creating artistic contents representing relaxing japanese traditional ambiente.

1. はじめに

本稿では、風鈴の音にあわせて変化する和紙の Small Multiple Textures の生成手法について述べる。音にあわせたテクスチャの変化に流れをイメージするような視覚的效果を加えることを目的として、[12] を拡張した派生的な写像手法を提案する。特徴は、次のとおりである。

- 深層学習により学習した和紙のテクスチャの潜在空間を探索することにより、特徴が滑らかに変化するテクスチャ列を生成する。そのテクスチャ列から、風鈴の音にあわせて変化する動的なテクスチャを生成する。

- 流体計算による流れのデータをテクスチャのアルファ値に関連付けてレンダリングすることにより、音をテクスチャに派生的に写像する。

以上により、対話的に選択したテクスチャに類似な特徴を保ちつつ、音にあわせて流れをイメージするように変化する動的なテクスチャを生成する。なお、学習済みのテクスチャモデルを用いると、Web プログラミングにより提案手法の実装が可能である。提案手法は、落ち着いた雰囲気のを表現するコンテンツを制作するために適した手法である。

これ以降の構成について、簡単に説明する。2 節では、関連研究について説明する。そして、3 節では、流れをイメージする動的な Small Multiple Textures を生成するた

¹ 岩手大学
Iwate University, Ueda, Iwate 020-8551, Japan

めの手法について述べる．実験結果および検討を 4 節でおこなう．そして最後に，5 節で本稿のまとめと今後について述べる．

2. 関連研究との比較

2.1 聴覚情報と視覚情報との関連付け

日常生活においては，聴覚情報と視覚情報とを同時に知覚する場合が多いといえる．そのため，音とテクスチャによるコンテンツにおいて，知覚的な自然さを得るためには，聴覚情報と視覚情報との関連付けが重要であるといえる．

聴覚情報と視覚情報とを関連付けることは，長年にわたり研究者の興味をひきつけてきたテーマである．例えば，音楽と視覚情報とを関連付けるための手法 ([7], [15])，難聴者の聴覚を補うことを目的とした研究 ([5], [13]) などがある．また，聴覚情報のなかでもある種類の音には，聴くものをリラックスさせる効果があることは，日常的な経験から広く認められているといえる．例えば，よく眠るため，または，集中力を高めるためなどに音楽が効果的である場合がある [1]．

本稿の手法は，自然の風を間接的にイメージする風鈴の音を，手作りによる和紙の繊細なテクスチャに関連付けるための手法である [9], [10], [11] に関連する研究である．[9] では，風鈴の音のスペクトログラムから選択したデータを，深層生成モデルにより学習した和紙の潜在空間に直接的に写像した．[10], [11], [12] では，制作者が意図するようなコンテンツの制作を容易にすることを目的として，テクスチャの類似度を用いた潜在空間の探索手法を提案し，探索した潜在空間上の点を用いて音とテクスチャの間接的な写像をおこなった．

本稿では，[12] での手法に拡張をおこない，音にあわせて流れをイメージするように変化する動的な Small Multiple Textures を生成するための手法を提案する．提案手法は，落ち着いた雰囲気コンテンツの制作などに適した手法である．素材を生成するための新たな手法により素材に多様性をもたせ，リラックスするためのコンテンツを制作するうえでの選択肢を広げることが目的である．

2.2 深層生成モデル

提案手法では，和紙の繊細なテクスチャを生成するために，深層学習 (deep learning) [8] の学習モデルのひとつである深層生成モデル (deep generative model) を用いる．

深層学習で用いられる生成モデルには，VAE (Variational Auto-Encoder) [6] および GAN (Generative Adversarial Network) [4] などがある．これらの手法では，学習データの特徴を捉えた学習が可能であり，学習した潜在空間から学習データに類似したデータを高品質に生成することが可能である．そのことから，多くの研究者の注目を集め，多くの関連モデルおよび応用例が発表され続けている．

Algorithm 1 Generating dynamic Small Multiple Textures associated with flow imagery

Step 1: Learning Washi textures

prepare a Washi texture data set D ;
train a DCGAN model using D .

Step 2: Generating Small Multiple Textures

generate randomly textures using the trained model;
select favorite textures from the generated textures;
generate texture sequences of Small Multiple Textures S similar to the selected textures.

Step 3: Generating textures with fluid imagery

prepare wind chime sounds W ;
generate dynamic textures using a derived mapping method with W and S ; in the method the textures in S are rendered with the opacity value associated with computationally-simulated fluid data;
for detailed description see algorithm 2.

本稿では，GAN の関連モデルである DCGAN (Deep Convolutional Generative Adversarial Network) [14] により和紙のテクスチャの学習をおこなう．そして，学習した潜在空間に風鈴の音のスペクトログラムを写像することにより，流れをイメージするように変化するテクスチャを生成する．

3. 流れをイメージする Small Multiple Textures の生成

3.1 提案手法

提案手法を，アルゴリズム 1 に示す．**Step 1** では，[11] と同様にして，DCGAN [14] を用いて和紙のテクスチャを学習する．**Step 2** では，**Step 1** において学習した DCGAN の生成器を用いて，[10] と同様にして，視覚的な特徴の変化が類似な Small Multiple Textures のテクスチャ列を多数生成する．**Step 3** では，**Step 2** において生成した Small Multiple Textures のテクスチャ列に風鈴音を写像することにより動的なテクスチャを生成する．[12] と同様に，テクスチャの潜在空間に音のスペクトログラムを写像するが，ここでは [16] を用いて流体計算をおこない，その流れのデータにテクスチャを関連付けることにより派生的な写像をおこなう (詳細は，3.2 節)．

3.2 派生写像を用いたテクスチャのレンダリング

3.1 節で述べたアルゴリズム 1 の **Step 3** の詳細を，アルゴリズム 2 に示す．

アルゴリズムでは始めに，テクスチャをレンダリングするためのキャンバスを用意する．このキャンバスは，個々のテクスチャをレンダリングするためのセルで構成される．そしてそれに加えて，流体計算をおこなうためのセルを用意する．

次に、パラメータを設定する。設定するのは、スペクトログラムの強度の閾値 (**sprctrogramIntensityThreshold**), キャンバスセルへのテクスチャのレンダリングでのアルファ値の係数 (**textureAlphaFactor**), および、キャンバスセルの背景色のレンダリングでのアルファ値 (**backgroundAlpha**) である。これらのアルファ値は、派生写像のタイプにより必要になる場合がある。

アルゴリズムのこれ以降では、音の再生と流体計算を非同期におこないながら、テクスチャをキャンバスにレンダリングする。そのためにここで、流体セルを用いた流体計算を開始する。

そして、音を再生しながら、音データの各 FFT フレームごとに以下を繰り返す。

Step 1 音データの FFT スペクトルを求め、それをもとにスペクトログラムを作成する。ここで、スペクトログラムの着目する成分のデータを **spectrogramIntensity** とする。

Step 2 **spectrogramIntensity** が閾値以上であれば、流体セルに密度を加える。

Step 3 キャンバスの各セルについて、アルゴリズム 3 によりテクスチャをレンダリングする。

音の再生が終了し上記の繰り返しが完了したら、流体計算を終了する。

アルゴリズム 3 では、アルゴリズム 2 の **Step 3** でのテクスチャのレンダリングについて、5 種類の派生写像を示している。タイプ 1-1-1 は、予めテクスチャを選択しておいて、テクスチャのアルファ値を流体セルの密度に関連付けてレンダリングする。タイプ 2-1-1 は、風鈴の音のスペクトログラムの強度に基づいて選択したテクスチャを、テクスチャのアルファ値を流体セルの密度に関連付けてレンダリングする。タイプ 2-1-2 は、風鈴の音のスペクトログラムの強度に基づいて選択したテクスチャを、テクスチャのアルファ値を流体セルの密度および **textureAlphaFactor** に関連付けてレンダリングする。タイプ 2-2-1 では、**spectrogramIntensity** が閾値 (**sprctrogramIntensityThreshold**) 以上であれば、風鈴の音のスペクトログラムの強度に基づいて選択したテクスチャを、テクスチャのアルファ値を流体セルの密度に関連付けてレンダリングする。**spectrogramIntensity** が閾値より小さければ、背景色をアルファ値 **backgroundAlpha** でレンダリングする。タイプ 2-2-2 では、**spectrogramIntensity** が閾値以上であれば、風鈴の音のスペクトログラムの強度に基づいて選択したテクスチャを、テクスチャのアルファ値を流体セルの密度および **textureAlphaFactor** に関連付けてレンダリングする。**spectrogramIntensity** が閾値より小さければ、背景色をアルファ値 **backgroundAlpha** でレンダリ

ングする。

タイプ 1-1-1, タイプ 2-1-1, および、タイプ 2-1-2 では、キャンバスのセルをレンダリングする前に、キャンバスを背景色でクリアしてから、キャンバスの全てのセルのレンダリングをおこなう。

4. 実験と結果の検討

4.1 和紙テクスチャの学習および風鈴音のスペクトログラム

アルゴリズム 1 でのテクスチャの学習において用いた和紙のテクスチャ画像の例を、図 1(上) に示す。これらの画像を、DCGAN の識別機 (discriminator) の入力に与えるサンプル画像 (real image) として用いた。DCGAN の訓練方法は、[11] と同様である。学習したモデルの生成器を用いて、テクスチャを生成することにより学習状態の確認をおこなった。乱数により選択した潜在空間上の点から生成したテクスチャ画像を、図 1(下) に示す。

図 2 に、実験に用いた風鈴の音データの波形およびスペクトログラムを示す。周波数スペクトルの計算には、FFT を用いた。FFT のフレームサイズは 2048 である。スペクトルの相対的強度を示すために dBFS 値 [2] [3] [12] を用いた (詳細については [12] を参照)。

4.2 派生写像タイプの比較

アルゴリズム 1 および 2 では、アルゴリズム 3 の派生写像を用いてテクスチャを生成する。派生写像の各タイプについて比較をおこなった。

図 3 は、派生写像タイプ 1-1-1 により生成したテクスチャである。左から右に、テクスチャフレーム 90, 100, 110 および 120 である。テクスチャフレーム数は、音の再生開始からの FFT の回数に対応する。図 4 および 5 は、それぞれ派生写像タイプ 2-1-1 および 2-1-2 により生成したテクスチャである。それぞれ左から右に、テクスチャフレーム 240, 250, 260 および 270 である。図 6 および 7 は、それぞれ派生写像タイプ 2-2-1 および 2-2-2 により生成したテクスチャである。それぞれ左から右に、テクスチャフレーム 240, 250, 260 および 270 である。

なお、流体セルおよびキャンバスセルのサイズは、 15×15 である。また、流体セル上の固定した 1 点を密度を加える点として用いた。

4.3 拡散への派生写像パラメータの効果

提案手法では、音のスペクトログラムの強度にあわせて流体セルに密度を加え、その後の密度の変化を計算する。そして、流体セルの密度をテクスチャのアルファ値に関連付けることによりテクスチャを生成する。生成されるテクスチャに対して派生写像のパラメータが与える影響について確認をおこなった。

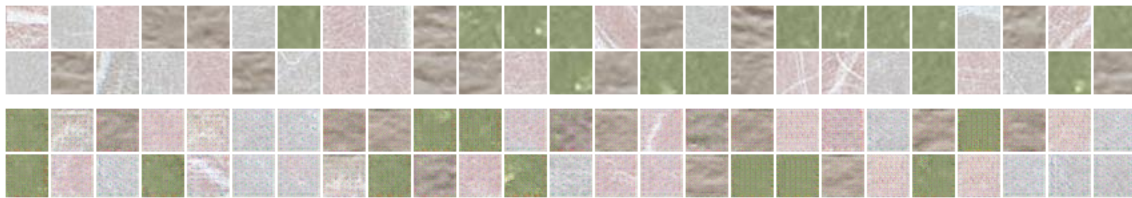


図 1 DCGAN の訓練に用いた和紙のテクスチャ（上 2 行），および学習した潜在空間から生成したテクスチャ（下 2 行）の例

Fig. 1 Examples of Washi texture images used to train DCGAN (upper two rows), and texture images generated from learned latent space (lower two rows).

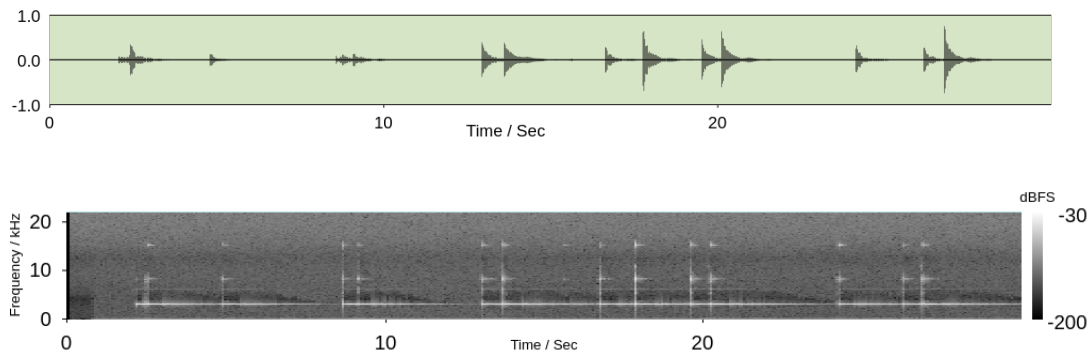


図 2 風鈴音の波形およびスペクトログラム

Fig. 2 Wind chime sound waveform and spectrogram. The spectrogram is composed of 300 spectra.

図 8 は，流体の拡散係数を 0.1 として派生写像タイプ 2-2-2 を用いて生成したテクスチャである．図 9 は，流体の拡散係数を 0.9 として派生写像タイプ 2-2-2 を用いて生成したテクスチャである．どちらも，**textureAlphaFactor** 0.8 および **backgroundAlpha** 0.01 とした．図 10 は，流体の拡散係数 0.9 を用いて派生写像タイプ 2-2-2 を用いて生成したテクスチャである．**textureAlphaFactor** 0.8 および **backgroundAlpha** 1.0 とした．

流体セルおよびキャンバスセルのサイズは， 25×25 である．また，流体セル上の固定した 2 点を密度を加える点として用いた．

4.4 検討

DCGAN の訓練に用いた和紙のテクスチャ画像と訓練した生成器から生成したテクスチャ画像（図 1）を比較することにより，和紙の繊細な特徴を捉えたテクスチャを，訓練した生成器から生成可能であることが分かる．

図 3 は，派生写像タイプ 1-1-1 の例であり，生成器により生成した 1 つのテクスチャのみを用いている．流体セルの密度とテクスチャのアルファ値を関連付けることにより，流体の拡散をなかだちとして，音にあわせて変化するテクスチャを生成可能であることが分かる．

図 4 は，派生写像タイプ 2-1-1 の例である．[11] を用い

て生成した滑らかに変化するテクスチャ列を，流体セルの密度に関連付けてけている．それにより，密度の拡散にあわせてテクスチャが変化する様子を確認できる．

図 5 は，派生写像タイプ 2-1-2 の例である．パラメータ **textureAlphaFactor** により，音の再生にあわせたテクスチャの出現（フェードイン）の滑らかさを調整可能であることが分かる．

図 6 は，派生写像タイプ 2-2-1 の例である．パラメータ **backgroundAlpha** により，音の再生にあわせたテクスチャの消滅（フェードアウト）の滑らかさを調整可能であることが分かる．

図 7 は，派生写像タイプ 2-2-2 の例である．パラメータ **textureAlphaFactor** および **backgroundAlpha** を用いた例である．音の再生にあわせたテクスチャの出現および消滅の滑らかさを調整可能であることが分かる．

図 8 および 9 は，それぞれ拡散係数 0.1 および 0.9 として派生写像タイプ 2-2-2 により生成したテクスチャである．左から右に，テクスチャフレーム 20, 30, 40 および 50 である．対応するテクスチャを比較することにより，拡散係数が大きい場合には，特徴が類似なテクスチャが広い範囲にレンダリングされることが分かる．これは，拡散係数が大きい場合には密度の拡散が速くなるので，ある流体セルとその周囲の流体セルとの密度差がより速く小さくなるため

である。

図 10 は, **textureAlphaFactor** を 1.0 として派生写像タイプ 2-2-2 により生成した動的テクスチャである。図の第 1 列は左から右に, テクスチャフレーム 20, 30, 40 および 50 である。この図と図 8 および 9 を比較すると, パラメータ **textureAlphaFactor** によりテクスチャの広がり の調節が可能であることが分かる。

以上のようにテクスチャの生成の調節が可能であるためには, 深層生成モデルにより和紙の特徴の変化を滑らかに表現する潜在空間を学習できていること, および, [11] により選択したテクスチャに特徴が類似な滑らかに変化するテクスチャ列を生成可能であることが重要な役割を担っている。それにより, 本稿の提案アルゴリズムによる効果を得ることが可能となっているといえる。

なお実験では, Navier-Stokes 方程式の拡散項, 移流項および粘性項を用いて流体計算をおこなっているが, 生成したテクスチャは拡散項により表現される流体の性質に関連したものとなっている。移流項および粘性項の性質を反映したテクスチャ生成については今後の課題である。

5. おわりに

風鈴の音にあわせて変化する和紙の Small Multiple Textures の生成手法について述べた。テクスチャの変化に流れをイメージするような視覚的效果を加えることを目的として, 流体計算によるデータをテクスチャのアルファ値に関連付けてレンダリングする派生的な写像手法を提案した。

提案手法を実装することにより, 選択したテクスチャに類似な特徴を保ちつつ, 音にあわせて流れをイメージするように変化する動的なテクスチャを生成することが可能であることを示した。また, 学習済みの和紙のテクスチャモデルを用いると, Web プログラミングによる実装が可能であることを示した。提案手法は, 落ち着いた雰囲気のを表現するコンテンツを制作するために適した手法であるといえる。

今後の課題としては, 多種類の音データおよびテクスチャへの適用, 写像手法の改良, および, Web プログラミングによるアプリケーションの性能の改善などがある。

参考文献

- [1] Brewer, J. F.: Healing sounds, *Complementary Therapies in Nursing and Midwifery*, Vol. 4, No. 1, pp. 7 – 12 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/S1353-6117\(98\)80006-1](https://doi.org/10.1016/S1353-6117(98)80006-1) (1998).
- [2] Dove, S.: Chapter 25 - Consoles and Computers, *Handbook for Sound Engineers (Fourth Edition)* (Ballou, G. M., ed.), Focal Press, Oxford, fourth edition edition, pp. 817 – 994 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-240-80969-4.50029-8> (2008).
- [3] Dumond, L.: All About Decibels, Part I: What's your

- dB IQ?, https://faculty.mccneb.edu/ccarlson/VACA1010/VACA1010_CD/dB%20part%201.pdf (Retrieved: Nov./22/2017).
- [4] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y.: Generative Adversarial Nets, *Advances in Neural Information Processing Systems 27* (Ghahramani, Z., Welling, M., Cortes, C., Lawrence, N. D. and Weinberger, K. Q., eds.), Curran Associates, Inc., pp. 2672–2680 (online), available from (<http://papers.nips.cc/paper/5423-generative-adversarial-nets.pdf>) (2014).
- [5] Kim, J., Ananthanarayan, S. and Yeh, T.: Seen Music: Ambient Music Data Visualization for Children with Hearing Impairments, *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children*, IDC '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 426–429 (online), DOI: 10.1145/2771839.2771870 (2015).
- [6] Kingma, D. P. and Welling, M.: Auto-Encoding Variational Bayes, *ArXiv e-prints* (2013).
- [7] Kosugi, N.: Misual: Music Visualization Based on Acoustic Data, *Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*, iiWAS '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 609–616 (online), DOI: 10.1145/1967486.1967581 (2010).
- [8] LeCun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G.: Deep learning, *Nature*, Vol. 521, No. 7553, pp. 436–444 (2015).
- [9] 佐藤 信: 深層生成モデルにより学習した和紙テクスチャの潜在空間へのスペクトログラムを用いた風鈴音の写像, 平成 29 年度第 3 回情報処理学会東北支部研究会 (岩手大学), pp. 1–8 (2017).
- [10] 佐藤 信: 視覚的な類似性に基づく和紙テクスチャの対話的生成, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-HCI-177, No. 29, pp. 1–8 (2018).
- [11] 佐藤 信: 深層生成モデルにより学習した潜在空間を用いた和紙テクスチャの補間, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-CG-169, No. 2, pp. 1–6 (2018).
- [12] 佐藤 信: 動的な Small Multiple Textures の生成のための和紙テクスチャの潜在空間への風鈴音の写像, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-AVM-102, No. 1, pp. 1–6 (2018).
- [13] Matthews, T., Fong, J. and Mankoff, J.: Visualizing Non-speech Sounds for the Deaf, *Proceedings of the 7th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, Assets '05, New York, NY, USA, ACM, pp. 52–59 (online), DOI: 10.1145/1090785.1090797 (2005).
- [14] Radford, A., Metz, L. and Chintala, S.: Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks, *CoRR*, Vol. abs1511.06434 (online), available from (<http://arxiv.org/abs/1511.06434>) (2015).
- [15] Smith, S. M. and Williams, G. N.: A Visualization of Music, *Proceedings of the 8th Conference on Visualization '97*, VIS '97, Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society Press, pp. 499–ff. (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=266989.267131>) (1997).
- [16] Stam, J.: Stable Fluids, *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '99, New York, NY, USA, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp. 121–128 (online), DOI: 10.1145/311535.311548 (1999).



図 3 派生写像タイプ 1-1-1 による動的テクスチャの生成

Fig. 3 Generating dynamic textures with derived mapping type 1-1-1: from left to right texture frame 90, 100, 110, and 120.



図 4 派生写像タイプ 2-1-1 による動的テクスチャの生成

Fig. 4 Generating dynamic textures with derived mapping type 2-1-1: from left to right texture frame 240, 250, 260, and 270.



図 5 派生写像タイプ 2-1-2 による動的テクスチャの生成

Fig. 5 Generating dynamic textures with derived mapping type 2-1-2: from left to right texture frame 240, 250, 260, and 270.

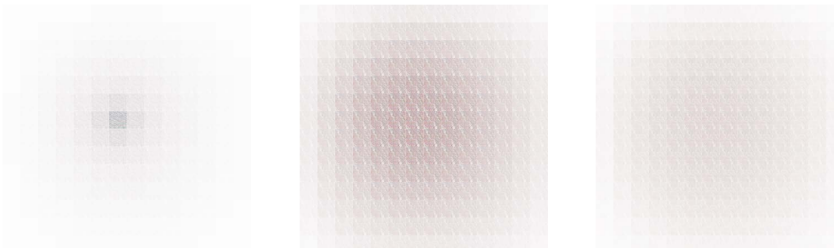


図 6 派生写像タイプ 2-2-1 による動的テクスチャの生成

Fig. 6 Generating dynamic textures with derived mapping type 2-2-1: from left to right texture frame 240, 250, 260, and 270.

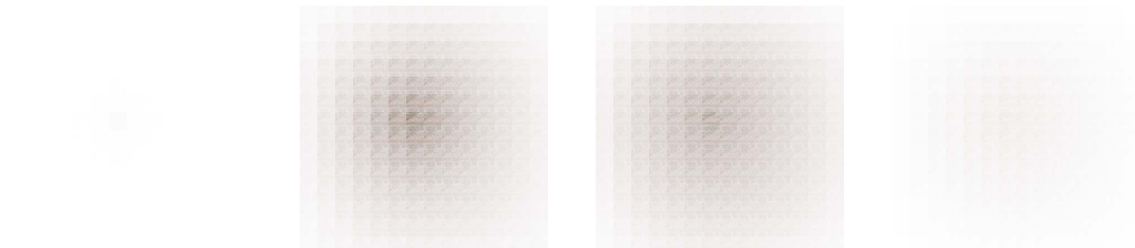


図 7 派生写像タイプ 2-2-2 による動的テクスチャの生成

Fig. 7 Generating dynamic textures with derived mapping type 2-2-2: from left to right texture frame 240, 250, 260, and 270.



図 8 拡散係数 0.1 として派生写像タイプ 2-2-2 により生成した動的テクスチャ

Fig. 8 Generated dynamic textures with derived mapping type 2-2-2 using diffusion coefficient 0.1: from left to right texture frame 20, 30, 40, and 50.



図 9 拡散係数 0.9 として派生写像タイプ 2-2-2 により生成した動的テクスチャ

Fig. 9 Generated dynamic textures with derived mapping type 2-2-2 using diffusion coefficient 0.9: from left to right texture frame 20, 30, 40, and 50.

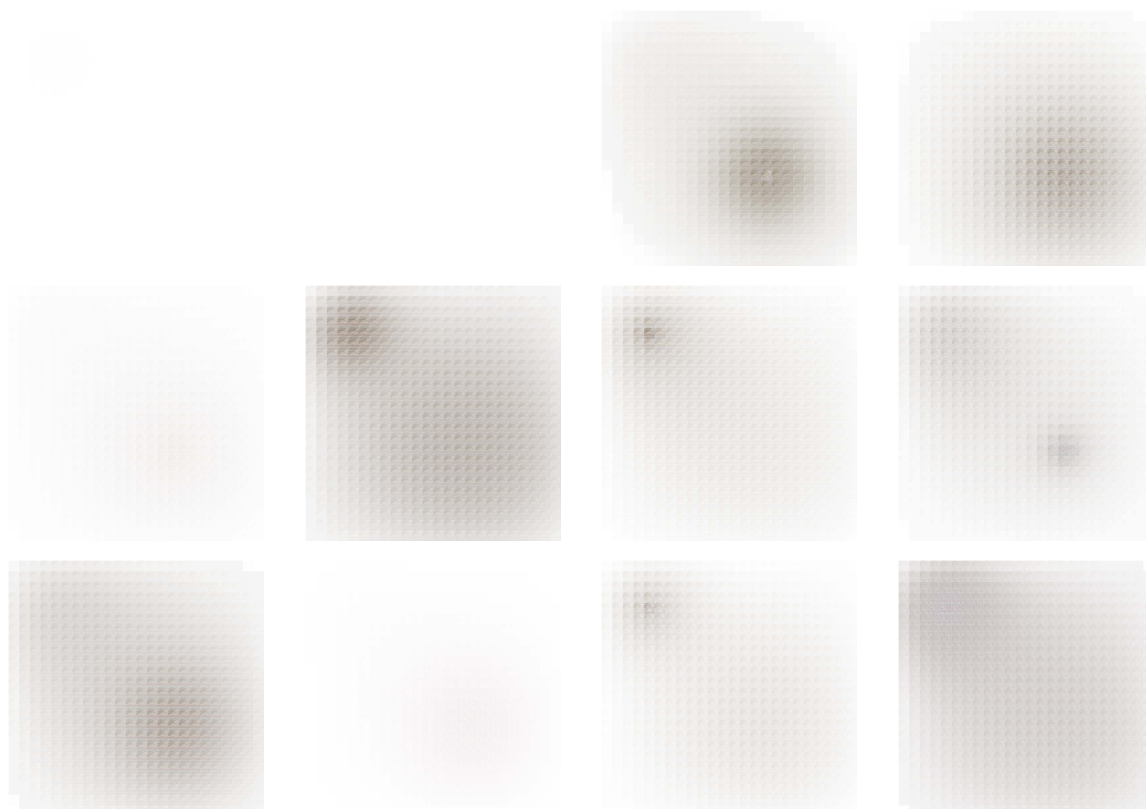


図 10 派生写像パラメータ **backgroundAlpha** 1.0 として派生写像タイプ 2-2-2 により生成した動的テクスチャ

Fig. 10 Generated dynamic textures with derived mapping type 2-2-2 using derived mapping parameter **backgroundAlpha** 1.0: from left to right texture frame 20, 30, 40, 50, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, and 320.

Algorithm 2 Rendering textures with derived mapping

This algorithm is the portion of the algorithm 1 (**Step 3**).

Prepare a canvas, which is composed of cells for rendering textures;
prepare a fluid cells for simulating fluid dynamics;

set the threshold value of the intensity of spectrogram (**sprctrogramIntensityThreshold**);
set the factor of the alpha value for rendering textures on the canvas cells (**textureAlphaFactor**);
set the alpha value for rendering the background of the canvas cells (**backgroundAlpha**);

start fluid simulation with the fluid cells;

```
while wind chime sounds are palyed back do
  compute FFT of current sound frame, then make its spectrogram;
  spectrogramIntensity  $\leftarrow$  the intensity of selected component of the spectrogram;
  if spectrogramIntensity  $\geq$  sprctrogramIntensityThreshold then
    add density to the fluid cells;
  end if
  for each cell in the canvas do

    render a texture using algorithm 3;

  end for
end while
```

stop the fluid simulation.

Algorithm 3 Derived mapping

This algorithm is the portion of the algorithm 2

Derived mapping type 1-1-1

render the texture selected in advance, using the density of associated fluid cell, on current canvas cell;

Derived mapping type 2-1-1

render the texture associated with **spectrogramIntensity**, using the density of associated fluid cell, on current canvas cell;

Derived mapping type 2-1-2

render the texture associated with **spectrogramIntensity**, using **textureAlphaFactor** and the density of associated fluid cell, on current canvas cell;

Derived mapping type 2-2-1

if **spectrogramIntensity** $\geq$ **sprctrogramIntensityThreshold** **then**

render the texture associated with **spectrogramIntensity**, using the density of associated fluid cell, on current canvas cell;

else

render the background color of current canvas cell using **backgroundAlpha**;

end if

Derived mapping type 2-2-2

if **spectrogramIntensity** $\geq$ **sprctrogramIntensityThreshold** **then**

render the texture associated with **spectrogramIntensity**, using **textureAlphaFactor** and the density of associated fluid cell, on current canvas cell;

else

render the background color of current canvas cell using **backgroundAlpha**;

end if
