

シャドーボックスアート制作を支援するツールのデザインと実装

千葉大輔 (非会員) 松山克胤 (正会員)

岩手大学

Design and Implementation of Tools Making Shadow Box Art Works

Daisuke Chiba Katsutsugu Matsuyama

Iwate University

m18u@iwate-u.ac.jp

概要

本研究は、シャドーボックスアート作品の制作を支援するツールのデザインと実装を行うものである。本研究では、シャドーボックスアートの作品制作工程に着目して、(1) 制作工程には手作業が含まれており、試行錯誤には多くの労力と材料を必要とすること、および、(2) 特に初心者にとっては、設計の段階で作品の印象を想像することは難しいため、設計の意思決定そのものが難しいこと、の2つの課題を設定した。そして、この課題に対し、作品の制作をコンピュータ上でシミュレーションするツールと、レイヤーの切り抜き形状を提案する技術の開発を行った。シミュレーションツールについては、対話的に作品をデザインできるように、小領域単位でのレイヤー編集、包含関係の維持、3DCGによる陰影シミュレーション、そして、レイヤー分割の提案を特徴とするユーザインタフェース技術を開発する。レイヤーの切り抜き形状の提案は、ユーザによって大まかに指定された奥行き情報と入力画像コンテンツから、画像の奥行きを推定し、その奥行き情報に基づいて画像をレイヤーに分割する手法を実現した。本提案ツールを実装し、いくつかの画像を対象として実際に制作を試みた。その結果、制作者の意図に沿う形で、効率的に作品をデザインすることができた。

Abstract

This research designs and implements tools that support the production of shadow box art works. In this research, we focus on the shadow box art work production process. (1) The production process involves manual work, which requires a lot of labor and materials for trial and error, and (2) Especially for beginners, it is difficult to imagine the impression of the work at the design stage, so the design decision itself is difficult. Then, to solve this problem, we have developed a tool to simulate the production of the work on a computer and a technology to propose the cutout shape of the layer. As for the simulation tool, we have developed a user interface technique that features layer editing in small area units, maintenance of inclusion relationships, shadow simulation by 3DCG, and proposals for layer division so that works can be designed interactively. The proposal of the cutout shape of the layer realized a method of estimating the depth of the image from the depth information roughly specified by the user and the input image content, and dividing the image into layers based on the depth information. We implemented the proposed tool and tried to actually produce some images. As a result, we were able to efficiently design the work in a way that was in line with the creator's intentions.

1 はじめに

シャドーボックスアートとは、複数枚の同じ写真やイラストを切り抜いて、層（レイヤー）状に重ねて貼ることで、立体的な表現を行う作品をいう（図 1）。レイヤー間の接着には、シリコンボンドのような、硬化後も弾性を有する接着剤を用いるのが一般的であり、このような接着剤を使用してレイヤー間に距離をもたせた形で接着することで、立体的な「高さ」を表現する。シャドーボックスアートの題材として、既存の絵画やイラスト、写真などの平面作品から選択することもできるために、現在では多種多様な作品を見ることができる。

シャドーボックスアートの代表的な制作工程は以下のようである（図 1）。(1) 題材となる画像を印刷するなどして複数枚用意する。(2) レイヤーの枚数、レイヤー間の距離、各レイヤーの切り抜き形状を決定する。(3) 実際に切り抜きを行う。(4) 切り抜いたレイヤーを貼り重ねる。(5) 作品の印象を確認する。題材となる画像は同じでも、レイヤーの枚数や切り抜き形状、額縁や背景、鑑賞時の光の当たり方など様々な要因によって作品の表情が大きく変化することもシャドーボックスアートの特徴である。作品の制作者は、工程 (1) - (5) を繰り返しの行いながら、納得のいく作品が完成するまで試行錯誤を続ける。

本研究は、シャドーボックスアート作品の制作を支援するツールのデザインと実装を行うものである。本論文では、下記の課題に着目し、この課題の解決を支援する情報技術を議論する。

課題 1: 制作工程には、手作業、すなわち、工程 (3) の切り抜きと工程 (4) の貼り重ねが含まれており、試行錯誤には多くの労力と材料を必要とすること。

課題 2: 特に、初心者にとっては、設計の段階（工程 (2)）で作品の印象（工程 (5)）を想像することは難しいため、工程 (2) の意思決定そのものが難しいこと。

本論文は、課題 1 については、制作工程 (2) - (5) をコンピュータ上でシミュレートできるようにすることで、そして、課題 2 については、工程 (2) の切り抜き形状の案をコンピュータが提案できるようにすることでサポートを行う。本研究は、制作工程の完全な自動化を目指すものではなく、ユーザが主体的にレイヤーを編集し、判断を行えるようなツールの開発を目指す。

本論文の持つ、芸術科学コミュニティへの貢献は以下のようなものである。(a) シャドーボックスアートの制作工程に着目し、課題の抽出を行ったこと。(b) シャドーボックスアートの制作を支援する対話的ツールをデザインしたこと。(c) ユーザによって指定された奥行き情報と入力画像コンテンツから、レイヤー分割の案を提案する手法を開発したこと。

2 関連研究

本研究に関連する研究として、二次元的な素材を用いた立体的表現技術 (2.1 節) と二次元画像の奥行き推定技術 (2.2 節) を議論する。

2.1 二次元的な素材を用いた立体的表現技術

本節では、紙のようなシート形状の素材を用いて、立体的なオブジェクトの生成を行う研究について記述する。このような研究の一例として、折り紙やペーパークラフトの制作 [1]、直交スライスによる三次元オブジェクトの構築 [2]、そして、立体的なポップアップの制作 [3] などが挙げられる。上記のような研究は、入力形状に似た三次元オブジェクトの生成を目的としている。

一方で、本研究で対象とするシャドーボックスアートの入力情報は、三次元形状ではなく、イラストや写真のような二次元画像である。また、本研究では、立体的な表現を扱うが、写実的な三次元形状の生成を目的としない。したがって、上記のような研究は直接的には適用できない。

後述するように、本研究では、レイヤーの曲げを考慮せず、各レイヤーは xy 平面に並行するものと仮定している。この仮定は、マルチレイヤーモデルを想起させる。Holroyd らは、三次元オブジェクトからマルチレイヤーモデルを生成する手法を提案した [4]。この研究との相違点として、本研究の入力は三次元オブジェクトではなく二次元画像であること、そして、[4] は複雑な「背景」のシーンを考慮していないことなどが挙げられる。

シャドーボックスアートを対象とした研究は、筆者らの先行研究 [5] の他に見当たらない。[5] は、包含関係を考慮したシャドーボックスアートの編集機能（本論文 3.2 節）を試作したものである。本論文は、先行研究 [5] を基に、制作工程からの課題抽出、ユーザインタフェースの開発、そして、レイヤー分割機能の開発を行ったものである。



図1 シャドーボックスアートの制作工程.

2.2 二次元画像の奥行き推定

本提案システムには、入力された二次元画像の奥行きを推定するプロセスが含まれている。画像の奥行き推定を行う研究として、機械学習に基づく手法 [6] や、線形遠近法を利用する手法 [7] などが挙げられる。筆者らは、当初、奥行き推定のために [6] および [7] の適用を試みたところ、失敗した結果が得られた。手法 [6] は、入力として、実際に撮影された写真を対象としているが、本研究では入力画像としてイラストや絵画なども対象としていることから、直接的に適用できず、かつ、新規に学習させることも難しい。手法 [7] についても、入力として写真を対象としており、パースが明確ではない入力画像に適していない。

3 提案ユーザインタフェース

本提案システムは、制作工程 (2) - (5) をシミュレートすることで、ユーザのレイヤー分割作業を支援する。本提案ソフトウェアのレイヤー編集の様子を図 2 に示す。各レイヤーのサムネイルが左側に表示されており、ここでレイヤーの選択を行う。選択されたレイヤーは、ウィンドウ中央部分に表示され、ここでレイヤー編集を行う。

本提案のユーザインタフェースは、小領域単位でのレイヤー編集 (3.1 節)、包含関係の維持 (3.2 節)、3DCG による陰影シミュレーション (3.3 節)、および、レイヤー

分割の提案 (3.4 節) を特徴とする。それぞれについて、次節に記述する。

3.1 小領域単位でのレイヤー編集

ユーザは、入力画像に対して、どの部分がどのレイヤーに含まれるかを、画像上で指定することでレイヤー分割を行う。本提案システムでは、このような編集を、画素単位だけではなく、類似するピクセルをグルーピングした小領域の単位で編集できるようにすることで、使い勝手の向上を図る。

画像を小領域に分割する手法は多数存在するが、本研究では、Simple Linear Iterative Clustering (SLIC) アルゴリズムによるスーパーピクセル化手法 [8] を適用して小領域を作成する。SLIC を採用した理由としては、他の手法と比較して、入力画像の種類や特徴に左右されにくかったこと、そして、後述するレイヤー分割計算との相性が良かったことが挙げられる。

SLIC アルゴリズムで作成された小領域 (スーパーピクセル) の例を図 3(a) に示す。図 3(a) 中の赤線がスーパーピクセルの境界を示しており、境界に囲まれた各小領域をスーパーピクセル $p_s (s \in P)$ とする。 P はスーパーピクセルの個数である。

また、本節に付随する機能として、生成されたスーパーピクセルを手動で分割する機能と、ピクセル単位で編集する機能も実装する。

3.2 包含関係の維持

本論文では、最前面から数えて n 番目の層をレイヤー L_n と表記する。実際のシャドーボックスアートを観察すると、「背面」にあるレイヤー L_n は、そのレイヤーより「前面」にあるレイヤー $\{L_m | m < n\}$ を包含している、すなわち、 $\{L_m | m < n\} \subseteq L_n$ であることがわかる。これは、工程 (4) の貼り重ねにおいて、レイヤー L_n は、レイヤー L_{n+1} を土台として接着されることによる。

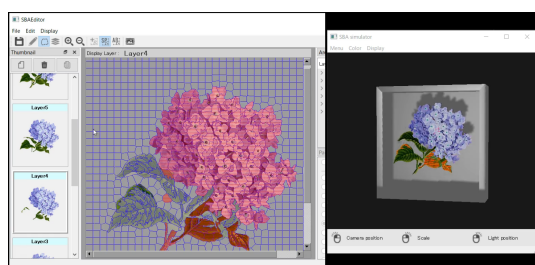


図2 レイヤー修正の様子.

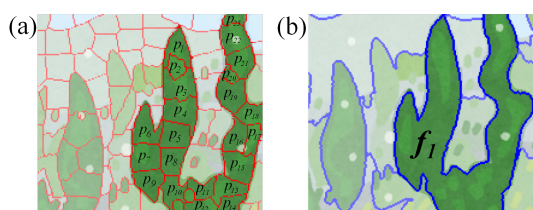


図3 (a) スーパーピクセルの例. 赤線で囲まれた小領域がスーパーピクセル p_s である. (b) 複数のスーパーピクセル p_s を結合して作成されたフェイス f_i の例. 青線がフェイスの境界を示す.

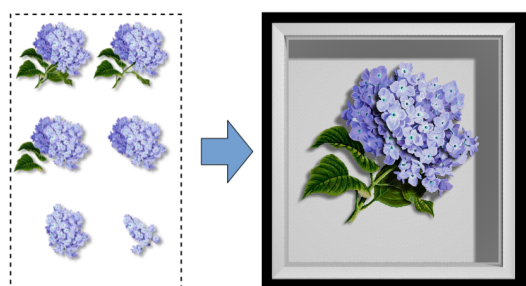


図4 陰影を考慮した3DCGシミュレーション.

本提案のユーザインタフェースでは、ユーザがレイヤー L_n の編集を行う際に、残りのレイヤー $\{L_m | m \neq n\}$ に対する包含関係のチェックを行い、包含関係が成り立つように、レイヤー $\{L_m | m \neq n\}$ に対しても自動的に編集が適用されるようにする。

3.3 3DCG による陰影シミュレーション

レイヤー編集中に、現段階での作品の印象を3DCGで確認できるようにする(図4)。シャドウボックスアートは様々な条件により印象が大きく変化するため、視点や光源の移動だけでなく、レイヤー間の距離や、額縁の高さや色を変更して作品の印象を確認できるようにする。また、編集中の選択レイヤーを3DCG上でハイライトさせることで、そして、レイヤーの修正が3DCG上にリアルタイムで反映させるようにすることで、ユーザの試行錯誤的なプロセスをサポートする。本研究におけるシミュレーションでは動的な描画を目的としているため、シャドウマッピング法を用いた陰影付けを行う。シャドウマッピング法の問題点であるエイリアシングの解消については、Percentage Closer Filtering (PCF)[9]を利用する。PCFは、シャドウの描画時にピクセル周囲のシャドウの情報をサンプリングしてブレンドすることにより、エイリアシングの影響を緩和する手法である。

3.4 レイヤー分割案の提案

レイヤー分割案をコンピュータが提案することで、初心者の設計プロセスを支援する。ユーザは、提案されたレイヤー分割を修正(3.1節)することができる。レイヤー分割の詳細については次章で説明する。

4 レイヤー分割の計算

コンピュータがレイヤー分割を提案するための方法として、入力された画像の奥行きを推定し、その奥行き情報に基づいて画像をレイヤーに分割するアプローチが考えられる。

筆者らは、当初、奥行き推定を行う既存技術[6, 7]を適用することで、レイヤー分割を行うことを試みた。しかし、第2章に記述したように、1枚の画像から奥行きを推定する既存手法の多くは、実際に撮影された写真を対象とするものであり、イラストや絵画に対しては失敗した結果が得られた。本研究では、入力としてイラストや絵画の画像も想定しており、直接的に適用できる既存の奥行き推定技術を見つけることができなかった。一方で、筆者らは、画像の種類に依存せずに、統一的な対話操作によりレイヤー分割を行いたいと考えている。したがって、入力画像が写真かそれ以外かで手法を切り替えるアプローチは採用しない。

多種多様な入力画像に対して奥行きを計算するには、ユーザによるガイドが有効であると考えられる。しかし、ユーザにあまり多くの負担をかけたくないので、本研究では、ユーザには、入力画像上に大まかに奥行きを指定してもらい、その奥行き情報を使用してレイヤー分割を行うアプローチを採用する。

本論文では、ユーザによって指定された奥行き情報と、入力画像コンテンツから、レイヤー分割を行う手法を提案する。本手法は、スーパーピクセルの結合(4.1節)、奥行き推定(4.2 - 4.5節)、レイヤー分割(4.6節)からなる。それぞれについて、次節に記述する。

4.1 スーパーピクセルの結合によるフェイスの作成

本節では、図3(b)のように、3.1節で作成したスーパーピクセル同士を結合させることで、より大きな単位の領域を作成する。本論文では、この領域をフェイスとよび、 f_i で書き表す。本章で行う奥行き推定の計算処理は、このフェイスを単位として行う。その理由として、レイヤー分割や実際の切り抜き作業を考える際は、スー

パーピクセル単位ではなく、フェイス単位で考える方がより自然であること、そして、次節以降で行う奥行き推定の計算処理をより高速に行えることが挙げられる。

フェイス作成の処理手順として、はじめに、各スーパーピクセル $p_s (s \in P)$ について、HSV 表色系 (H_s, S_s, V_s) の値を、 p_s 内の全てのピクセルの平均で算出する。色相 H_s に関する計算は、色相が円環であることを考慮して角度差を用いる。つぎに、隣接するスーパーピクセル $\{(p_s, p_t) | p_t \in N(p_s)\}$ に対して、色の差分 (H_{st}, S_{st}, V_{st}) を計算する。ここで、関数 $N(p_s)$ は、 p_s に隣接するスーパーピクセルの集合を取得する関数である。そして、色の差分が閾値未満であれば p_s と p_t を結合させていく。

筆者らによる試行の結果、 (H_{st}, S_{st}, V_{st}) を HSV 空間のユークリッド距離で判定した場合は、入力画像に描かれている陰影を十分に捉えることができなかった。そこで、本研究では、色味（色相）と陰影（彩度と明度）に分けて考えることとして、

$$\begin{aligned} H_{st} < \epsilon_H \wedge T_{st} < \epsilon_T \\ T_{st} &= (S_{st} + V_{st})/2 \end{aligned} \quad (1)$$

を満たす場合に p_s と p_t を結合させるものとした。なお、本研究では、 $\epsilon_H = 0.083, \epsilon_T = 0.05$ を用いた。

本節の結合処理により生成された各フェイス f_i をノードとし、隣接するフェイス同士をエッジで結ぶ無向グラフ G を作成する。このグラフは後の処理 (4.3 節) でフェイス間の隣接関係を表現するために使用する。

4.2 奥行き値の計算

本手法では、各フェイス f_i の奥行き値 z_i を、以下のように計算する。

$$z_i = \alpha \text{UserDraw}(f_i) + (1 - \alpha) \text{ImgCont}(f_i) \quad (2)$$

ここで、 $\text{UserDraw}() \in [0, 1]$ は、ユーザによって指定された奥行き情報から奥行きを推定する関数 (4.3 節) であり、 $\text{ImgCont}() \in [0, 1]$ は、入力画像コンテンツから奥行き値を計算する関数 (4.4 節) である。

4.3 ユーザによる奥行き指定

本手法では、ユーザに、画像上で奥行き指定線 D_N を描画してもらい (図 6)。奥行き指定線は等高線のようになっており、明るい線が手前側、暗い線が奥側を表している。本手法は、少なくとも 1 本の奥行き指定線が描画されて、最前面と最後面が指定されていることを想定している。

フェイス f_i の奥行き推定値の計算は、

$$\text{UserDraw}(f_i) = \frac{l_b}{l_a + l_b} D_a + \frac{l_a}{l_a + l_b} D_b \quad (3)$$

のように行う。 D_a と D_b は、フェイス f_i の近くに存在する指定線の奥行き値を表す。ただし、 $a \neq b$ である。 l_a と l_b は、隣接グラフ G における、フェイス f_i から奥行き指定線までの最短経路の距離を表す。距離の計算にグラフを使用することで、フェイス毎の面積の差による影響を小さくすることができる。

4.4 入力画像コンテンツの奥行き値計算

本手法では、ユーザによって指定された奥行き情報だけでなく、入力画像からも奥行き値を計算する。ここでは、図 5(a) のような、物体の重なり方を手掛かりとする奥行き値計算を行う。すなわち、隣接する 2 つの輪郭線の交点の付近で、輪郭線の向きがどれだけ滑らかに変化しているかを比較することで、より手前側に位置している物体を推測する。

隣接しているフェイスのペア (f_i, f_j) は、境界線を共有している。本手法は、この境界線の両端点の前後で角度がどのように変化しているかを計算することで、フェイス f_i と f_j の相対的な奥行き、すなわち、どちらが手前にあるかを推定する。

まず、フェイスの境界に対して、ダグラス・ペッカーアルゴリズムによる線単純化を適用し、ポリラインを作成する。つぎに、ポリラインの頂点 (図 5(b) の赤色の点)、および、境界線の端点 (図 5(b) の緑色の点) を求める。そして、境界線の端点で、ポリラインの角度がどのように変化したかを計算し (図 5(c))、変化量が小さい領域の方が手前であると判定する。

上記の処理によって、隣接するフェイス (f_i, f_j) 間の前後関係が計算でき、例えば、 $z_i > z_j$ となる。その後、隣接グラフ G において、 $z_i > z_j, z_j > z_k, z_k > z_i$ のような「ループ」を検出し、ループを構成するノード間で、角度の変化量を比較することで、ループを解消させる。これにより、各フェイス f_i が、相対的に手前から何番目であるかの順序づけができる。この順番を取得する関数を $\text{Order}(f_i)$ とする。最終的な奥行き値を $\text{ImgCont}(f_i) = \text{Order}(f_i)/F$ で計算する。 F はフェイスの総数である。

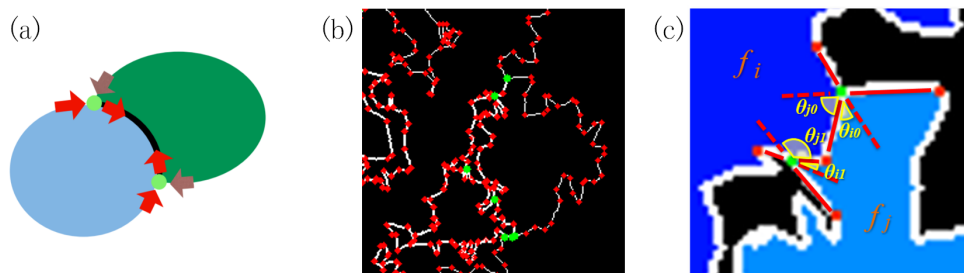


図5 隣接領域における相対的な奥行き推定手法.

4.5 重みパラメータの設定

本研究では、ユーザが奥行き指定線を多く描画するほど、ユーザの意図を汲むために、式(2)の α を大きな値とする。具体的には、 $\alpha = (\alpha_{max} - \alpha_{min}) \cdot \beta + \alpha_{min}$ とし、 $\alpha_{min} = 0.5, \alpha_{max} = 0.8$ とした。ここで、 β は、

$$\beta = 1 - \frac{M - N}{M - 1} \quad (4)$$

であり、 M はレイヤー数、 N は奥行き指定線の本数である。

4.6 レイヤー分割

本手法では、フェイスは、各レイヤーに均等に割り当てられるものとする。具体的には、フェイス f_i を、 $[Order(z_i)/M]$ 番目のレイヤーに割り当てる。 M はレイヤー数である。

5 実行結果

本提案ツールについて実装を行い、いくつかの画像を対象に、実際に作品制作を行った。作品の制作は筆者が行ったものである。本章では、「紫陽花(a)」、「蓬莱島(b)」、そして、「海藻が生えた海(c)」の、3つの具体的な制作例をとりあげて、本提案ツールの実行結果を議論

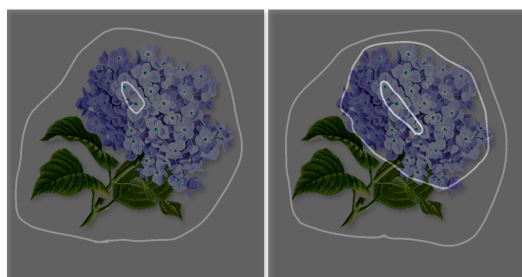


図6 奥行き指定線の例。必要に応じて、より詳細に描画する。

する。具体的なデザインの過程を図7に示す。

紫陽花(図7(a))は、背景が無い画像で、単一のオブジェクトが描かれたイラスト画像、蓬莱島(図7(b))は、風景を撮影した写真画像、そして、海藻が生えた海(図7(c))は、背景を有する、複数オブジェクトが描かれたイラスト画像を入力とした。図7は左から、入力画像、奥行き指定線、生成されたフェイス、レイヤー分割結果(4.6節)のデプスマップ、そして、システムによるレイヤー案(上段)と、レイヤー案を基に修正を加えたレイヤー(下段)を示す。なお、レイヤーの枚数はすべての作品で6とした。そして、図10は、シミュレーション(上段)と、実際に制作した作品の写真(下段)を示す。各画像についての作品制作の詳細を以下に記述する。

紫陽花: 提案された初期レイヤー案は、概ね良好であった。初期レイヤー案に対して、花びらの一部が欠けていたり、葉の一部が誤ったレイヤーに分割されているところがみられたため、この部分を修正した。また、陰影シミュレーションを参照しつつ、より立体感が感じられる陰影を表現するために、いくつかのレイヤーについて花びらの面積を調整した。デザインに関する全体の工程は、全部で10分程度であった。このデザインを基に、実際に制作した作品を図10(a)に示す。

蓬莱島: 初期レイヤー案に対して、欠けがみられる部分を修正した。入力画像は、画像下部にあるオブジェクトが手前側に位置する構図となっている。このような構図の場合、レイヤー間に生じる影が見えにくく、立体感の表現が難しいことがシミュレーション結果から観察できた。また、この入力画像は、解像度が比較的高いものであるが、スーパーピクセルのサイズを調整することで、初期レイヤー案生成の計算時間と、レイヤーの修正時間を短縮することができた。デザインに関する全体の工程

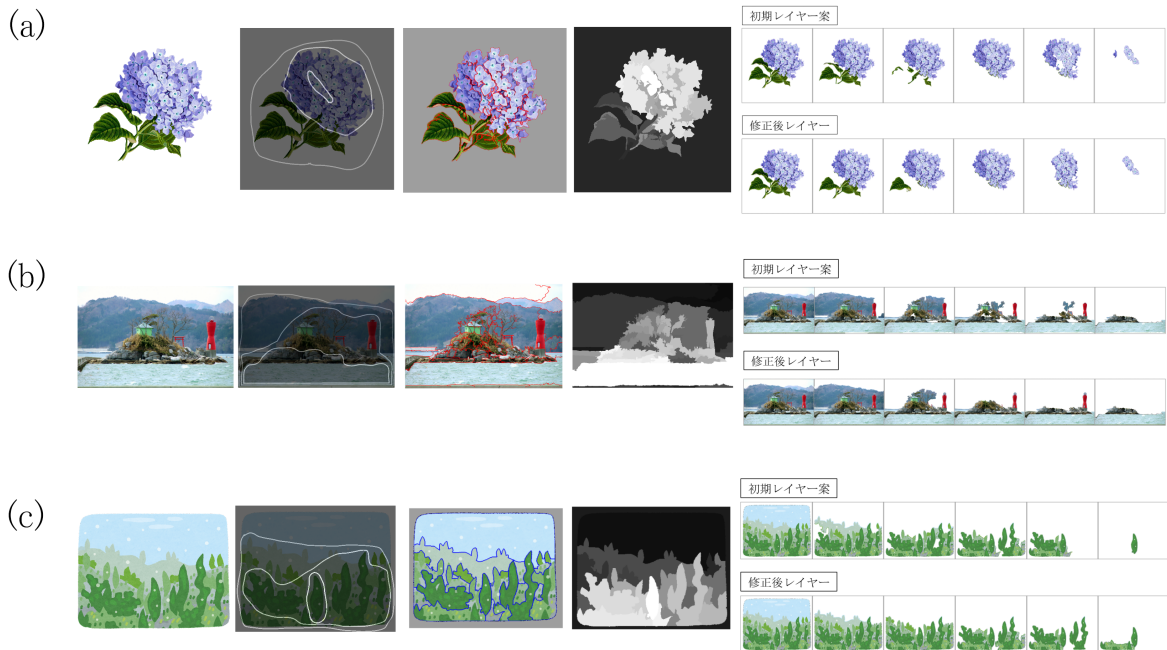


図7 作品デザインの様子。左から、入力画像、奥行き指定線、生成されたフェイス、レイヤー分割結果のデプスマップ、そして、システムによるレイヤー案（上段）と、レイヤー案を基に修正を加えたレイヤー（下段）。

は12分程度であった。このデザインを基に、実際に制作した作品を図10(b)に示す。

海藻が生えた海: 入力画像は、各オブジェクトの色が単一で、オブジェクト間の色の変化が明瞭である。このため、領域分割の結果が良好であり、初期レイヤー案も良好であった。初期レイヤー案に対して、前後関係に関する修正や、作品バランスを整えるためのレイヤー移動を行った。デザインに関する全体の工程は7分程度であった。このデザインを基に、実際に制作した作品を図10(c)に示す。

6 議論

本章では、提案ツールの有用性に関する議論(6.1節)と limitation と今後の課題に関する議論(6.2節)を行う。

6.1 有用性に関する議論

本提案ツールにより、システムが初期レイヤー案を提案することで、そして、完成予想図を確認しながらレイヤー編集を効率的に行うことで、立体感を意識しながら、制作者の意図に沿う形で作品のデザインを行うことができたといえる。

加えて、本提案システムは、イラストや写真などの多

様な入力に対応することを目的としていたが、実験の結果、異なる種類の画像に対しても、操作自体を切り替えることなく、比較的短時間で作品の設計が可能であった。

図8に、従来の制作工程と、本提案ツールを用いた制作工程の概要を示す。第1章で述べたように、従来の作品制作は、工程(1)-(5)全体を繰り返しの行うのに対し、本提案ツールにより、設計(工程(2))と印象の確認(工程(5))をバーチャル化し、試行錯誤的な繰り返しのバーチャルで行うことができるようになった。このバーチャルでの試行錯誤により、完成予想図を確認しながら作品を設計できるようになったため、試行錯誤に最も手間のかかる紙の切り貼り作業を有する従来の制作工程と比べて、明らかに効率的な制作が可能になったといえる。

また、本提案ツールは、バーチャルでの設計(工程(2)(5))と手作業での作品制作(工程(1)(3)(4))を分離して考えることを促す。これは、例えば、デザイナーが制作した設計データを、「型紙」としてインターネット上で配布しやすくし、型紙データをダウンロード・印刷して実際の作品制作を行うことが容易になるなど、シャドーボックスアートの裾野を広げる可能性につながる。

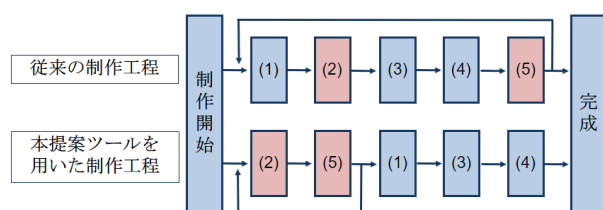


図8 従来の制作工程（上）と本提案ツールを用いた制作工程（下）の概要図. 図中の赤色は本研究でパッチャル化できた工程を表す.

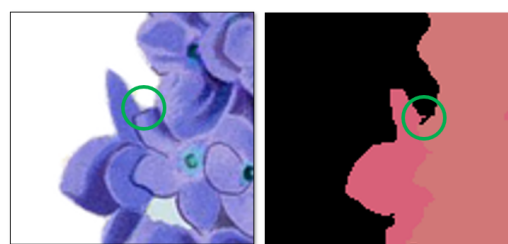


図9 スーパーピクセルの欠損により、奥行き推定に誤りが生じた例.

6.2 limitation と今後の課題

奥行き推定の誤り: 本提案システムをいくつかの入力画像に対して適用した結果、情報量が多い複雑な画像であるほど、奥行き推定に多くの誤りが見られ、より細かい奥行き指定線の設定や、より多くの修正を必要とすることがわかった。例えば、図9は、スーパーピクセルの欠損が発生した例である。この欠損により、輪郭線に関する処理がうまくいかず、奥行き推定の計算に誤りが生じる。本研究では、このような誤りについては、ユーザーがスーパーピクセル化のパラメータを調整したり、ピクセル単位での修正を行うことで対応できるが、今後は手作業での調整を減らすべく、スーパーピクセルの形状により依存しにくい方法を検討する。

その他にも、奥行き推定に誤りが生じる原因について、フェイス形状の影響が考えられる。4.2節の奥行き値の計算においては、各フェイスが、図5(a)のような主観的な意味で理想的なオブジェクト表面を表していることを仮定しており、フェイスの生成結果が最終的な奥行き推定結果に大きく影響している。

筆者らは、フェイスの作成、すなわち、スーパーピクセルの結合判定に、画像のエッジを用いるなどの実験も行った。しかしながら、多様な画像に対して、うまく目的を達成するエッジ情報を抽出することは困難であり、これまでに効果的な結果は得られていない。より高精度なフェイス作成は今後の課題である。

表現技法の拡張: 実際のシャドーボックスアート作品には、レイヤーを曲げてより複雑な表現を行うものや、レイヤー上に塗装を行うものもある。本研究では、レイヤーの曲げや塗装は考慮していないが、今後、表現技法の拡張の可能性について検討を行なっていく。

7 まとめ

本研究では、シャドーボックスアートの作品制作工程に着目し、課題の抽出を行った。そして、この課題に対し、シミュレートが可能とするツールと、レイヤー案を提案する技術の開発を行った。

本提案ツールを実装し、いくつかの画像を対象に、実際に作品制作を行った。その結果、提案のレイヤー案は、概ね良好であり、比較的短時間で作品をデザインすることができた。

今後、ツールの高度化や、より柔軟なシステム、そして、本手法のシャドーボックスアート以外への応用などを検討していく。

謝辞

本論文は、NICOGRAPH 2021 で発表した論文 [10] に加筆したものです。論文査読者の有益なご指摘に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Mitani, J., Suzuki, H., Making Papercraft Toys from Meshes Using Strip-Based Approximate Unfolding. ACM Trans. Graph. 23, 3, 259–263, 2004.
- [2] McCrae, J., Singh, K., Mitra, N. J., Slices: A Shape-proxy Based on Planar Sections, ACM Trans. Graph. 30, 6, 168:12pages, 2011.
- [3] Li, X., Shen, C., Huang, S., Ju, T., Hu, S., Popup: Automatic Paper Architectures from 3D Models, ACM Trans. Graph. 29, 4, 111:1–9, 2010.
- [4] Holroyd M., Baran I., Lawrence J., Matusik W., Computing and Fabricating Multilayer Models,

- ACM Trans. Graph. 30, 6, 187:1–8, 2011.
- [5] Chiba, D., Matsuyama, K., An Examination of a Support Tool for Designing Shadow Box Art, Nicograph International 2020, pp. 66-69, 2020.
- [6] Casser, V., Pirk, S., Mahjourian, R., Angelova, A., Depth Prediction Without the Sensors: Leveraging Structure for Unsupervised Learning from Monocular Videos, Proc. AAAI Conf. Artif. Intell., 2019.
- [7] Cheng, C., Li, C., Chen, L., A 2D-to-3D Conversion System Using Edge Information, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp. 377-378, 2010.
- [8] Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., Susstrunk, S., SLIC Superpixels, EPFL Technical Report no. 149300, 2010.
- [9] Reeves, W. T., Salesin, D. H., Cook, R. I., Rendering Antialiased Shadows with Depth Maps, In Computer Graphics (SIGGRAPH 1987 Proceedings), pp. 283-291, 1987.
- [10] 千葉大輔, 松山克胤, シャドーボックスアート制作を支援するツールのデザインと実装, NICOGRAPH 2021, F-7 8pages, 2021.

千葉 大輔



2020年岩手大学工学部卒業。2022年岩手大学大学院総合科学研究科修士課程修了。

松山 克胤



岩手大学工学部准教授。博士（工学）。岩手大学大学院工学研究科博士後期課程修了。公立ほこだて未来大学助教，岩手大学工学部助教を経て，現在，岩手大学工学部准教授。インタラクティブシステム，ユーザインタフェースデザイン，情報可視化，コンピュータグラフィックスなどの研究に従事。

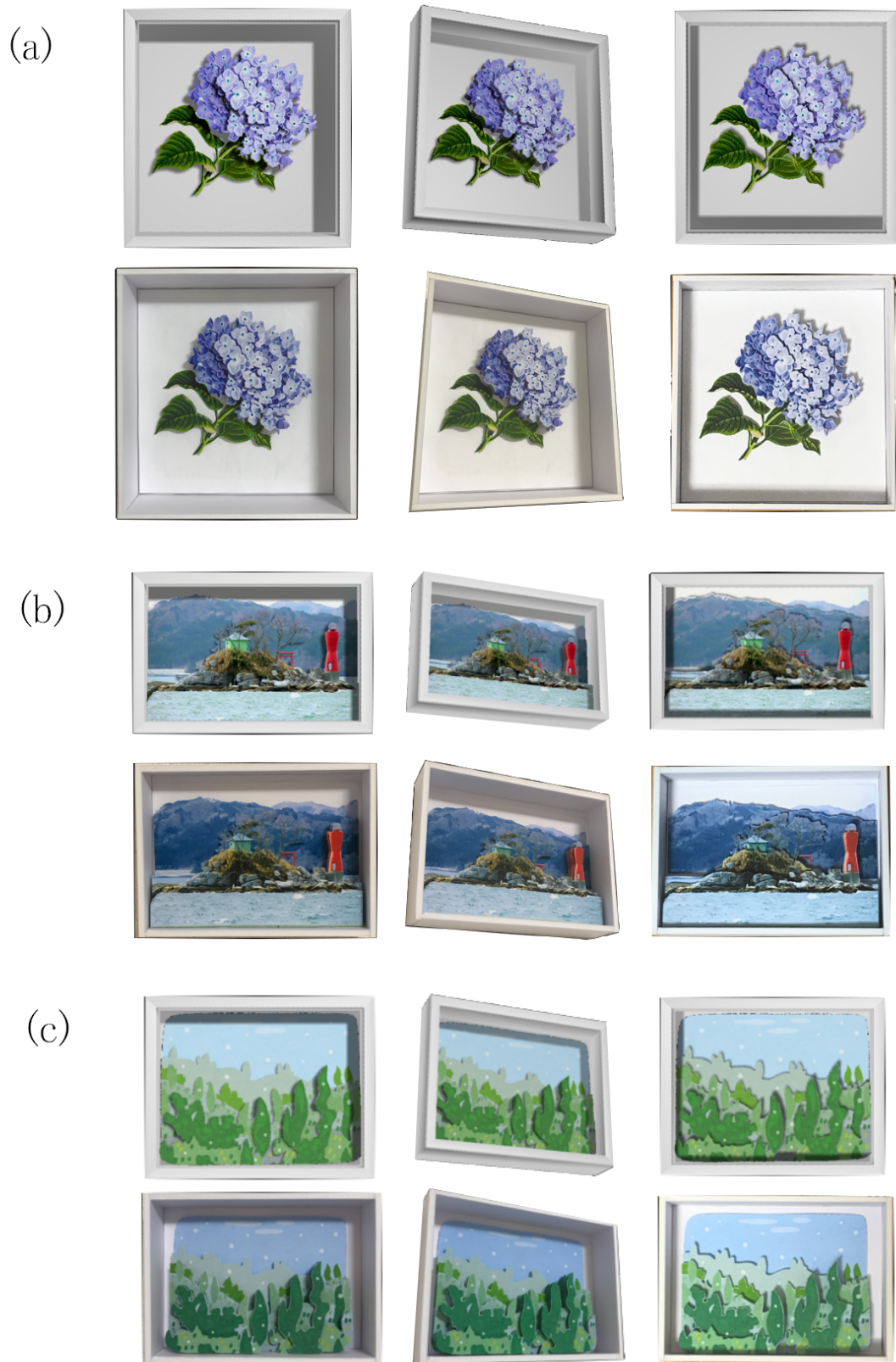


図 10 シミュレーション結果（上段）と実際に制作した作品（下段）.