

デジタルと手作りの融合：3DCGを活用した 手軽なペーパークラフト制作手法の一検討

佐藤 貴子

Fusion of Digital and Handmade: Exploring a Simple 3DCG Approach to Papercraft Creation

Takako SATO

This paper examines a method for creating papercrafts using 3DCG (3D computer graphics). It discusses a technique for converting 3DCG objects into papercrafts by utilizing only the basic content taught in introductory courses within our department. Furthermore, the paper explores the simplification of this method and its application in workshops designed for 3DCG beginners, demonstrating how participants can create original papercraft designs.

Keywords: 3DCG, papercraft, digital craft

1. はじめに

3DCGはかつて、専門のソフトウェアと画像処理に長けたサーバーで、製品設計や建築など、専門家によって扱われる存在だった。しかし近年ではハードウェア・ソフトウェア双方の発展により随分と身近な存在となり、フリーソフトや一般的なPCを使って自分の作品を作ることが可能になってきた。

一方、工作や手芸など、実体をもつ作品作りは趣味として人気なジャンルの一つとなっており、初心者向けに基礎を紹介するwebサイトや様々な作品の作り方動画が公開されている^{[1][2][3]}。

チュートリアルや型紙に従って作り、見本通りの物が作れるようになってくると、次第に自分でオリジナルのものが作りたくなることはままある。まちの無い手提げ袋の型紙を基に、縦横の長さが違う手提げ袋を作るように、既にある見本を基に縮尺を変えるようなアレンジは、比較的容易に行うことができる。しかし、見本と全く異なる形のものを作る場合や、布・板・糸のような立体物でないものから立体を作る場合は、一から制作の仕方や型紙・編み図などの設計図を考える必要が出てくる。制作に慣れている人であれば、設計と試作を繰り返すことで実現できるが、初心者にとっては自分の思い描く形の作品をどう作ればよいか思い描くことは必ずしも容易ではない。

そこで、このような問題を、3DCGを利用して解決する取り組みがある。立体カードを自動で計算するソフトウェア^{[4][5]}、ぬいぐるみの型紙を提案するソフトウェア^[6]、ビーズアートの設計図を計算するソフトウェア^[7]などが考えられている。

本稿ではあえて特別なプログラムは使わず、本学科の「3DCG基礎」で学ぶ内容だけで3DCGをペーパークラフトに活用する方法について検討し、実際に制作してみた取り組みについて報告する。

2. 3DCGからペーパークラフトを作る

立体形状をペーパークラフトにするためには面がゆがまないように平面図に変換する必要がある。市販のソフトではペパクラデザイナー^[8]、Paper Maker^[9]、紙龍^[10]などがある。ペパクラデザイナー、Paper Makerは既にある3DCGデータを読み込み、平面図に展開するソフトウェアである。そのため、もともとの3DCGデータは他のソフトウェアで作成する必要がある。一方紙龍は、ペーパークラフトを構成する形状に一定の制限を設け、形状同士の組み合わせによりペーパークラフトを設計するソフトウェアである。形状の組み合わせで構成することから初心者でも設計しやすい一方、組み合わせる形状から逸脱した形は作りにくいといえる。

そこで今回は、本学科の「3DCG基礎」で使っている3DCGソフトBlender^[11]とそのアドオン「Export Paper Model」^[12]を活用する方法で作成する。

作成の主な手順は図1のとおりである。

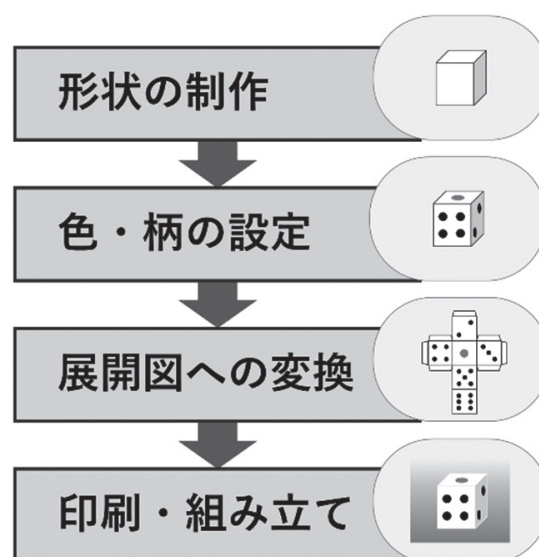


図1 3DCGからペーパークラフトを制作する手順

2.1 形状の制作

3DCGにおけるひとかたまりの形状をオブジェクトと呼ぶ。今回、オブジェクトはポリゴンと呼ばれる平面の集合で作る。3DCGを実体化させる場合、3Dプリンタで印刷するならポリゴンを閉じた形状にし、オブジェクトの内部(=3Dプリンタで印刷される部分)と外部が区別できなければならないが、ペーパークラフトの場合は必ずしも閉じた形状にする必要はなく、紙として組み立てたい部分にポリゴンが貼られているオブジェクトをつくれればよい。ただ、組み立ての容易さを考えると、基本的にはポリゴンの境目は折り目か紙同士の継ぎ目となるため、あまりにポリゴンが細かく多数に分かれているよりは、ある程度大きいポリゴンで全体が構成されている方が望ましい。

2.2 色・柄の設定

3DCGのポリゴンに色や柄をつける方法にはいくつかある。図2(a)のようにオブジェクト全体を同じ色で塗る場合は、色を1つ指定するだけでよい。図2(b)(c)のように、市松模様やランダムな模様など、数式を使って生成した柄、いわゆるプロシージャルテクスチャをつける場合には、数式に加えて生成したテクスチャを立体物にどの向きに貼り付けるか(投影方法)を指定することでオブジェクト全体に柄をつけることができる。しかし、図2(d)のように、部分ごとに異なる柄を自由につけたい場合には、柄を描いた画像(テクスチャ画像)を用意し、その一部を切り出してポリゴンを貼り付ける。テクスチャ画像上の座標とオブジェクトの頂点の対応をとるため、UV展開が必要となる。

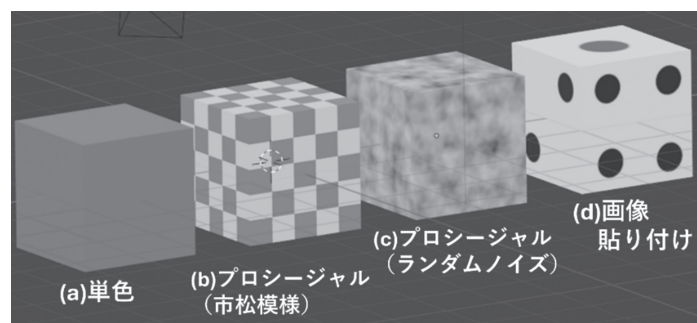


図2 色柄テクスチャの種類

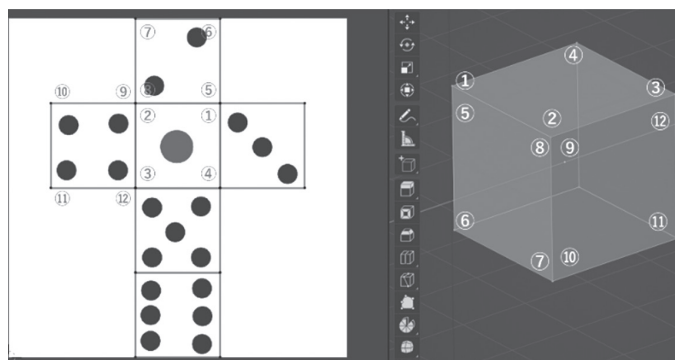


図3 UV展開

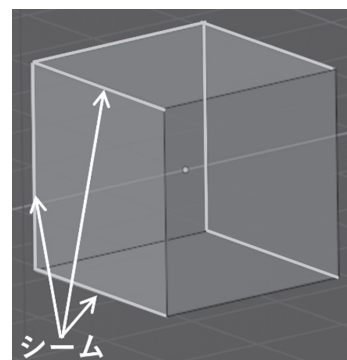
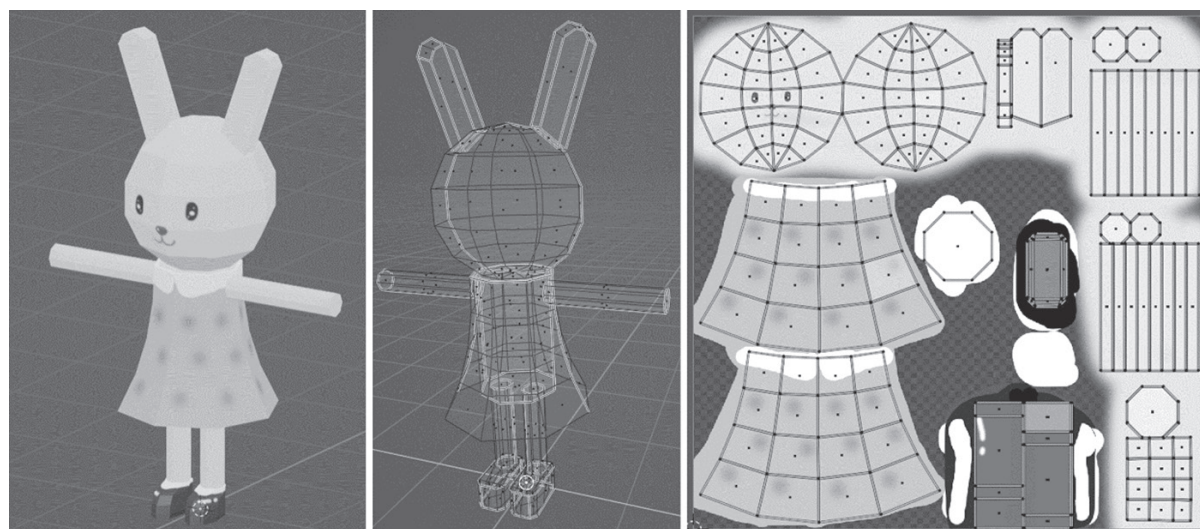


図4 シーム

UV展開とは、テクスチャを平面画像として作る場合に、画像とオブジェクトの各頂点との対応をとる作業である（図3）。テクスチャを自前で描く場合には、展開図から柄を描く場所が容易にわかりやすい、形状の対称性を利用するなど、柄の描きやすさを重視して展開することになる。Blenderでは、3D形状をどこで切って平面にするかを、辺に対してシームというマークをつけることで指定する（図4）。その際、シームで切り開いただけでは平面にならない場合には、ポリゴンの形状を自動的に歪ませることで平面画像に変換している。

UV展開の図を生成したら、この図に合わせてテクスチャ画像を作り、貼り付けることで3DCGに柄をつけることができる（図5）。



(a) テクスチャ付き形状

(b) UV用シーム

(c) UV展開画像に着色したもの

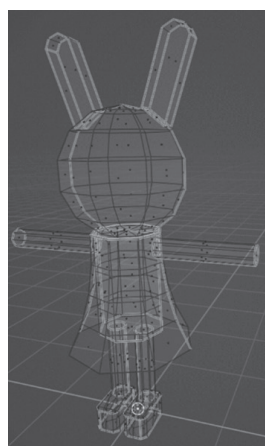
図5 UV展開によるテクスチャの例

2.3 展開図への変換

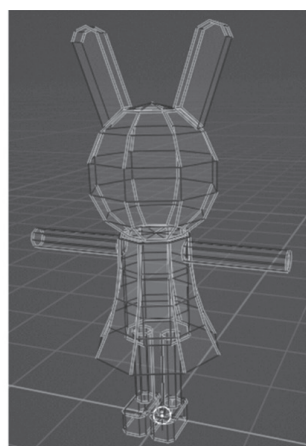
次に、ペーパークラフトにするための展開を行う。UV展開では柄の描きやすさを重視してポリゴンの形を歪ませて展開することが多い。一方、ペーパークラフトの展開図では、後に組み立てられるよう、ポリゴンの形が変わらないように展開する必要がある。そこで、多くの場合ではUV展開で切り開く位置とは別の位置で、ポリゴン同士が重なり合わないよう形状を切り開き、展開図を作ることになる。今回はBlenderとそのアドオン^[12]で作るため、切り開く位置はUV展開の時と同様、シームで指定する。そこでシームを、次のポイントに気を配りながら付け直す必要がある。

- 切り開いた際に、他のポリゴンと重なり合わずに展開できるか。
- 過剰に分割し、組み立てを困難にしていないか。
- 組み立てやすい構造になるか。

図5のオブジェクトに改めてペーパークラフト用のシームをつけたものが図6である（(a)は図5の再掲）。例えば頭は、UV展開時には前半分と後ろ半分に切り分け、前半分に顔を描いた。一方、ペーパークラフト用のシームでは高さ方向に中央の部分をつなげ、上側と下側に花びら状のパーツができるようにシームをつけた。この時にアドオン^[12]を利用することで、切り開いた辺の一方に自動的にのりしろを追加し、切り開かない辺に折り線をつけた（図7）。



(a) UV展開用のシーム



(b) ペーパークラフト展開用のシーム

図6 用途に応じたシームの付け替え

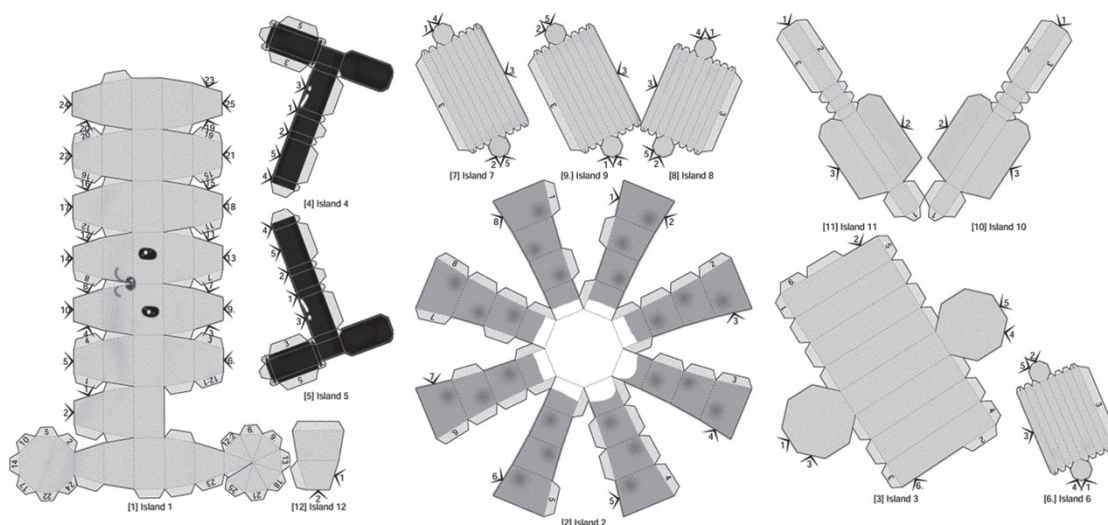


図7 ペーパークラフト用に展開した図

2.4 実用的なペーパークラフトへの応用

ここまで、3DCGの1つのオブジェクトをそのままペーパークラフトとして生成する方法について述べた。デジタルの世界で制作したオブジェクトが紙に印刷し組み立てただけで実体となることにも意義はあるが、紙の加工のしやすさを活かせば、より実用的なペーパークラフトを制作することが可能ではないかと考えた。そこで、1つのオブジェクトから蓋つきの小物入れのペーパークラフトを制作した。

まず、閉じたオブジェクトにテクスチャをつけたオブジェクトを1つ作る。これを複製し、一方を本体、一方を蓋となるよう、一部分を切り取る。さらに、蓋と本体が組み合わせるように少し蓋を拡大することで、簡単に本体と蓋との柄が連続した小物入れを作ることができた。図8は、図5のオブジェクトの頭部分を蓋と本体に分割してペーパークラフト化したものである。さらに組み立てる過程で胴体と服にも小物が入れるスペースがあったことから、図5のオブジェクトから少し加工を行っただけで、入れる部分が2か所の小物入れに改造することができた。

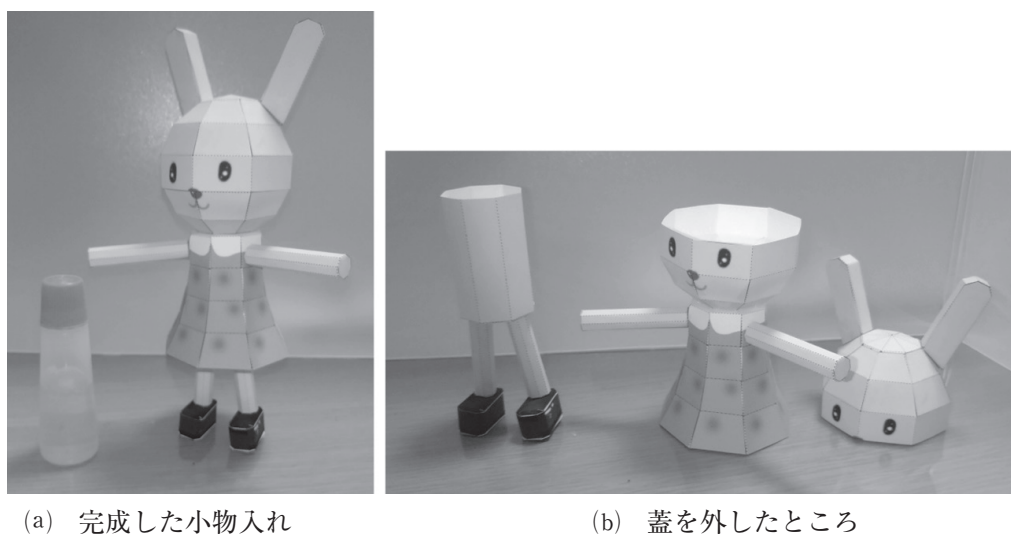


図8 小物入れへの改造

3. 3DCGから作るペーパークラフトのワークショップ

3DCGを工作に応用することをテーマに、概ね1時間程度のワークショップを行うことを考えた。これまで紹介した手順では、3DCGのオブジェクトを作成し、そこからペーパークラフト用の展開図を作る部分は2.3節で述べた3つのポイントを守る必要があり、失敗すると組み立て時の部品数が過剰に多くなったり、展開図が重なってしまったりする。例えば図9の場合、靴の形のオブジェクトに対し、ひとつながりの展開図となることを想定してシームを入れたものである。しかし、もともとの形状にわずかな窪みがあるためにシームの通りの展開では重なりが発生してしまうため、Blenderアドオン^[12]の機能で自動的にシームが入っていない位置でポリゴンが分離してしまったものである。そこで、ペーパークラフト用のオブジェクトの作成と展開図の作成には多少の慣れが必要と判断し、Blender初心者が限られた時間でワークショップを行えるようにするため、3D塗り絵からのペーパークラフト生成を考えた。

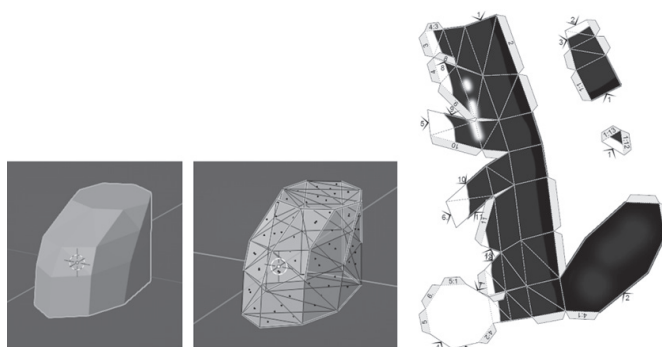


図9 展開に失敗した例

Blenderでは、UV展開した図に別のペイントソフトで着色して読み込み直す方法以外に、Blender内のペイント機能で着色する方法がある。図10に示すテクスチャペイントモードでは左にUV展開したテクスチャ画像、右に3Dのオブジェクトがあり、右画面でオブジェクトそのものにスプレーアートを塗るように直接色柄をつけると、自動的に左画面のテクスチャ画面と連動して着色が行われる。この方法ではテクスチャ画像が貼られた状態をイメージしながら着色できることから、初めて3DCGに触れる人でも扱いやすいのではないかと考えた。

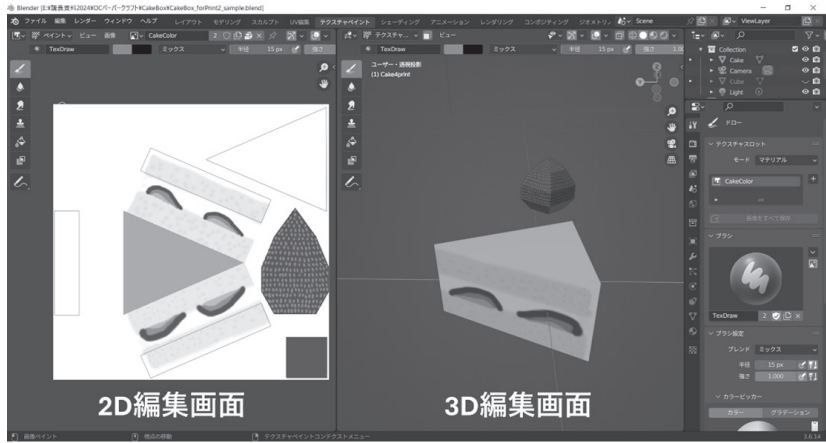


図10 Blenderのテクスチャペイントモード

そこで、着色用のオブジェクトと、そこからペーパークラフトを作るためのオブジェクトを分離し、両方のオブジェクトでテクスチャ画像を共有することで、着色を1つのオブジェクトに施せば自動的に小物入れの本体と蓋に着色されるように設定した（図11）。



図11 着色用オブジェクトとペーパークラフト印刷用のオブジェクト

この仕組みを利用し、3DCGのオブジェクトへの着色やペーパークラフト変換するワークショップを実施することにした。

ワークショップはゼミナールの時間やオープンキャンパスなどの機会ですべて4回行った。

- 1回目：2024年7月23日実施（ゼミナール）
 - 内容：ケーキを想定した小物入れの形に着色し、ペーパークラフトとして印刷
 - 参加：大学生10名
 - 取り組み時間：90分
- 2回目：2024年9月11日実施（高大連携での取り組み）

- 内容：ケーキ、または耳付きの立方体に着色（ペーパークラフト化はなし）
- 参加：高校生約30名
- 取り組み時間：45分
- 3回目：2024年9月16日実施（オープンキャンパス）
 - 内容：ケーキ、宝箱、または耳付きの立方体の小物入れに着色し、ペーパークラフトとして印刷
 - 参加：高校生11名
 - 取り組み時間：時間制限なし（イベント開催中自由に取り組める）
- 4回目：2024年12月18日（広大連携MQ）
 - 内容：テクスチャに関する短い講義の後、ケーキ、宝箱、耳付きの立方体、または雪だるまに着色し、ペーパークラフトとして印刷
 - 参加：高校生12名
 - 取り組み時間：約60分

ワークショップで使ったオブジェクトを図12に、試作したペーパークラフトを図13に、開催したワークショップの様子を図14に、ワークショップの参加者が制作した作品の3DCG表示を図15に示す。

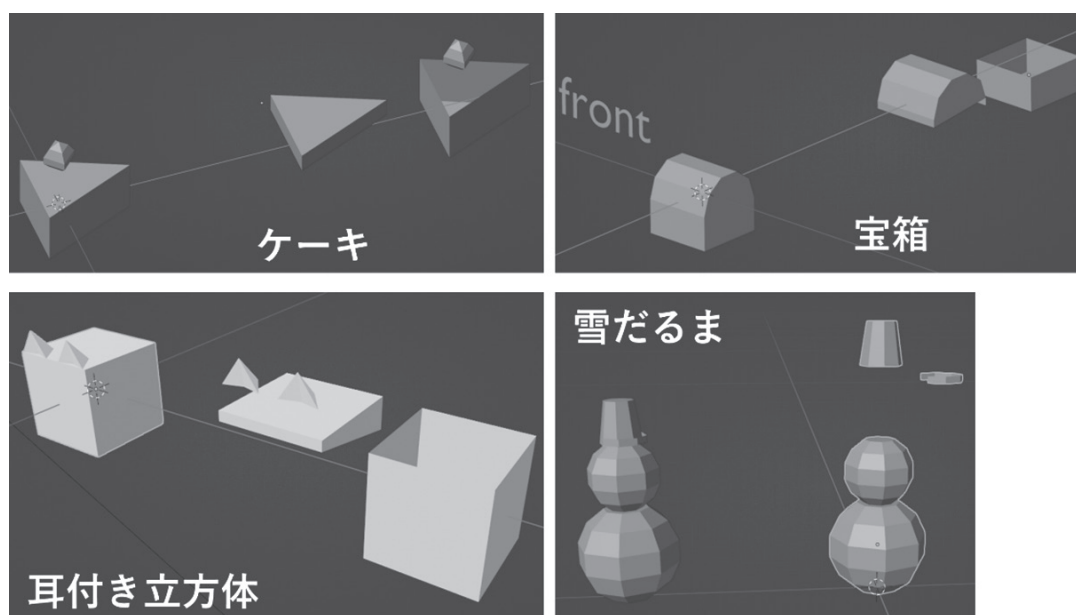


図12 ワークショップで使ったオブジェクト

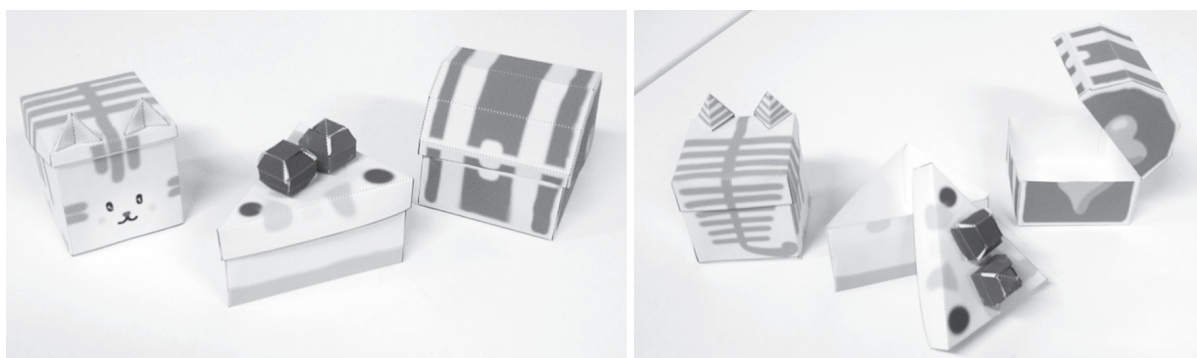


図13 ペーパークラフトを試作した例

図15はいずれもケーキのオブジェクトに着色をしており、ワークショップ冒頭では図10に示した苺のショートケーキの例を示しながら説明したが、実際に作られた作品にはマール模様やチーズケーキなど、思い思いのデザインがなされた。中には、イチゴを想定した形状のトッピングを緑色に塗り、マスカットに見立てるものもいた（下段中央）。

第2回ワークショップでは、耳付き立方体を上下逆さにして耳部分を足とした動物を描く参加者もあり、3D塗り絵中心でもある程度オリジナリティを追求した作品を作れることを実感した。



図14 第3回ワークショップの様子

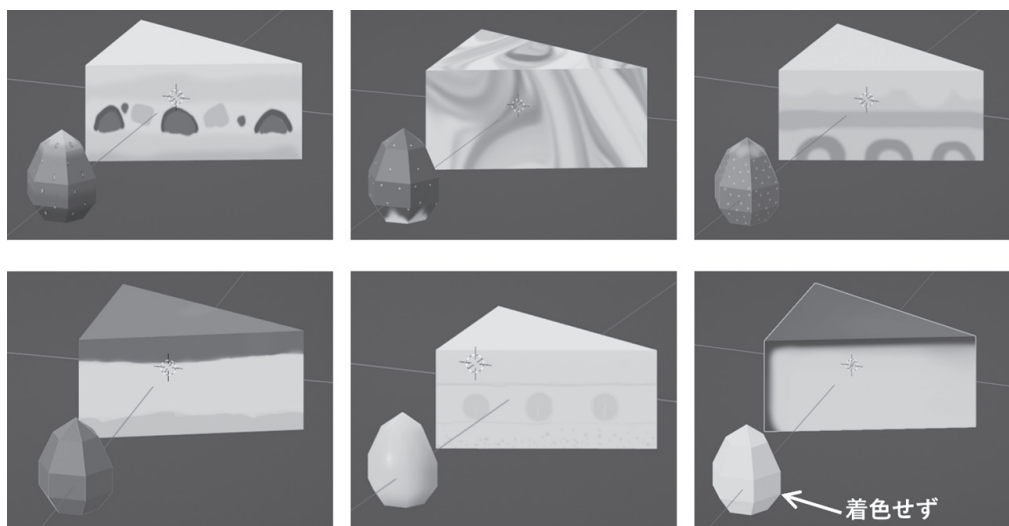


図15 参加者の作品（第1回ワークショップより）

5. まとめ

3DCGからペーパークラフトを制作する手法を検討し、初級者でも実用性を加えた作品を制作する一手法を確認した。またワークショップを通じて3DCG初心者でもオリジナルデザインのペーパークラフトを制作できることを確認した。しかし、形状も含めてオリジナルのペーパークラフトを作るには、立体形状とペーパークラフトへのある程度の理解が必要であることも確認できた。オリジナル作品を作る醍醐味は好きな形で作品を作るところにもあるので、今後は初心者が形のデザインも行える手法を検討していきたい。

参考文献

- [1] クロバー公式サイト「手作りの基礎」(最終閲覧：2025年3月1日)
<https://clover.co.jp/hand.shtml>
- [2] ごしょう産業公式サイト「How to 学ぶ・楽しむ」(最終閲覧：2025年3月1日)
<https://www.gosyo.co.jp/#how-to>

- [3] HacoMo株式会社公式サイト「ダンボール工作レシピ」(最終閲覧：2025年3月1日)
<https://www.hacomoco.jp/recipe/>
- [4] Jun Mitani, Hiromasa Suzuki: Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2004), Vol. 23, Issue 3, pp.259-263 (2004)
- [5] Xian-Ying Li, Chao-Hui Shen, Shi-Sheng Huang, Tao Ju, Shi-Min Hu: Popup: Automatic Paper Architectures from 3D Models, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2010), 29(4), 111:1-9 (2010)
- [6] Yuki Mori, Takeo Igarashi: Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2007), vol.23, No.3, 45:1-8 (2007)
- [7] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi and Jun Mitani. Beady: Interactive Beadwork Design and Construction, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2012), Vol. 31, Issue 4, 49:1-9 (2012)
- [8] 多摩ソフトウェア「ペパクラデザイナー」(最終閲覧：2025年3月1日)
https://tamasoft.co.jp/pepakura_designer_ja/
- [9] Paper Maker (最終閲覧：2025年3月1日) <https://papercraft-maker.com/>
- [10] デジタルペーパークラフト「紙龍」公式サイト (最終閲覧：2025年3月1日)
<https://craft.inazuma7.co.jp/>
- [11] Blender (最終閲覧：2025年3月1日) <https://www.blender.org/>
- [12] Export Paper Model (最終閲覧：2025年3月1日)
<https://extensions.blender.org/add-ons/export-paper-model/>

