

令和 4 年 5 月 14 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18320

研究課題名(和文)見立て遊びを通じたデザイン支援と良い形の自動生成に関する研究

研究課題名(英文) Design support method based on automatic generation of good shapes for interpretation

研究代表者

鶴田 直也 (Tsuruta, Naoya)

東洋大学・情報連携学部・助教

研究者番号：90757931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では見立て遊びを通じたデザイン支援のための、折り紙を題材とした形状生成アルゴリズムやモデリングシステムについて研究した。特定の折り方のみを使用して紙を折りたたんだ形状群を自動的に生成し、その中にユニークな形状がどの程度含まれるかを調査する実験を行った。また、合同判定によるユニーク形状の抽出を応用して、折り手順を推定することが容易あるいは困難な折りたたみ形状の設計手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義としては、数回の折りたたみ操作で生成される候補群にどのような形状が多くあるいは少なく出現するかを示した。折り紙の数理において折りたたみ方の候補が増加する様子は明らかでなく、その解明に貢献するものである。

また、折り紙は形の見立てを楽しめる身近な文化のひとつであり、こうした対象への数理的なアプローチを広く公開していくことは、社会的な数理への興味と理解を促進させることに繋がる点で意義がある。

研究成果の概要(英文)：We investigated a shape generation algorithm and modeling system based on mathematics of origami for design support through shape interpretation. We conducted experiments on how many unique shapes could be included in a set of paper folded shapes automatically generated using only certain folding techniques. By applying congruent shape elimination, a method for designing folded shapes that is easy or difficult to estimate its folding steps is proposed.

研究分野：コンピュータグラフィクス

キーワード：形状モデリング 折り紙

1. 研究開始当初の背景

見立ては日本の様々な芸術と文化を支えるものであり、形の見立てを身近に楽しめるものの一つに折り紙がある。研究代表者はこの折り紙を題材として、コンピュータで作品創作を支援する手法について研究してきた。一般にコンピュータ支援によるデザインにおいては、目標となる形状を実現するための機能や自動化手法について議論が行われる。しかし、目的のデザインが決まっていない段階での、発想を支援することも重要な課題である。折り紙においても、特定の構造を持つ作品の設計するためのアルゴリズムは提案されているが、シンプルな作品の創作は作家の試行錯誤によってのみ作られており、形の提示は強力な支援ツールになりうる。

しかし、たとえ折り紙のような幾何的なルールに従って形を作るものであっても、生成される形の探索領域は依然として曖昧なままである。ランダムに形を生成して提示するだけでは、ユーザは試行回数を増やし多数の形を視認することが必要になり、これは、遊びとしてもデザイン支援としても退屈なものになってしまう。そのため、その形が人にとって意味のある形か、つまり「良い形」かどうかを判断しランク付けする手法、あるいは良い形が生成されるようなアルゴリズムが求められる。

2. 研究の目的

本研究の目標は、デザイン支援のための形を作り出すアルゴリズムを提案することである。このアプローチにおいては、生成された形の確認を人が行うため、提示する形を絞り込むための工夫が重要となる。広くデザインにおける良い形の基準としては、幾何的によく整理されていることが挙げられる。これに加えて、見立ての容易さを生み出す形の特徴を捉え、その幾何的な性質についての調査を行う。認知に関する知見を踏まえた上で、コンピュータによって良い形を自動生成することができれば、アイデア出しのための方法論よりも直接的な発想支援につながると考えている。

3. 研究の方法

まず、これまでに開発してきた折りたたみ形状の生成を用いて、様々なパラメータで生成した形状群のカドの個数をカウントするなどして観察した。また、折り方は同じで紙の重なり順のみが異なるパターンはあらかじめ重複とみなして除外していたが、シルエットが同一の形状も多数が含まれることも判明したため、すべての候補について相似・合同関係の調査も行った。その後、特徴的な折りたたみ方を持つ形状を生成するためのアルゴリズムを設計した。なお、当初予定していたオフラインでのユーザへの形状提示実験はコロナ禍の制限のため実施を取り止めた。

また、決まった形のピースを用いて大きな形状を作るものとしてユニット折り紙の設計システムの開発にも取り組んだ。ここでは、既知の多面体の観察から、形状をデザインする際に可能な操作を検討した。

4. 研究成果

本研究では、研究代表者がこれまで取り組んできた折り紙を題材として、見立てやすい形を自動生成するアルゴリズムや、ユニット折り紙のためのモデリングシステムについて研究した。具体的な成果は以下の通りである。

折り紙の基本的な操作である目印のある折り方(「カドとカドを合わせる」「フチとフチを合わせる」「2つのカドを通るように折る」など)のみを使用して正方形の用紙を折るとき、3回の折りたたみだけでおよそ1500通りの形状を取り得ることがわかっている。ただし、これは折りたたまれた状態として異なる形状の数を示しており、紙の重なり順は異なるがシルエットは同一な形状も複数含まれる。そこで、生成した形状群から合同なシルエットを取り除いてユニークな形状のみを抽出すると、形状がユニーク(折り方もただ一通り)の形は1/3程度含まれることがわかった。残りの形状は複数の折り方が存在し、これらは長方形や正方形などの単純で見立てが難しい形状が多く含まれていた。したがって、このような形状の絞り込みを行うことで特徴的で見立てやすい形を多く得られる可能性がある。

また、この合同判定によるユニーク形状の抽出を応用して、折り手順を推定することが容易あるいは困難な折りたたみ形状の設計手法を提案した(図1)。生成された候補群を削減する際に、シルエットが合同な形状を抽出することで最終的に得られる形状の折り手順の推定を難しく、また、逆にユニークな形状を抽出することで、折り手順が推定しやすい形状を得ることができる。実際に生成された形状を抜粋して図2に示す。

- n 個の頂点から成る多角形データを入力として、以下の折りたたみ操作を f 回実行する
- I. カドや紙のフチなどの目印を参照して可能な折り操作をすべて列挙する
 - II. 一番上の層から順番に折り、複数の候補を生成する
 - III. 候補の削減を行う。このとき、
 - (ア) 生成された候補群からシルエットが相似あるいは合同な形状を抽出すると、以降の折りたたみ操作で生成される形状の折り手順の推定が難しくなる。
 - (イ) 逆に、シルエットがユニークな形状を抽出すると、以降の折りたたみ操作で生成される形状の折り手順の推定が容易になる。

図 1 形状生成アルゴリズム

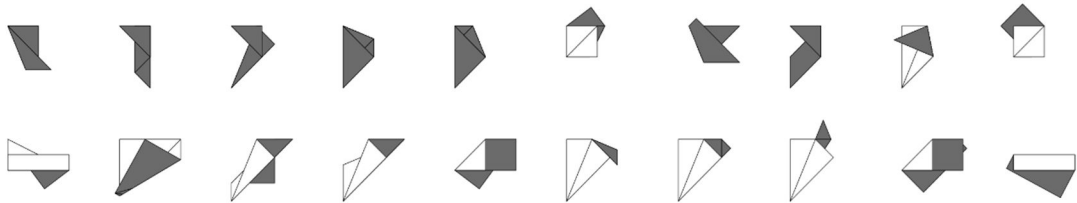


図 2 生成された形状の例

ユニット折り紙は、基本要素(ユニット)の集合で全体の形を作るものである。ユニットの種類が限定されるため全体の形状も幾何的なルールに従って組み上げなければならないが、立体的な形をデザインすることは、試行錯誤が難しいことに加え、可能な形のイメージが難しいという課題がある。そのため、通常、正八面体や正二十面体、あるいは立方体の積み上げなど広く知られた立体を組み上げることが多い。これを解決するために、対話的な編集操作を定義し、自動的な形状修正機能を実装したシステムを開発した(図 3)。定義した編集操作は、結合、引き延ばし、押し込みと引き出し、細分割の 4 つであり、これらは既知の多面体の観察から得られた。本システムを用いることで、広く知られた多面体だけでなく、具象的な形をデザインすることも可能になった。研究成果は下記の国際会議で発表した(文献①)。

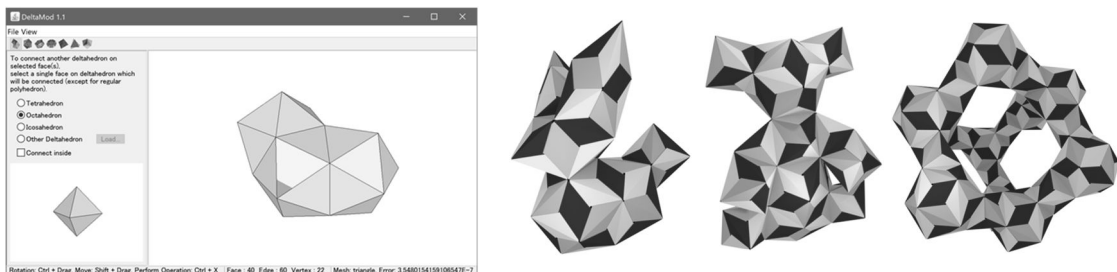


図 3 開発したシステムと生成した立体の例

< 引用文献 >

Naoya Tsuruta, An Interactive Design System for Deltahedron-based Modular Origami, in Origami⁷ Volume 3: Engineering One, Tarquin, pp.1009-1016, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鶴田直也
2. 発表標題 『かげえのおりがみ』にみるシルエットと折り手順についての考察
3. 学会等名 第25回折り紙の科学・数学・教育研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Tsuruta
2. 発表標題 An Interactive Design System for Deltahedron-based Modular Origami
3. 学会等名 The 7th International Meeting on Origami in Science, Mathematics and Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------