

タイリング折紙

— ボロノイタイルからの派生と組み合わせ可能な曲線折りユニット —

三谷 純 Jun MITANI

概要: これまでに折紙の幾何に関する研究を行い、設計を支援するソフトウェア群の開発を行ってきた。それらの成果によって設計された折紙作品の中から2つの作品を紹介する。まず、ボロノイタイルに基づくタイリング折紙の理論に基づいて、新しい折り線パターンの生成を行い、一部を曲線にすることで立体的な構造を持つ折紙の制作を行った。また、鏡映反転操作の繰り返しによって設計された立体的な折り構造を持つ形状をユニットとした、組み合わせの構成を行った。本稿では、これらの設計手法と、それぞれを作るうえで用いた展開図を紹介する。

キーワード: 応用幾何学／タイリング／折紙

1. ボロノイタイルに基づく折紙

幾何学的な折り構造が周期的に表れる「平織り (Origami Tessellation)」は、多くの愛好家が様々な作品を発表しており、折紙紙の中では世界的に人気のある分野の一つである。とくに、紙をねじるようにして折る「ねじり折り」を基本とした平織りの研究は、藤本修三の研究が貢献するところが大きい。現在では計算機上で容易に折りのシミュレーションとパターンの生成が可能なソフトウェアとしてBatemanが開発したTess^[1]が広く知られている。

Tessでは、多角形が敷き詰められた状態(タイリング)を初期状態とし、各多角形を「縮小して回転させる」という手順で展開図の生成を行っている^[2]。まず、平面に敷き詰めた各正多角形を、その重心を中心として同じ比率で縮小する。すると隙間ができるので、もともとと同じ場所にあった頂点同士を連結して新しい多角形を作る。続いて、縮小した多角形を一定角度だけ回転させる(新しく作った多角形もそれに合わせて回転する)。このようにすることで、平らに折りたたまれる展開図を作ることができる(図1)。

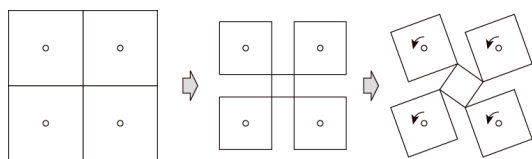


図1 多角形のタイリング(左)の各多角形を縮小させて(中央)回転させる(右)

Langらは、この操作で平織りパターンを作る方法が「隣接する2つのタイルの回転中心を結ぶ線と、2つのタイルが接する辺の成す角が90度である」という条件を満たす場合に適用可能なことを示した^[3]。ボロノイ図はこのような条件を満たしているため、図2に示すようなランダムな点を母点とするボロノイ図からも、平坦に折りたためる折り線を生成できる。また、ボロノイ図の母点を回転対称となるように配置することで、図3に示すようなパターンを生成できる。

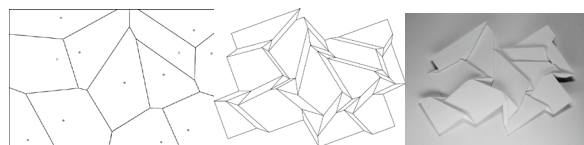


図2 左から順にランダムな母点から得られたボロノイ図、展開図、実際に紙を折った様子の写真

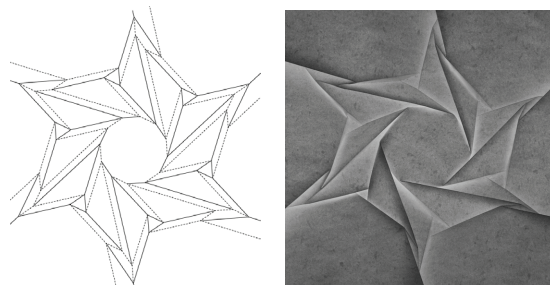


図3 回転対称な特徴を持つ展開図と折った様子の写真

図3で示した展開図に対して、一部を曲線にすることで、立体的な構造を与え、図5上段に示すような折紙の制作を行った。この曲線は手作業で与えたものであり、幾何学的な制約を考慮して導き出したものではない。そのため、制作した形は、厳密には1枚の伸縮しない素材で作れる形にはなっていない。つまり微小な歪や伸縮が紙という素材によって吸収された結果として形が成立していると思われる。このように、幾何学的には正確ではない形を、人間の手によって、紙の物性を活かして作り上げるのも、折紙の面白さの一面と言えるであろう。

2. 組み合わせ可能な曲線折りユニット

1枚の紙で作れる曲面(可展面)に鏡映反転を繰り返すこ

とで得られる形は、自己交差しない限りはやはりまた1枚の紙を折ることで作れることが知られている。初期状態の曲面と、それに対する折り操作を、それぞれ側面図、上面図として折れ線の作図で指定できるソフトウェアの開発を行った^[4]。図4の左に示す側面図と、中央の上面図(側面図の一点鎖線が鏡映反転で描く軌跡。太線は仮想的な鏡映面)を与えることで、右側のような立体が得られる。これは、1枚の紙で作ることが可能であり、かつ凹部と凸部を組み合わせることが可能である。この結果を図5下段に示す。

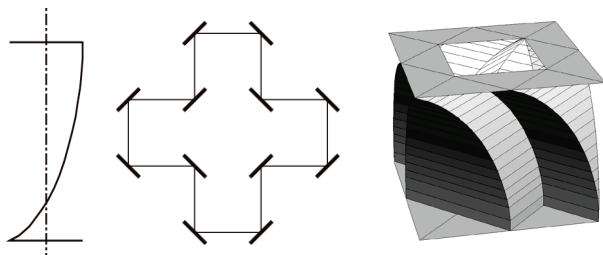


図4 左から順に側面図, 上面図, CGIによる立体形状

3. おわりに

折紙の設計理論に関する研究と、設計支援ソフトウェアの開発によって、様々なデザインの試行を素早く行うことが可能となった。また、カッティングプロッタなどの機器を用いることで、曲線の折りも正確に加工できるようになった。しか

しながら、折って仕上げる作業は未だ人の手でないと実現できない。折り紙は、人の手の技術と、設計理論の両輪が作品づくりに結び付く、興味深い対象である。

参考文献

- [1] Alex Bateman, Tess: origami tessellation software, <http://www.papermosaics.co.uk/software.html> (参照 2014-09-23).
- [2] アレックス・ベイトマン, 平織り(折り紙テッサレーション) デザインのためのコンピュータ・ツールとアルゴリズム, 折り紙の数理と科学, Thomas Hull編, 森川出版, 第12章 (2005).
- [3] Robert J. Lang, Alex Bateman, Every Spider Web Has a Simple Flat Twist Tessellation, Origami5, CRC Press, (2011), 455-473.
- [4] Jun Mitani, "Column-shaped Origami Design Based on Mirror Reflections", Journal for Geometry and Graphics, 16.2 (2012), 185-194.

著者紹介

みたに じゅん : 筑波大学システム情報系,
〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1,
mitani@cs.tsukuba.ac.jp

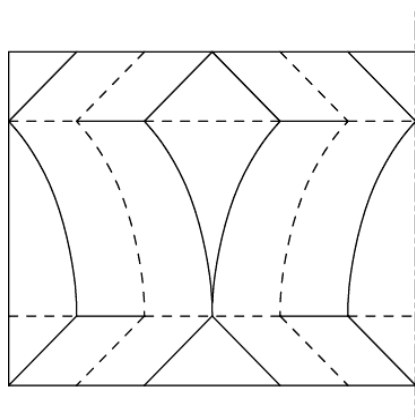
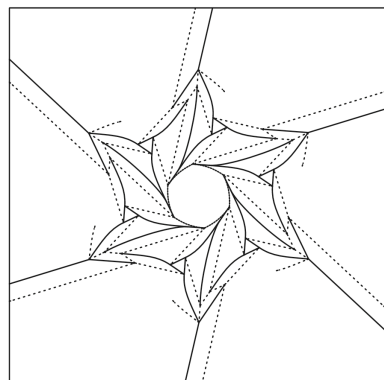


図5 制作物。「6つの風車」(上段)と組み合わせ可能な曲線折りユニット(下段)。下段の展開図は左右対称なため左半分のみを示している。